

# PROCEEDINGS

## การประชุมวิชาการ บัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

เรื่อง “การยกระดับคุณภาพการศึกษาและ  
พัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21”

25-26 มิถุนายน 2563  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร



## คำนำ

ด้วยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ร่วมกับ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย และศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน) กำหนดจัดโครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10 เรื่อง “การยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21” ระหว่างวันที่ 25-26 มิถุนายน 2563 ซึ่งเป็นการนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบออนไลน์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้นักศึกษา อาจารย์ และนักวิจัยได้นำเสนอผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์ที่ดีและมีคุณภาพ เป็นการสร้างเครือข่ายของการวิจัยและงานสร้างสรรค์ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ร่วมกัน ผลงานวิจัยที่เผยแพร่ในงานนี้ได้มีการบูรณาการศาสตร์และศิลป์เข้าด้วยกันตามวิสัยทัศน์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร คือ มหาวิทยาลัยชั้นนำแห่งการสร้างสรรค์ โดยจัดให้มีการนำเสนอผลงานวิจัยทางด้านศิลปะและการออกแบบ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ มนุษย์ศาสตร์ อักษรศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และพฤกษวิทยาการ ทั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัยได้รวบรวมบทความวิจัย Proceedings ของผู้นำเสนอทั้งแบบวาจาและโปสเตอร์ที่นำเสนอผลงานครั้งนี้ในเว็บไซต์ของบัณฑิตวิทยาลัย เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยไปสู่สาธารณชน บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารที่รวบรวมบทความวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ต่อไป

บัณฑิตวิทยาลัยขอขอบคุณท่านนายกสภามหาวิทยาลัยศิลปากร ท่านอธิการบดี เจ้าภาพร่วมจัดการประชุม ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย และศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน) ผู้บริหารและคณาจารย์ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิที่ร่วมเป็นผู้พิจารณาคัดเลือกผลงานวิจัย และเจ้าหน้าที่ของบัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่ร่วมมือร่วมใจปฏิบัติงานจนบรรลุผลตามวัตถุประสงค์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นโอกาสที่จะร่วมมือกันพัฒนาการจัดการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นต่อไป



(รองศาสตราจารย์ ดร. จุไรรัตน์ นันทานิช)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร



### ข้อมูลอ้างอิงเพื่อการประกันคุณภาพ

โครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10 เรื่อง “การยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21” นี้ เป็นการจัดการประชุมวิชาการ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย/การค้นคว้าอิสระของอาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาตามเกณฑ์คู่มือการประกันคุณภาพการศึกษาภายใน ระดับอุดมศึกษา ฉบับปีการศึกษา 2557 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ดังนี้

**การเผยแพร่ผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ** ครั้งนี้เป็นการนำเสนอบทความวิจัย ในที่ประชุมวิชาการ และบทความฉบับสมบูรณ์ (Full paper) ได้รับการตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่อง จากการประชุม (Proceedings) โดยมี กองบรรณาธิการจัดทำรายงานการประชุม หรือ คณะกรรมการจัดประชุม ประกอบด้วย ศาสตราจารย์หรือผู้ทรงคุณวุฒิระดับปริญญาเอก หรือ ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีผลงานเป็นที่ยอมรับในสาขาวิชานั้นๆ จากนอกสถาบันเจ้าภาพ อย่างน้อยร้อยละ 25 โดยต้องมีผู้ประเมินบทความที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นด้วย และมีบทความที่มาจากหน่วยงานภายนอกสถาบันอย่างน้อย 3 หน่วยงาน และรวมกันแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 25

บทความในการประชุมวิชาการทั้งระดับชาติที่นำเสนอให้กองบรรณาธิการ หรือคณะกรรมการจัดประชุมพิจารณาคัดเลือก ต้องเป็นฉบับสมบูรณ์ (Full paper) และได้รับการตีพิมพ์ ซึ่งสามารถอยู่ในรูปแบบเอกสารหรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ได้

สำหรับโครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10 เรื่อง “การยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21” ในครั้งนี้มีผู้นำเสนอผลงานวิจัยจาก 32 สถาบันการศึกษา โดยมีรายงานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการระดับชาติ และรายงานผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ ดังรายงานต่อไปนี้



### คณะกรรมการจัดประชุม

#### คณะกรรมการจัดประชุม

##### มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วงศ์รัตนชีวิน

##### มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.ภก.สาธิต พุทธิพิพัฒน์ขจร

##### มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมูล

##### มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช

รองศาสตราจารย์ ดร.เขมณัฏฐ์ มิ่งศิริธรรม

##### มหาวิทยาลัยนเรศวร

อาจารย์ ดร.รัมภา จุฑะกนก

##### ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน)

ดร.นฤพนธ์ ดั้ววงศ์

#### มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฏฐพล สุวรรณกุลสง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิเศก ปันสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูวงศ์ ชัยสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวนชื่น อัคระวงษ์นิชชา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อชิรัชญ์ ไชยพจน์พานิช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพันธุ์ ครุฑะเสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัตศัย

เภสัชกรหญิง อาจารย์ ดร.วารณี บุญช่วยเหลือ

อาจารย์ ดร.ธัญนันท์ วรรณจง บรอกเคิลเฮอร์สท์

อาจารย์ ดร.พิรวิทย์ เชื้อวงษ์บุญ

อาจารย์ ดร.อภิมาส มากจ้อย

อาจารย์ ดร.เกรียงไกร เกิดศิริ

อาจารย์ ดร.ภัทรภร ผลิตากุล



## ผู้ทรงคุณวุฒิ

### ❖ กลุ่มศิลปะและการออกแบบ

#### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กมลชลทิพย์ พานิชภักดิ์  
อาจารย์ ดร.เพิ่มศักดิ์ สุวรรณทัต

#### มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพรรณ วงศ์ทองสงวน

#### มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

#### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. ญวิทย์ อ่องแสงชัย

#### มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัณชัย สันติเวส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมิต ตะกรุดแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงยศ วีระทวีมาศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิธิวดี ทองป้อง

#### สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

#### ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ กัญญา คำโสภี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพร มูรพันธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ ไม้เท้าทอง

#### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์เกียรติคุณอรศิริ ปาณินท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันดี พินิจวรสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงพน ไล้ประกอบทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัตติกา กิตติประสาร

#### มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญญา จีงวิมุตพันธ์

#### มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย อารีรุ่งเรือง

#### มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชนาถ ทิวะสิงห์

#### มหาวิทยาลัยมหิดล

อาจารย์ ดร.นิอร เตรีตตันชัย

อาจารย์ ดร.อำไพ บูรณประพุกษ์

อาจารย์ ดร.ปริญญาพันธ์ พร้อมสุขกุล

#### มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยณรงค์ อริยะประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ ชาตินิยม

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

#### พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.งามทิพย์ วิมลเกษม

#### มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวรรณ สุวรรณผาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิรินทร์ จรุงจิตสุนทร

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อาจารย์ ดร.จเร สุวรรณชาติ

#### ข้าราชการบำนาญ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณกัญญา เจริญศุภกุล

### ❖ กลุ่มมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์

#### วิทยาการจัดการ ศึกษาศาสตร์

#### มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศาสตราจารย์ ดร.กรกช อัตตวิริยะนภาพ

ศาสตราจารย์ ดร.คณิต เขียววิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ประสพชัย พสุนนท์

รองศาสตราจารย์ กัญญรัตน์ เวชชศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุลีพร วิรุณหะ

รองศาสตราจารย์พรชัย เทพปัญญา

รองศาสตราจารย์สมพร ร่วมสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.วิสาข์ จิตวิวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร. ไชยศ ไพวิทยศิริธรรม

รองศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ สังข์รักษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เอกราษฎร์ บางท่าไม้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกตุวดี สมบูรณ์ทวี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิชา หอมพึ้ง



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวนชื่น อัครกะวณิขชา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ บุญสม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษบา บัวสมบุรณ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรณัฐ กิจรุ่งเรือง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสสินี บุญมีศรีสง่า  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาเรียม นิลพันธุ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิสา บุญมาก  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เกษภูาลักษณ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ วัฒนวัฒนชัย  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวรรยา ธรรมอภิพล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายสุดา เตียเจริญ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริชัย ดีเลิศ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนีตา โฆษิตชัยวัฒน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิรุทธ์ สติมัน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรินทร์ เทวตา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรพิน ศิริสัมพันธ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนภฤต สังข์เฉย  
อาจารย์ ดร. อัญญา บุญปาลิต  
อาจารย์ ดร.อธิกมาส มากจ้อย  
อาจารย์ ดร.โกสินทร์ เตชะนิยม  
อาจารย์ ดร.ฐิติมา เวชพงศ์  
อาจารย์ ดร.ทรรศนีย์ ไมรา  
อาจารย์ ดร.ธิดา ญาณปรีชาเศรษฐ  
อาจารย์ ดร.นงนุช ไรจนเลิศ  
อาจารย์ ดร.นพดล ไตรวิชัยกุล  
อาจารย์ ดร.นพรัตน์ บุญเพียรผล  
อาจารย์ ดร.ประพล เปรมทองสุข  
อาจารย์ ดร.พนัสกร สิมะขจรบุญ  
อาจารย์ ดร.เพ็ญพนา พ่วงแพ  
อาจารย์ ดร.รุ่งทิพย์ จันทร์ชนะกุล  
อาจารย์ ดร.วนิดา คราวเหมาะ  
อาจารย์ ดร.วรรณวิสา บุญมาก  
อาจารย์ ดร.วิจิต อิมอาร์มย์  
อาจารย์ ดร.วุฒิชัย อารักษ์โพชนงค์  
อาจารย์ ดร.ศศิณัฐ์ สรรคบุรานุรักษ์

อาจารย์ ดร.ศิระ ศรีโยธิน  
อาจารย์ ดร.สรภัส น้ำสมบุรณ์  
อาจารย์ ดร.สรัญญา จันทร์ชูสกุล  
อาจารย์ ดร.สิรินาถ ศิริรัตน์  
อาจารย์ ดร.อัญญา บุญปาลิต  
อาจารย์ ดร.อุบลวรรณ ส่งเสริม  
อาจารย์ ดร.อุรปริย เกิดในมงคล  
อาจารย์ ดร.จิตตรา มาคะผล  
อาจารย์อภิเชก หงษ์วิทยากร  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานปวีช ทัตแก้ว  
อาจารย์ ดร.นยา สุฉฉายา  
อาจารย์ ดร.สมพรนุช ต้นศรีสุข  
**มหาวิทยาลัยรามคำแหง**  
อาจารย์ ดร.มณฑิชา ภัคดีคง  
อาจารย์ ดร.สง่า วงศ์ไชย  
**มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย ธรรมเสนห์  
**มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทราวดี กระแสร์  
**มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา สโรบล  
**มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย**  
อาจารย์ ดร.กนกพร นาสมตริก ชิมิโอนิกะ  
**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โกวิทย์ พิมพวง  
**มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช**  
รองศาสตราจารย์ ดร. เขมณัฐ มิ่งศิริธรรม  
**มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมนาด เชื้อสุวรรณทวี  
อาจารย์ ดร.ไกรวุฒิ จุลพงศธร  
อาจารย์ ดร.อดิสรณ์ เรืองกิจจามันท์  
**มหาวิทยาลัยบูรพา**  
อาจารย์ ดร.กิตติมา พันธุ์พุกษา  
อาจารย์ ดร.พรรณทิพา ต้นดินย์



อาจารย์ ดร.ศรัญญา ประสพชิงชนะ

อาจารย์ ดร.ขจิตา ศรีพุ่ม

**มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพัทธ์ โพธิ์ทอง

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทนา แสนสุข

**มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม**

รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ศิริรินทร์

อาจารย์ ดร.กัณฑ์ณัย วรจิตติพล

**มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**

อาจารย์ ดร.นงนภัศ แก้วพลอย

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า**

**เจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ จิตรกร

**มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

อาจารย์อนงค์นาฏ รัศมีเวียงชัย

อาจารย์สุทธิชล โพธิ์รังษี

**มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**

อาจารย์วิภาภรณ์ ห้วยเวชศาสตร์

**กรมศิลปากร**

นายประทีป เฟื่องตะโก

**ผู้เชี่ยวชาญ**

รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรงค์ ฐานดี

ดร.อมรา ศรีสุขชาติ

นางสาววรรณุช วิณะสนธิ

**ข้าราชการบำนาญ**

รองศาสตราจารย์สุภาภรณ์ จินตามณีโรจน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บำรุง ไตรรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ อินทร์รักษ์

❖ **กลุ่มวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และ**

**เทคโนโลยี**

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ สงสะเสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารินทร์ ก้านเหลือง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ์ อนุรักษ์อุดม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาศอุบล ทองงาม

อาจารย์ ดร.จวีร์วรรณ จันปลา

อาจารย์ภัทรพงษ์ ภาคภูมิ

**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

รองศาสตราจารย์ ดร.นิชาอุตะห์ ระเด่นอาหมัด

**มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายัญ ปันมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัฉรดา สโรบล

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ เพ็ชรมงคล

**มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศรี โชว์พิพิธพรชัย

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย

รองศาสตราจารย์สิริจร สโมสร

**มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรพตมา สิ้นศิริ

**มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล

**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิกันต์ กู้พงษ์ศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา โชติช่วง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ

อาจารย์ ดร.ศิริมา พ่วงประพันธ์

**มหาวิทยาลัยศิลปากร**

รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.นีลวรรณ พงศ์ศิลป์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา ลิ้มมัทวาริณี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วยา พุททวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุขุม โฆษิตชัยมงคล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณท์รัตน์ ทิวถนอม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกช ชันจิริกุล



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ คูร์รัมย์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ ออบสุวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ดี ระแบบเลิศ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษราภรณ์ งามปัญญา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ คันธิยงค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา เจวจินดา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วยา พุทวงค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณยพร มากทรัพย์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิธิศิัย  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลย์ บันเทิง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศุภชัย วาสนานนท์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนทรัพย์ ตริภพนาถกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจิรา พงศ์นิมิตประเสริฐ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ลีลาสง่าลักษณ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรินทร์ ฆะปะบุตร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ สมุหเสนีโต  
อาจารย์ ดร.ศราวุธ ภูไผ่จิตรกุล  
อาจารย์ ดร.กัณธิดา พันธุ์เจริญ  
อาจารย์ ดร.กิตติยาพร สิงห์สัมพันธ์  
อาจารย์ ดร.กุลทัศน์ สุวัฒน์พิพัฒน์  
อาจารย์ ดร.ณิชนันทน์ เทพศุภรังษิกุล  
อาจารย์ ดร.วันวิภาห์ ตุ่มน้อย  
อาจารย์ ดร.วิสรา รอดเหตุภัย  
อาจารย์ ดร.วีรยุทธ์ แซ่ลี้ม  
อาจารย์ ดร.วิไลวรรณ สิริโรจนพุดิ  
อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง  
อาจารย์ ดร.สินี หนองเต่าดำ  
**มหาวิทยาลัยมหิดล**  
รองศาสตราจารย์ ดร.งามนิจ ชื่นบุญงาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา บุญเสริม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลีอรัตน์ อนุรัตน์พานิช  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**  
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สิริชัย เทพา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์

อาจารย์ ดร.ลีอรัตน์ อนุรัตน์พานิช  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ**  
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเนตร สมบัติสมภพ  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัศม์ณัฐ นรบิน  
อาจารย์ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์  
**มหาวิทยาลัยพะเยา**  
อาจารย์ ดร.บุญชริกา เทพสุคนธ์  
**มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย**  
อาจารย์ ดร.วลีพรรณ รกิติกุล  
**มหาวิทยาลัยนเรศวร**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญเรือง คำศรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นาริลักษณ์ นาแก้ว  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกรินทร์ ชูสิกร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธารทิพย์ บุญส่ง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร เงินคำ  
อาจารย์ ดร.รัมภา จุฑะกนก  
อาจารย์ ดร.ณิชากร คอนดี  
อาจารย์ ดร.อัศจรา อิ่มคำ พุฒคำ  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**  
อาจารย์ ประเสาร จิตรเพ็ชร  
**มหาวิทยาลัยขอนแก่น**  
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติกร นาคประสิทธิ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมเรศ เชื้อสาวถี  
**มหาวิทยาลัยบูรพา**  
รองศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ต้นติวรานูรักษ์  
อาจารย์ ดร.วาสิณี พงษ์ประยูร  
**มหาวิทยาลัยรังสิต**  
รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา จันทร์ประเสริฐ  
**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**  
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต งามเสนห์  
**มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม**  
อาจารย์ ดร.กัญจรัตน์ สุขรัตน์





**มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ**

อาจารย์ ดร.ศรัณย์ กอสนาน

**นักวิชาการอิสระ**

ดร.จุมพฏ กาญจนกำธร

**ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)**

ดร.ปณิธิ วัชรพจน์พอจิต

อาจารย์ ดร.ฐิติมา สงเคราะห์

**โรงเรียนนายร้อยตำรวจ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.ต.ท. ดร.สฤณี สืบพงษ์ศิริ

**สำนักงานตำรวจแห่งชาติ**

พันตำรวจโท ธนบูรณ์ รัชสกุลการสกุล

พันตำรวจเอกอดิษฐ์ กัณหา

**ศิริพัฒน์สหคลินิก**

แพทย์หญิงนุสรีย์ ศิริพัฒน์



#### กำหนดการ

โครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10  
เรื่อง “การยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21”  
วันที่ 25-26 มิถุนายน 2563  
โดยความร่วมมือระหว่างบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ร่วมกับ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย และศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร(องค์การมหาชน)

วันพฤหัสบดีที่ 25 มิถุนายน 2563

08.30 – 09.00 น.

กล่าวรายงาน

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิซ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

กล่าวต้อนรับ

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยชาญ ถาวรเวช

อธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร

กล่าวเปิดงาน

โดย นายภราเดช พษ์ฉวีเชียร

นายกสภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

09.00 – 10.00 น.

บรรยายพิเศษเรื่อง

“การยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนามนุษย์ในศตวรรษที่ 21”

โดย ศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วงศ์รัตนชีวิน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

10.15 – 16.30 น.

นำเสนอผลงานวิจัยแบบออนไลน์ แยกตามกลุ่มสาขาวิชา

วันพฤหัสบดีที่ 26 มิถุนายน 2563

09.00 – 16.30 น.

นำเสนอผลงานวิจัยแบบออนไลน์ แยกตามกลุ่มสาขาวิชา

## สารบัญ

### กลุ่ม วิทยาศาสตร์

ชื่อ-นามสกุล	ชื่อบทความ	เลขที่หน้า
นางสาวจุฑามาศ แสงชุม	การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะด้าน การคิดวิเคราะห์และเจตคติต่อสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในเรื่อง ปริมาณสัมพันธ์	S1-S11
นายธีรภาพ รักษาศรี	ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี	S12-S20
นายติณณ์ อนุชาตระกูล	ระบบสนับสนุนการค้นหาเว็บไซต์เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้งานในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน	S21-S29
นางสาวพรพรรณ เสาร์คำเมืองดี	การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD	S30-S37
นางสาวภัสรา เพ็งไย	กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	S38-S46
นางสาวนภาพร เฉลิมขวลิต	การตรวจระบุอายุหนอนแมลงวันหัวเขียว <i>Chrysomya megacephala</i> จากโครงสร้างกระดูกเซฟาโรฟาริงค์ โดยวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์	S47-S56
นางสาวอริชรา นวพงศ์	เว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้างแรงจูงใจในการจัดหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล	S57-S66
นายณัฐรุฑูฒิ วิเวโก	ผลกระทบของยีน <i>flaA</i> และ <i>fliD</i> ของเชื้อ <i>Helicobacter pylori</i> ต่อรูปร่างของแฟลเจลลาและการเคลื่อนที่	S67-S74

นางสาวสหัสษา พิงาม	การประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าจากแบบจำลองการถ่ายเทรังสีอาทิตย์	S75-S81
นายจิรโรจน์ โสอุดร	โมบายแอปพลิเคชันเพื่อลงทะเบียนนักท่องเที่ยวที่เข้าพักโรงแรมด้วยเทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง	S82-S90
นายตุลยวัต ประสงค์มณีรัตน์	ไมโครไบโอมในระบบทางเดินอาหารของจระเข้ น้ำจืดสยาม ( <i>Crocodylus siamensis</i> ) ในแหล่งเพาะเลี้ยง และความสัมพันธ์ต่อโรคภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก	S92-S98
นางสาวจิตาภา เหลี้ยวเจริญ	ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพเกล็ดขนมปังปลอดกลูเตนและการประยุกต์ในนักเก็ตไก่	S99-S107
นางสาวณัฐชยา สาทวงศ์	กิจกรรมการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และการทนต่อระบบทางเดินอาหารจำลองของ <i>Bacillus coagulans</i> และ <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	S108-S116
นางสาวขวัญแก้ว สนวนรัมย์ดี	การเปรียบเทียบผลของสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันฝรั่งต่อคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า	S117-S124
นายวันเฉลิม ชนะเลิศ	การศึกษาการขยายตัวของแฮตลีย์เซลล์จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง	S125-S130
นายนิธิพัฒน์ ตันติรักษัธรรม	การวิเคราะห์การขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน CYP21A2 จากการครอสโอเวอร์ไม่ตรงกัน ในผู้ป่วยชาวไทยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส	S131-S138
นางสาวชนิตา ธีระนันท์กุล	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองในกรุงเทพมหานคร	S139-S149

นางสาวสิริกัญญา กระต่ายทอง	ผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำต่อจนพลศาสตร์การทำแห้ง และคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงสุกอบแห้ง	S150-S157
นางสาวชนิดา ทองโสภาก	สารสกัดใบมะตูมฟื้นฟูความบกพร่องทางความจำในหนูที่ถูกกระตุ้นด้วยscopolamine	S158-S166
นางสาวจริยา ศรชัย	ความชุกของยีน bla <sub>OXA-51</sub> , bla <sub>NDM-1</sub> , bla <sub>ADC</sub> , และ aphA6 ใน Acinetobacter baumannii ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ	S167-S175
นางสาวसानิตรา บางสวนหลวง	การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ และการตรวจวัดสีเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์	S176-S184
นางสาวพิมพ์กานต์ บุญยรัตน์	ผลของความร้อนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว ( <i>Oryza sativa</i> L.)	S185-S199
นางสาวกรรณิการ์ จันละมูล	การวิเคราะห์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคำพิพากษาศาลฎีกาคดีความผิดเกี่ยวกับเพศระหว่างปีพ.ศ. 2551 ถึง 2562	S200-S210
ดร. ชัชวิน เพชรเลิศ	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชา กลีบดอกบัวและชาเกสรดอกบัวจากจังหวัดสุพรรณบุรี	S211-S219
นางสาวจันทนา ทองสุก	คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ลดความชื้นและเก็บรักษาในระบบที่ออกแบบด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	S220-S227
นางสาวภาวิดา ประสพสุข	พฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาว ( <i>Amphioctopus aegina</i> , Gray 1849) ให้องปฏิบัติการ	S228-S236

นายทวีศักดิ์ ถานะ	สมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเพกติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกของเสาวรสที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต	S237-S244
นายพรชัย เศรษฐพงษ์	การศึกษาและออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็นแบบปิด	S245-S253
นางสาววารภรณ์ แก้วเมฆ	ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี	S254-S261
นางสาวภาณุชนารถ นนธ์เทศา	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอจากส่วนสกัดย่อยเอทิลอะซิเตทของหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ลูกผสมในจังหวัดระยอง	S262-S270
นางสาวนภัสวรรณ ปัญญา	การพัฒนาวิธีแยกโปรตีนหรือเปปไทด์ขนาดเล็กจากพืชแมงกะพรุน	S271-S279
นายเทวัญ ศรีดารานนท์	การสำรวจเรื่องการใช้เทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยในยุคประเทศไทย 4.0	S280-S288
นางสาวมธุธดา อยู่โพชนา	สนามแม่เหล็กของไฟฟ้ากระแสตรงจากพื้นดินเอกพันธ์ 2 ชั้นที่มีแร่ธาตุรูปงานฝังอยู่	S289-S296
นางสาวสุธีรา ธรรมจง	การใช้วิธีATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์	S297-S305
นางสาวกฤตยา เกตุสุวรรณ	การวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวจวัดสเปกตรัมสำหรับการประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์	S306-S314
นางสาวพัชรี เกตุเฉลียว	การรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับ	S315-S323

	การรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง	
นายสทวรรษ อรุณธัญญา	การศึกษาชีววิทยาและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการอนุบาลกุ้งแรด <i>Atyopsis moluccensis</i> (De Haan, 1849)	S324-S330
นายกฤษฎา บัวนาค	ความหลากหลายของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว จังหวัดอุดรดิษฐ์-พิษณุโลก	S331-S341
นางสาวชชตรา อังศุเดชาไชย	Diagnostic value of clusterin as a novel biomarker for predicting early progression of knee osteoarthritis	S342-S349
นางสาวนิภาพร พลภา	การสังเคราะห์สารประกอบไตรเอริลมีเทนชนิดไม่สมมาตรอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ของเหลวไอออนิกชนิดกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	S350-S358
Miss Khanh Duong Ngoc Cong	Title: Association Between NAT2 Polymorphisms And Drug-induced Liver Injuries in Tuberculosis Treatment: A Systematic Review And Meta-Analysis	S359-S363
นายณัฐสิทธิ์ ฉ่ำเฉื่อย	การประเมินฝุ่นละออง PM2.5 จากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต	S364-S371
นางสาวจินดารัตน์ ปรีโยธร	การศึกษาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นบนในประเทศไทย : กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร	S372-S379
นางสาวสรารัตน์ คนชื่อ	ชุดการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง	S380-S389
นางสาวสิริพร คานภู	การพัฒนาเวชสำอางต้านสิวจากสารสกัดรำข้าวมะลิแดง	S390-S399
นายภคิณ วิฑูริญญภาพ	Efficacy of optimal dose and injection site of botulinum toxin for chronic	S400-S406

	anal fissure: Systematic review and meta-analysis	
นางสาวกรองแก้ว แก้วกสิกรรม	Efficacy of Botulinum toxin in Management of Equines Gait in Children with Spastic Cerebral palsy: A Systematic review and Meta-analysis	S407-S414
นายชากา ทิวารี	Association of neck circumference with hypertension: a systematic review and meta-analysis	S415-419
นางสาวณิชชนันท์ บุญสุข	การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากอูตพิตที่มีผลต่อเซลล์ไฟโบรบลาสจากเอ็มบริโอไก่	S420-S424
นายทณาคุณ ณะขว่าง	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในการปรุงไข่ตองออนเซ็นจากไข่ไก่และไข่เป็ด	S425-S432
นายภูวดล หมอกยา	การศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีดทองแดงลาย และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คูกี้จิ้น	S433-S440
นายคงฤทธิ์ ชูฟัก	ผลการใช้บทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่อง การนำเสนอข้อมูลผ่านพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4	S441-S453
นายนรเศรษฐ์ กรุดสมัย	การเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม tSNE ในการจำแนกข้อมูลโดยใช้การสกัดคุณลักษณะแบบสองชั้น	S454-S463
นางสาววนิดา ชาวนา	กลไกระดับโมเลกุลของน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณแกมมาออร์ซานอลสูงต่อการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1	S464-S473



นายณรงค์เดช ทรัพย์ประเทือง	การปรับปรุงการทำงานของพนักงานโดยใช้ แบบประเมินทักษะความชำนาญ กรณีศึกษา บริษัทผลิตหน้าปัดนาฬิกาตัวอย่าง	S474-S482
นางสาวอิศราภรณ์ สีนทองธนพัฒน์	ผลของสตาร์ชตัดแปร โปรตีนถั่วเหลืองสกัด เข้มข้น และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ต่อสมบัติทาง กระแสวิทยาของแป้งข้าว	S483-S490
นางสาวนัฐกาญจน์ ฉายแผ้ว	การประเมินอันตรายทางกายภาพและการ ยืนยันทวนสอบประสิทธิภาพของขั้นตอน X- Ray ในกระบวนการผลิตมันฝรั่งทอดกรอบ	S491-S499
นายพาริณ กิตติพงศ์เดชา	ไทเทรช: การสกัดข้อมูลทางคลินิกโดย อัตโนมัติจากรายงานการตรวจอัลตราซาวด์ ของต่อมไทรอยด์โดยใช้ ระบบรายงานข้อมูล การถ่ายภาพต่อมไทรอยด์	S500-S508
นายพิสุทธิ์ บุรณจินดา	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้าง โรงงานผลิตโพลีเมอร์สำหรับเบาะนั่งของยานยนต์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	S509-S516
นางสาวพรศิริ นิธิเศรษฐ์	การศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ ผลิตจากผักตบชวา	S517-S525
ว่าที่ร้อยตรีหญิงมัตติกา เขียวเจริญ	ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะ มูลฝอยของชุมชนในกรุงเทพมหานคร	S526-S533
ว่าที่ร้อยตรีเกียรติศักดิ์ บุญเดช	การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัด แรงสั่นสะเทือนและระบุตำแหน่งในการ ติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์	S534-S541
นางสาวสิริอร มุลมณี	ผลของการใช้วัตถุดิบปรุงอาหารและอิมัลซิไฟ เออร์ต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช	S542-S550
นายคณิน เลิศรังษี	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ 6-โซกาออล ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยแบคทีเรีย สายพันธุ์ SG1	S551-S558

นายกนกพล มะไลทอง	ผลของBacillus sp.เพื่อเร่งการย่อยสลายของ ผักตบชวาในสภาพจำลองและคุณภาพของปุ๋ย หมัก	S559-S567
นางสาวเพียงใจ เลิศศรี	ฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโร ซิเนสของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตร	S568-S573
นางสาวธัญพร ปะทะธง	The treatment of gait rehabilitation in patients with spinal cord injury: A systematic review and direct meta- analysis	S574-S581
นางสาวสุรรัตน์ อินสินธุ์	Prevention of Venous Thromboembolism in Gynecological Cancer Patients Undergoing Major Abdominopelvic Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis	S582-S589
นางสาวสุภาวดี สมคะเน	อิทธิพลของการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของ มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง	S590-S597
นางสาวไดแอน พาราดีบา	Efficacy and safety of H1- antihistamines in chronic spontaneous urticaria: A systematic review and network meta-analysis	S598-S605
นางสาวโมฬีมาศ บุบผาชาติ	การออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการ ตัดสินใจสำหรับแก้ไขปัญหาที่พบใน กระบวนการทำเหมืองแร่	S606-S613
นางสาวสุจีรา พฤกษชาติ	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุแคโทด ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่สามารถควบคุม รูปร่างได้ในคู่อั้วทำละลายโดยวิธีโซลโวเทอร์ มอลสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	S614-S621
นายสุรศักดิ์ คามะปะโน	ระบบควบคุมการจ่ายน้ำเติมปุ๋ยอัตโนมัติและ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC	S622-S629

นางสาวพรรณิกา เอียงปาน	การประเมินการสะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพในป่าปลูกโกกงก โดยใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นจากหุ่นยนต์อากาศยานขนาดเล็ก บริเวณตำบลยี่สาร อำเภอมัทพวา จังหวัดสมุทรสงคราม	S630-S637
นางสาวสุวรรณา จิตติสรสกุล	การประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน: กรณีศึกษาการผลิตพริกแกง	S638-S645
นายณวิทย์ การุณย์ลัญจกร	การประยุกต์ใช้แผนภาพต้นไม้สำหรับการสร้างภาพภูควมสัมพันธ์	S646-S656
นายรณภพ ภูแพร่	การพัฒนาปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบง่าย เพื่อการปรับปรุงหลังคาของที่พักอาศัย	S657-S669
นางสาวสาลินี จันทร์ทอง	สถานภาพประชากรและพื้นที่การกระจายของปรงตากฟ้า	S670-S678
นายอุทัย ยอดสวัสดิ์	การวิเคราะห์หลายปัจจัยในการจัดลำดับโครงการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า	S679-S688
นางสาวคณางค์ ลิขิตวิวัฒน์	อิทธิพลของชนิดน้ำตาลต่อกระบวนการออสโมซิสของมะม่วง	S689-S695
นางสาวปรางมาส คุ้มภัย	การเปรียบเทียบสัญญาณทางสรีรวิทยาที่บ่งชี้การตกไข่ ในลิงหางยาว ( <i>Macaca fascicularis</i> ) ทางตอนเหนือ และตอนใต้ของประเทศไทย	S696-S703
นายเทิดศักดิ์ สุธาตุ	การจำแนกสปีชีส์ <i>Mycobacterium avium</i> complex ด้วยการหาลำดับเบสของยีน <i>gyrB</i> Differentiation of <i>Mycobacterium avium</i> complex species by <i>gyrB</i> gene sequencing	S704-S712

นางสาวจุไรรัตน์ โพธิ์มัน	ฝุ่นละอองข้ามพรมแดน : กรณีศึกษา เหตุการณ์ฝุ่นละอองในประเทศไทยช่วงต้นปี พ.ศ. 2563	S713-S720
นายนาอิม บินอับรอเฮง	การใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการ เรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหายเพื่อ พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์ และฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี	S721-S729
นางสาววรางคณา แยมเกต	การตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียใน ผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค Helicase dependent amplification	S730-S738
นายภาคภูมิ เดชหัสติน	เทคนิคใหม่ทางคอมพิวเตอร์ในการอ่านผล Treponema pallidum Particle Agglutination Test (TPPA)	S739-S747
นางสาวกมลชนก คงศรี	การสร้าง SORL1-EGFP reporter ในเซลล์ ต้นกำเนิดจำเพาะชนิดพหุศักยภาพ โดย เทคนิค CRISPR/Cas9	S748-S757
นางสาวจันทรา ปราการสมุทร	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกิ่งหม่อนพันธุ์ เชียงใหม่ 60	S758-S765
นายวชรพล แสงศิวะฤทธิ์	A Collection of Glycosylation Analysis for Erythropoietin Alfa: A Systemic Review	S766-S773
นางสาวชนิกา อังสนันท์สุข	Open plate fixation versus closed nail fixation for pediatric femoral shaft fractures: A systematic review and meta-analysis	S774-S780
นางสาวภัสสร ทองนอก	แนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยา นอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล กรณีศึกษา โรงพยาบาลราชบุรี	S781-S788

นางสาวรุ่งนภา อ่อนชู	การทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง	S789-S797
นางสาวสุภัทรา ผาคำ	พลาสติกเม็ดเลือดเข้มข้นกระตุ้นการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อบุข้อจากโรคข้อเข่าเสื่อม	S798-S805
นายอรรถพล ศรีประดิษฐ์	การประเมินกิจกรรมทางชีวภาพของผลแคนตาลูปด้วยเทคนิคสเปคเคิล	S806-S813
นายธนภุต กักวิชัย	การประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจของการใช้น้ำยางพาราสำหรับการสร้างถนนในประเทศไทย	S814-S821

การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และเจตคติต่อสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในเรื่อง ปริมาณสัมพันธ์  
Development of Problem-Based Learning Integrated with STEM Education to Enhance Analytical Thinking Skills and Attitudes towards STEM of Matthayomsuksa 4 Students in Stoichiometry Topic.

จุฑามาศ แสงชุม<sup>1</sup> บุญนาค สุขุมเมฆ<sup>1</sup> และ เอ็มอร ศักดิ์แสงวิจิตร<sup>1</sup>

Jutamas Sangchum<sup>1</sup> Boonnak Sukhummek<sup>1</sup> and Aimorn Suksangwjit<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ และเปรียบเทียบทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และเจตคติที่มีต่อสะเต็ม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษากลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ และได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย กลุ่มตัวอย่างมีนักเรียนจำนวน 36 คน ชาย 17 คน หญิง 19 คน ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 15 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ และแบบวัดเจตคติต่อสะเต็ม ผลการวิจัยพบว่า 1) การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา มีความเหมาะสมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในการเรียนเรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ โดยหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถนำองค์ความรู้มาบูรณาการกับสะเต็มเพื่อออกแบบและสร้างชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ 2) นักเรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์สูงขึ้นหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้เท่ากับ  $6.97 \pm 2.18$  และคะแนนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เท่ากับ  $18.67 \pm 2.38$  3) นักเรียนมีเจตคติต่อสะเต็มทั้งด้านความคิด ความรู้สึก และพฤติกรรม อยู่ในระดับมาก หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา โดยมีความแตกต่างจากผลของ เจตคติต่อสะเต็มของนักเรียนก่อนเรียน ที่อยู่ในระดับปานกลาง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

**คำสำคัญ:** การเรียนแบบปัญหาเป็นฐาน. สะเต็มศึกษา. การคิดวิเคราะห์. เจตคติต่อสะเต็ม

<sup>1</sup> ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140 ประเทศไทย

Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

## Abstract

This research aims to study a suitable learning guideline for matthayomsuksa 4 students in stoichiometry topic and to compare their analytical thinking skills and attitudes towards stem after receiving problem-based learning integrated with STEM education. The samples were matthayomsuksa 4 students, who studied in science and mathematics program, and were selected by a simple random sampling. They were 36 students; 17 males and 19 females. The research took 15 periods, 50 minutes per period. The instruments used in this research were the analytical thinking skill test and the attitude towards stem test. The results showed that 1) The problem-based learning with STEM education was suitable for matthayomsuksa 4 students to study the stoichiometry topic. The students could enable to integrate their knowledge with STEM to design and create their works effectively. 2) The students increased their analytical thinking skills after conducting the problem-based learning integrated with STEM education at a confidence level of .01, showing the average pre-test score at  $6.97 \pm 2.18$  and the average post-tests core at  $18.67 \pm 2.38$ . 3) The student's attitude toward STEM, including their thinking, feelings and behaviors, was at high level, after receiving the problem-based learning integrated with STEM education. It showed differently from that of the pre-test, which being at fair level, at a confidence level of .01

**Keywords:** Problem-based learning. STEM Education. Analytical thinking. Attitudes towards stem

## บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต วิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคน ทั้งในชีวิตประจำวัน เครื่องมือ เครื่องใช้ ตลอดจนผลผลิตต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิต และการทำงาน ที่ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่นๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ ได้พัฒนาชีวิต ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ และมีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) และในการก้าวเข้าสู่ยุค Thailand 4.0 ทักษะการคิดวิเคราะห์เป็นทักษะที่มีความสำคัญยิ่ง ประเทศจะไม่สามารถพัฒนาหรือสร้างนวัตกรรมของตนขึ้นมาได้ ถ้าทรัพยากรบุคคลไม่มีทักษะการคิดวิเคราะห์ ผู้เรียนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาและฝึกฝนให้มีทักษะนี้ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ ได้ลงมือปฏิบัติ ได้ฝึกการคิดวิเคราะห์เพื่อนำมาสู่ การแก้ปัญหาด้วยตนเอง

การจัดการเรียนการสอนของประเทศไทยในปัจจุบัน ครูผู้สอนส่วนใหญ่ยังคงยึดวิธีการสอนแบบเดิม คือ สอนแบบบรรยาย เน้นให้ผู้เรียนท่องจำมากกว่าลงมือปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนขาดทักษะที่สำคัญต่างๆ เช่น ทักษะการคิด วิเคราะห์ ทักษะการแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนเกิดการเบื่อหน่าย และขาดทักษะการเรียนรู้ สะท้อนให้เห็นได้จากคะแนนการ สอบ O-net และ PISA ในปีที่ผ่านๆ มา วิชาวิทยาศาสตร์เป็นวิชาหนึ่งที่นักเรียนได้คะแนนต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยมาตรฐาน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560 online) หากต้องการให้ผู้เรียนมีคุณภาพดังที่คาดหวัง ครูผู้สอนควรปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ ด้วยตนเอง (ชาติชาย โปยมเมฆา, 2549)

การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบใช้ปัญหาเป็นฐานเป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการเรียนการสอนที่เน้น ผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยมีปัญหาเป็นจุดตั้งต้นของกระบวนการเรียนรู้ และเป็นตัวกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการคิด วิเคราะห์ สังเคราะห์ และแก้ปัญหา (เด็อนงาม นามเมือง, 2552) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ได้เสนอยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่บูรณาการวิศวกรรมศาสตร์ ผู้การใช้ประโยชน์ในการประกอบอาชีพและการศึกษาตลอดชีวิต หรือที่เรียกว่า “สะเต็มศึกษา” (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะ แห่งศตวรรษที่ 21 นอกจากนี้การที่ผู้เรียนได้ลงมือออกแบบและสร้างชิ้นงานตามกระบวนการทางวิศวกรรม ทำให้ผู้เรียน เกิดความภาคภูมิใจในตนเอง และเปิดโลกทัศน์การเรียนรู้ใหม่เกี่ยวกับกระบวนการทางวิศวกรรม ส่งผลให้ผู้เรียนมีเจตคติ ที่ดีต่อสะเต็มอีกด้วย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา ในเรื่องปริมาณสัมพันธ์ ซึ่งเป็นหัวข้อสำคัญหัวข้อหนึ่งทางเคมีที่ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารในหน่วยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี และนักเรียนส่วนใหญ่ประสบปัญหาไม่สามารถทำความเข้าใจ และไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และสร้างเจตคติที่ดีต่อสะเต็มหลังจากที่



ได้รับการจัดการเรียนรู้ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้สำหรับครูผู้สอน และปรับปรุงหรือพัฒนา การจัดการเรียนการสอนของคุณให้มีความมากยิ่งขึ้น

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์
2. เพื่อเปรียบเทียบทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ และเจตคติที่มีต่อสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา

## วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบางปะกอกวิทยาคม ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ ที่เรียนรายวิชาเคมีเพิ่มเติม เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 และเรียนในห้องเรียนส่งเสริมศักยภาพทางวิชาการ ที่ได้รับการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และภาษาอังกฤษมากกว่าห้องเรียนอื่นๆ กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) จำนวน 1 ห้องเรียนจากจำนวน 4 ห้องเรียน โดยกลุ่มตัวอย่างมีนักเรียนจำนวน 36 คน ประกอบด้วยชาย 17 คน และหญิง 19 คน โดยแบบแผนที่ใช้ในการวิจัย คือ One Group Pretest-Posttest Design

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ จำนวน 4 แผน ดังนี้ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกริยาเคมีและการดุลสมการเคมี แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง มวลของสารในปฏิกริยาเคมี และผลได้ร้อยละ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การคำนวณปริมาณสารในปฏิกริยาเคมี และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง สารกำหนดปริมาณ และการคำนวณจากสมการเคมีที่เกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งสมการ โดยทั้งสี่แผนผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และมีคะแนนเฉลี่ยของการประเมินอยู่ในระดับดี มีคะแนนอยู่ในช่วง 4.34 – 4.40

2.2 แบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ โดยใช้ทฤษฎีของบลูม (Bloom, 1956) แบ่งทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ออกเป็น 3 ด้าน คือ การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ โดยแบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์นี้ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ด้านความสำคัญ 6 ข้อ การวิเคราะห์ด้านความสัมพันธ์ 10 ข้อ และการวิเคราะห์ด้านหลักการ 9 ข้อ โดยแบบวัดทักษะนี้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และมีค่า IOC อยู่ในช่วง 0.6 – 1 และ นำแบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ไปทดสอบกับนักเรียนที่เคยเรียน เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์มาก่อน พบว่า แบบทดสอบนี้มีค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.25 – 0.75 และมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.25 – 1 โดยมีค่าความเชื่อมั่นของข้อสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.91

2.3 แบบประเมินเจตคติต่อสะเต็ม เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ของลิเคอร์ท์ จำนวน 15 ข้อ ประกอบด้วยข้อคำถามเชิงบวก 12 ข้อ และข้อคำถามเชิงลบ 3 ข้อ โดยแบบประเมินได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่ามีค่า IOC ของคำถามทุกข้อ เท่ากับ 1

### 3. ตัวแปรของงานวิจัย

3.1 ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อสะเต็ม

4. ระยะเวลาดำเนินการวิจัย เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2563

### 5. วิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 ก่อนดำเนินการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยแจ้งข้อตกลงให้นักเรียนทราบเช่น จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ ระยะเวลาดำเนินการ การวัดและประเมินผล และเกณฑ์การให้คะแนน โดยคะแนนที่ได้จากการทดสอบนี้จะไม่ส่งผลต่อคะแนนในปลายภาคเรียน เป็นต้น และทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ และแบบประเมินเจตคติต่อสะเต็ม

5.2 ผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยตนเองตามแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 4 แผน ใช้เวลา 15 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที เมื่อจบบทเรียนครูผู้สอนทดสอบหลังเรียนด้วยแบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ และแบบประเมินเจตคติต่อสะเต็มฉบับเดิม

5.3 ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้สะท้อนผลการเรียนรู้ของนักเรียน เช่น แบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ แบบประเมินเจตคติต่อสะเต็ม ใบกิจกรรม แบบประเมินชิ้นงาน แบบประเมินพฤติกรรม และแบบสัมภาษณ์นักเรียน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

## ผลการวิจัยและอภิปราย

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่องปริมาณสัมพันธ์

ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษาตามขั้นตอนของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ 4 ขั้น ได้แก่ วางแผน (plan) ปฏิบัติการ (act) สังเกต (observe) และสะท้อนผล (reflect) (สุวิมล ว่องวานิช, 2553) โดยใช้รูปแบบการสอนแบบ 5E ประกอบด้วย

ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ครูสร้างความสนใจให้นักเรียน โดยใช้รูปภาพ คลิปวิดีโอที่เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน และใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการสร้างคำถามแล้วร่วมกันวิเคราะห์ปัญหา เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ใช้เกมและรูปภาพเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน เพื่อทดสอบความรู้เดิมของนักเรียนเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจค้นหา (Exploration) นักเรียนร่วมกันกำหนดแนวทางการสำรวจ ตรวจสอบสมมติฐาน กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ แล้วลงมือปฏิบัติเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างเพียงพอที่จะใช้ในขั้นต่อไป เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนแบ่งกลุ่ม ทำการทดลองเรื่อง การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{BaCl}_2$  บันทึกผลการทดลอง และทำการคำนวณเพื่อตรวจสอบหาจำนวนโมลที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกัน

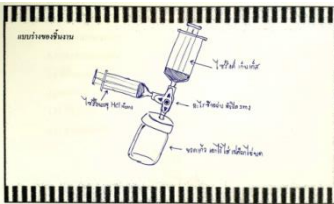
ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากขั้นที่ 2 มาวิเคราะห์ผล แปลผลสรุปผล และนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น บรรยายสรุป หรือสร้างตาราง ซึ่งเป็นการสร้างองค์ความรู้ให้เกิดขึ้นกับตัวนักเรียน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเรื่อง การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{BaCl}_2$  มานำเสนอผลในรูปแบบกราฟและตาราง วิเคราะห์ผล แปลผล และสรุปผลว่า อัตราส่วนโดยโมลของ  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{BaCl}_2$  ที่ทำปฏิกิริยาเคมีกันพอดี เท่ากับ 2 : 3 และสามารถนำจำนวนโมลมาเขียนไว้ข้างหน้าสูตรเคมีของสารในสมการเคมีได้

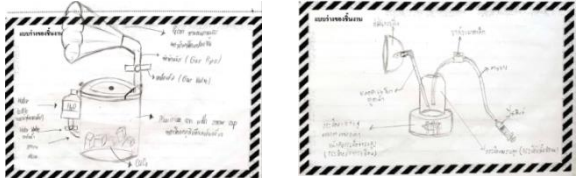
ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยการนำองค์ความรู้ที่ได้มาเชื่อมโยงกับความรู้เดิม หรือแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อออกแบบและสร้างชิ้นงานด้วยกระบวนการทางวิศวกรรม ตามสถานการณ์ที่ครูกำหนดโดยบูรณาการกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) พร้อมทั้งปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ครูแจกเปลือกไข่และกล่องอุปกรณ์ที่บรรจุ กระบอกฉีดยา, สายยาง, ตัวต่อสามทาง, ถ้วยแก้วใบเล็ก, ชันน้ำทรงสูง, สารละลาย  $\text{NaCl}$ , สารละลาย  $\text{HCl}$  และสารละลาย  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ในขั้นแรก นักเรียน ต้องทราบก่อนว่าในเปลือกไข่มีสารใดเป็นองค์ประกอบ และควรเลือกสารเคมีชนิดใดมาทำปฏิกิริยาแล้วเกิดแก๊ส จากนั้นจึงร่วมกันออกแบบอุปกรณ์เก็บแก๊สจากสิ่งที่ครูแจกให้โดยนำความรู้ที่ได้มาบูรณาการกับ STEM เพื่อออกแบบ และสร้างอุปกรณ์เก็บแก๊ส ด้วยกระบวนการทางวิศวกรรม พร้อมทั้งเลือกใช้วิธีการทดสอบแก๊สที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินค่าของข้อมูล (Evaluation) นักเรียนนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ ชิ้นงานของนักเรียนแต่ละกลุ่มจะได้รับการประเมินค่าจากเพื่อนร่วมชั้นและครูผู้สอน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนนำเสนออุปกรณ์เก็บแก๊สหน้าชั้นเรียน โดยมีเพื่อนร่วมชั้นและครูผู้สอนซักถามข้อสงสัย ให้ข้อเสนอแนะ และประเมินค่าของชิ้นงานที่นักเรียนสร้างขึ้น ตัวอย่างชิ้นงานที่นักเรียนออกแบบโดยบูรณาการความรู้กับ STEM เพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดในแต่แผนการจัดการเรียนรู้ แสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** สถานการณ์การใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา และผลงานนักเรียนที่แสดงการบูรณาการกับ STEM ของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

เรื่อง	สถานการณ์	การบูรณาการความรู้กับ STEM	
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี และการดุลสมการเคมี	ให้นักเรียนออกแบบอุปกรณ์เก็บแก๊สที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่กับสารเคมีที่ทำให้เกิดแก๊ส โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ครูเตรียมไว้ให้	S	- ความรู้ เรื่อง สมการเคมี - ความสัมพันธ์ในหน่วยโมลของสารในปฏิกิริยาเคมี - สมบัติของแก๊ส - การเกิดปฏิกิริยาเคมี
		T	- การสืบค้นวิธีการสร้างชิ้นงานจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ - การนำเสนอชิ้นงานในรูปแบบคลิปวิดีโอการทดลอง
		E	-การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการเก็บแก๊ส
		M	-คำนวณจำนวนโมลและปริมาณของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน

เรื่อง	สถานการณ์	การบูรณาการความรู้กับ STEM	
	ชิ้นงานที่นักเรียนออกแบบ		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง มวลของสารในปฏิกิริยาเคมี และ ผล ได้ ร้อยละ	นักเรียนจะนำตะกอนแคลเซียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นมาสร้างชิ้นงานอย่างไร เพื่อดึงดูดให้ผู้เข้าร่วมงาน“เปิดประตูสู่บ.ก.” มีส่วนร่วมกับผลงานที่นักเรียนออกแบบมากที่สุด (นักเรียนออกแบบการนำตะกอน CaSO <sub>4</sub> ไปสร้างชิ้นงาน)	S	- ความรู้ เรื่อง มวลของสารในปฏิกิริยาเคมี - ผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพ - การนำตะกอน CaSO <sub>4</sub> มาทำให้เกิดประโยชน์
		T	- การสืบค้นวิธีการสร้างชิ้นงานจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ - โฟสโต้แบบร่างชิ้นงานลงในกลุ่มเฟสบุ๊ค
		E	- วางแผนขั้นตอนการสร้างชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ - ออกแบบชิ้นงานให้มีรูปแบบที่สร้างสรรค์
		M	- คำนวณปริมาณตะกอน CaSO <sub>4</sub> ให้เพียงพอต่อการนำมาสร้างชิ้นงาน
	ชิ้นงานที่นักเรียนออกแบบ		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี	นักเรียนสร้างชิ้นงานจากตะกอน CaSO <sub>4</sub> ที่ได้ออกแบบไว้ในเรื่อง มวลของสารในปฏิกิริยาเคมี และผลได้ร้อยละ	S	- ความรู้ เรื่อง สมการเคมี และการคำนวณมวลของสารในปฏิกิริยาเคมี - ผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพ - การนำตะกอน CaSO <sub>4</sub> มาทำให้เกิดประโยชน์
		T	- การสืบค้นวิธีการสร้างชิ้นงานจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ - ทำคลิป์วิดีโอขั้นตอนการทำงานและถ่ายภาพชิ้นงาน
		E	- วางแผนขั้นตอนการสร้างชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ - สร้างชิ้นงานจากตะกอน CaSO <sub>4</sub> ให้มีรูปแบบที่สร้างสรรค์ตามที่ได้ออกแบบไว้
		M	- คำนวณปริมาณตะกอน CaSO <sub>4</sub> ให้เพียงพอต่อการสร้างชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ
	ชิ้นงานที่นักเรียนสร้าง		

เรื่อง	สถานการณ์	การบูรณาการความรู้กับ STEM	
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง สารกำหนดปริมาณ และการคำนวณ จากสมการเคมี ที่เกี่ยวข้อง มากกว่าหนึ่ง สมการ	จากความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาของ $\text{CaC}_2$ และ $\text{H}_2\text{O}$ แล้วเกิดแก๊ส $\text{C}_2\text{H}_2$ นักเรียนจะสามารถนำไปต่อยอดเป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่างในที่ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าในลักษณะใดได้บ้าง และนักเรียนจะมีวิธีการใดในการควบคุมปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาโดยให้มีความปลอดภัยมากที่สุด	S	- ความรู้ เรื่อง สารกำหนดปริมาณและสมการที่เกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งสมการ - ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการเผาไหม้
		T	- การค้นคว้าขั้นตอนการสร้างตะเกียงแคลเซียมคาร์ไบด์ - การทำคลิปลิวิดิโอการทดลอง
		E	- การเลือกวัสดุทำตะเกียง - การออกแบบรูปทรงของตะเกียง กลไกการไหลของน้ำและแก๊ส บริเวณที่ตะเกียงปล่อยแก๊สออกมา รวมไปถึงความปลอดภัยของอุปกรณ์ขณะที่นำไปใช้งาน
		M	- การคำนวณปริมาณสารที่ใช้เข้าทำปฏิกิริยากัน - การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์ไบด์ - การคำนวณหาอัตราการปล่อยแก๊สอะเซทิลีนที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน - การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นต่อระยะเวลาที่ให้แสงสว่าง
	ชิ้นงานที่นักเรียนออกแบบ		

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้สะท้อนผลการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยดำเนินการสอนได้เป็นอย่างดี นักเรียนส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ และชอบการจัดการเรียนรู้แบบใช้การทดลอง และกิจกรรมสะเต็มศึกษา เช่น นักเรียนสะท้อนความคิดเห็นว่า “การได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง ทำให้มองเห็นสิ่งต่างๆ เป็นรูปธรรมมากขึ้น แตกต่างจากการเรียนแบบเดิม” “ครูมีกิจกรรมที่หลากหลายและสัมพันธ์กับเนื้อหาที่เรียน” “สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนในชั้นเรียนมาประยุกต์ใช้ได้ แต่ต้องสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อให้ได้เนื้อหาและตัวอย่างที่หลากหลายเพิ่มขึ้น” และการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนมีการคิดเป็นลำดับขั้นมากขึ้น ทำให้เข้าใจในทฤษฎีมากขึ้น และมีเจตคติที่ดีต่อสะเต็มมากขึ้น เช่น นักเรียนสะท้อนความคิดเห็นว่า “ชอบกิจกรรมที่ได้สร้างอุปกรณ์เก็บแก๊ส เพราะได้นำความรู้ในวิชาต่างๆ มาใช้กับการออกแบบ” “อยากให้ครูมีกิจกรรมแบบนี้ทุกคาบ”

2. ผลการวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์

2.1 ผลการวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์คะแนนจากแบบวัดทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 6.97 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.18 จากคะแนนเต็ม 25 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 18.67 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.38 การเพิ่มขึ้นของคะแนนเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์สูงขึ้น หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา โดยมีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทั้งนี้ เนื่องจากนักเรียนได้มีการฝึกทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ในระหว่างการเรียนดังที่นำเสนอมา ตัวอย่างเช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กิจกรรมแข่งขันเป่าลูกโป่ง โดยลูกโป่งที่เป่าจะต้องลอยได้เหมือนลูกโป่งสวรรค์ จากกิจกรรมนี้ นักเรียนต้องวิเคราะห์ชนิดของแก๊สที่อยู่ภายในลูกโป่งว่าเพราะเหตุใดลูกโป่งที่เป่าจึงลอยไม่ได้เหมือนกับลูกโป่งสวรรค์ เป็นต้น ผลการเปรียบเทียบทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ของนักเรียน เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้สถิติทดสอบ T-test dependent samples

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	จำนวนนักเรียนทั้งหมด (คน)	ผลการทดสอบ		T	Sig. (p*)
			$\bar{X}$	S.D.		
ก่อนเรียน	25	36	6.97	2.18	24.58	0.00
หลังเรียน			18.67	2.38		

\*p<.01

2.2 ผลการพัฒนาทักษะด้านการคิดวิเคราะห์รายด้าน ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์

ทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ตามทฤษฎีของบลูม แบ่งออกเป็นสามด้าน คือ ด้านความสำคัญ ด้านความสัมพันธ์ และด้านหลักการ จากผลการวิเคราะห์รายด้านของทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านความสำคัญเท่ากับ  $2.58 \pm 1.01$  ด้านความสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ  $2.53 \pm 0.99$  และด้านหลักการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ  $1.86 \pm 0.76$  แต่หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านความสำคัญด้านความสัมพันธ์ และด้านหลักการ เป็น  $4.78 \pm 0.76$   $8.00 \pm 1.45$  และ  $5.89 \pm 1.36$  ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากนักเรียนได้รับการฝึกฝนเพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์รายด้านต่างๆ ตัวอย่างเช่น กิจกรรมการต่อโมเลกุลของน้ำจากลูกโป่งปอง โดยนักเรียนได้รับลูกโป่งปองสีส้มและสีขาว อย่างละ 6 ลูก ซึ่งลูกโป่งปองสีส้มแทนอะตอมของออกซิเจน และลูกโป่งปองขาวแทนอะตอมของไฮโดรเจน จากกิจกรรมนี้ นักเรียนต้องวิเคราะห์ว่าธาตุใดเป็นสารกำหนดปริมาณ โดยดูจากลูกโป่งปองที่ใช้หมดก่อนซึ่งเป็นการฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านความสำคัญการทำการทดลองเรื่องการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{BaCl}_2$  เพื่อหาอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมฟอสเฟตต่อแบเรียมคลอไรด์ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน แล้วนำมาเขียนสมการเคมีได้ ซึ่งเป็นการฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านความสัมพันธ์ และการทำการทดลองระหว่าง  $\text{Ca(OH)}_2$  กับ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และการทดลองระหว่างเปลือกไข่กับ  $\text{HCl}$  เพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงมวลของสาร เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีว่าเป็นตามกฎทรงมวลหรือไม่ ซึ่งเป็นการฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์จึงสามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา สามารถทำให้นักเรียนมี

ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทั้งด้านความสำคัญ ด้านความสัมพันธ์ และด้านหลักการเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ผลการเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์รายด้านของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้สถิติทดสอบ T-test dependent samples

ด้านของทักษะการคิดวิเคราะห์	จำนวนข้อสอบ	ก่อน (n=36)		หลัง (n=36)		t	Sig. (p*)
		$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
การวิเคราะห์ด้านความสำคัญ	6	2.58	1.01	4.78	0.76	9.76	0.00
การวิเคราะห์ด้านความสัมพันธ์	10	2.53	0.99	8.00	1.45	22.74	0.00
การวิเคราะห์ด้านหลักการ	9	1.86	0.76	5.89	1.36	17.22	0.00
ภาพรวม	25	6.97	2.18	18.67	2.38	25.96	0.00

\*p < .01

### 3. ผลการพัฒนาเจตคติต่อสะเต็ม

ผลการวิเคราะห์คะแนนเจตคติต่อสะเต็มของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา พบว่าคะแนนจากการตอบแบบประเมินเจตคติต่อสะเต็มหลังได้รับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ทุกด้าน โดยมีคะแนนภาพรวมเฉลี่ยก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ เท่ากับ 3.25 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.39 จัดอยู่ในระดับปานกลาง และมีคะแนนภาพรวมเฉลี่ยหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ เท่ากับ 3.63 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.35 จัดอยู่ในระดับดี และพบว่าหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษานักเรียนมีเจตคติต่อสะเต็มสูงขึ้นกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการเปรียบเทียบเจตคติต่อสะเต็มของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา โดยใช้สถิติทดสอบ T-test dependent samples

เจตคติต่อสะเต็ม	ก่อน (n=36)			หลัง (n=36)			t	Sig. (p*)
	$\bar{X}$	S.D.	ระดับเจตคติ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับเจตคติ		
ด้านความคิด	3.35	1.01	ปานกลาง	4.05	0.83	มาก	8.72	0.00
ด้านความรู้สึกรัก	3.40	0.94	ปานกลาง	3.95	0.87	มาก	11.95	0.00
ด้านพฤติกรรม	3.22	0.98	ปานกลาง	3.86	1.05	มาก	13.73	0.00
ภาพรวม	3.25	0.39	ปานกลาง	3.63	0.35	มาก	1.24	0.00

\*p < .01

## บทสรุป

การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า 1) แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนได้ นักเรียนสามารถนำความรู้มาบูรณาการกับสะเต็ม เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงาน ทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจในตนเอง แนวทางการจัดการเรียนรู้จึงมีความเหมาะสมต่อการจัดการเรียนรู้

เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 2) นักเรียนมีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ด้านความสำคัญ ด้านความสัมพันธ์ และด้านหลักการ สูงขึ้นหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา 3) นักเรียนมีเจตคติต่อสะเต็มสูงขึ้นทั้งด้านความคิด ความรู้สึก และพฤติกรรม หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหา เป็นฐานร่วมกับสะเต็มศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: ชุมชนุสภกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย
- ชาติชาย โปยมเมฆา. (2549). *ผลของการเรียนแบบร่วมมือต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เดื่อนงาม นามเมือง. (2554). *การพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รายวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน*. *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 5 (4). 12-20.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). *สรุปผลการวิจัย PISA 2015*. สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2560. จาก <http://pisathailand.ipst.ac.th/pisa/reports/pisa2015summaryreport>.
- สุวิมล ว่องวานิช. (2553). *การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน*. (น.23). พิมพ์ครั้งที่ 9 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Benjamin Samuel Bloom. (1956). *Taxonomy of Education Objectives Hand Book I: Cognitive Domain*. New York: David Mac Kay Company.



# ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี

## EFFECTS OF BODY WEIGHT TRAINING ON THE LEG MUSCLE STRENGTH OF GRADE SIX STUDENTS IN WATNIMMANORADEE SCHOOL

นายธีรภาพ รักษาศรี<sup>1\*</sup>, ทศพล ธานี<sup>2</sup> และ สาทิน ประจันบาน<sup>3</sup>

Teeraphap Raksasee<sup>1</sup>, Tosapol Tanee<sup>2</sup> and Sathin Prachanban<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดีและเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลอง 30 คนและกลุ่มควบคุม 30 คน เลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยใช้วิธีการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา โดยใช้เวลาในการฝึก 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันจันทร์ วันพุธ และ วันศุกร์ เครื่องมือที่ใช้คือโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาประกอบไปด้วย (1).ท่าฮาล์ฟ สควอช (2).ท่าลันจ์ (3).ซูโม่ สควอช (4).อัลเทอร์เนทีฟ สเต็ปอัพ (5).ดองกี้ คิกแบค (6).โคลเบอร์ โดยมีการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาจะทดสอบก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย( $\bar{x}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) ทดสอบหาค่าที่ (t-test) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ(One Way Repeated ANOVA) และวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ(Two Way Repeated ANOVA)

ผลการวิจัยพบว่า

1. หลังการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย พบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึกกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แต่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของทั้ง 2 กลุ่ม กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุปว่าการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดีมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาการฝึกยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนการสอนรายวิชาพลศึกษาที่มุ่งเน้นให้นักเรียนเพิ่มกิจกรรมทางกายจึงทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ในการพัฒนาสมรรถภาพทางด้านร่างกายได้

**คำสำคัญ:** การฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย, ความแข็งแรง, กล้ามเนื้อขา, นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

<sup>1</sup> นักศึกษาหลักสูตรศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 0824559407

<sup>2</sup> อาจารย์ ดร.สาขาวิชาศึกษาศาสตร์และพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>3</sup> อาจารย์ ดร. สาขาวิชาศึกษาศาสตร์และพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effects of body weight training on the leg muscle strength of grade six students in Watnimmanoradee School and to compare the leg muscle strength among grade six students in the experimental a group, which consisted of thirty people and a control group of thirty people and used purposive sampling by testing the strength of the leg muscle. The duration of the training for eight weeks and took three times a week on Monday, Wednesday and Friday. The tools included leg strength training programs, consisting of the following: (1) Half Squat (2) Lunge; (3) Sumo Squat; (4) Alternating Step-up (20 cm); (5) Donkey KickBack; (6) Climber, with a test of leg muscle strength before and after the fourth, sixth and eighth weeks. The data were analysis mean, by standard deviation, t-test, a one way analysis of variance with repeated measures and two way analysis of variance with repeated measures.

The results of the research were as follows.

1. After body weight training, the experimental group had more leg strength than before training, with a statistical significance of .05.

2. The strength of the leg muscles before training among the experimental group and the control group was not significantly different. However after training the two groups, during the fourth, sixth and eighth weeks, it was found that the control group and the experiment group were significantly different at a level of .05. In conclusion, body weight training on leg muscle strength of Grade 6 students in Wat Nimmanoradee School has increased strength of leg muscles and the duration of the training also affects the increase in strength of the leg muscles. Which is in line with the physical education course that allows students to increase physical activity, allowing students to use to develop physical fitness.

**KEYWORDS:** Body weight, Strength, Leg muscle, Grade six students.

## บทนำ

ปัจจุบันสมรรถภาพทางด้านร่างกายเป็นสิ่งสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวัน ไม่ใช่เฉพาะนักกีฬาที่ต้องมีสมรรถภาพทางด้านร่างกายที่ดี แต่คนทุกคนควรมีสมรรถภาพทางด้านร่างกายที่ดี สมรรถภาพทางด้านร่างกายยังเป็นสิ่งบ่งชี้ความสมบูรณ์ของร่างกายอีกด้วย สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬาและสำนักงานพัฒนาการกีฬาและนันทนาการ (2547, น. 14) กล่าวว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อ เพื่อให้เกิดความตึงตัวเพื่อใช้แรงในการยกหรือดึงสิ่งต่างๆ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะช่วยทำให้ร่างกายทรงตัวเป็นรูปร่างขึ้นมาได้ หรือเรียกว่าความแข็งแรงเพื่อรักษาทรงตัว ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะช่วยให้ร่างกายทรงตัวกับแรงต้านกับแรงโน้มถ่วงโลกได้โดยอ้อม เป็นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวพื้นฐาน เช่น การวิ่ง การกระโดด การเขย่ง การกระโจน เป็นต้น ความแข็งแรงอีกชนิดหนึ่งของกล้ามเนื้อเรียกว่า ความแข็งแรงเพื่อการเคลื่อนไหวมุมต่างๆ เพื่อเล่นกีฬา เช่น การปา การตี เป็นต้น ซึ่งการฝึกด้วยน้ำหนักหรือเวทเทรนนิ่งเป็นการฝึกโดยใช้น้ำหนักและเป็นการสร้างความพร้อมด้านความแข็งแรงและความอดทนของร่างกาย ให้สามารถปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันการฝึกด้วยน้ำหนักที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแยกได้เป็น 3 ประเภทคือ 1.การฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย เป็นการฝึกโดยใช้น้ำหนักของตัวเองเป็นแรงต้าน เช่น การดึงข้อ การดันพื้น การลุกนั่ง เป็นต้น 2.การฝึกด้วยฟรีเวท เป็นการฝึกโดยใช้อุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ เช่น ดัมเบลล์ บาร์เบลล์ เป็นต้น 3.การฝึกด้วยน้ำหนักที่ติดมากับตัวเครื่อง เป็นการฝึกที่ใช้อุปกรณ์น้ำหนักที่ติดมากับตัวเครื่อง มีขนาดใหญ่เคลื่อนที่ไม่ได้ เช่น เครื่องไซเบ็กซ์ , นิดูลส เป็นต้น ซึ่งการฝึกด้วยน้ำหนักเป็นการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ 1.ความแข็งแรงสูงสุด 2.ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น 3.ความแข็งแรงอดทน เป็นต้น

โรงเรียนวัดนิมมานรดีก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2475 โดยมีการจัดการเรียนการสอนในระดับชั้นอนุบาลถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งปีการศึกษา 2560 โรงเรียนวัดนิมมานรดีจัดให้มีการทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนในทุกๆ ระดับชั้น โดยใช้รายการทดสอบของกรมอนามัย ซึ่งมีการทดสอบ 5 อย่างคือ (1).การทดสอบความอ่อนตัว (2).การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (3).การทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (4).การทดสอบความเร็ว (5).การทดสอบความคล่องแคล่วว่องไว ซึ่งผลปรากฏว่านักเรียนหญิงชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จะมีสมรรถภาพทางกายในด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงเรียนกำหนดโดยใช้เกณฑ์จากสถาบันพลศึกษา วิทยาเขตชุมพร และจากการสังเกตในวิชาพลศึกษา นักเรียนหญิงจะเกิดการบาดเจ็บเนื่องจากการเคลื่อนไหวบ่อยครั้ง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการเรียนการสอนรายวิชาพลศึกษา ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจึงเป็นสิ่งพื้นฐานที่สำคัญในระดับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งการเรียนจะเน้นการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ เช่น การเคลื่อนไหวประกอบอุปกรณ์ การเคลื่อนไหวแบบไม่เคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวแบบเคลื่อนที่ เป็นต้น การฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกายจะใช้น้ำหนักของตัวเองเป็นแรงต้านทำให้ร่างกายไม่ต้องรับภาระของน้ำหนักที่มากเกินไป เช่น การดึงข้อ การวิดพื้น การลุกนั่ง และท่าย่อเข่าลงทั้งสองข้าง เป็นต้น การฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย เป็นการฝึกโดยมีขีดจำกัดแค่น้ำหนักของตัวเอง แต่สามารถเพิ่มหรือลดได้โดยการจัดทำทางในการปฏิบัติใหม่ การฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย ยังมีข้อดีอีก

ข้อคือ ผู้ฝึกสามารถทำท่าต่างๆ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ มีความหลากหลาย สะดวกในการที่จะจำท่าทางในการปฏิบัติ และสามารถปฏิบัติที่ได้ก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นในห้องพัก หรือแม้แต่ที่แคบ

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับผลของโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี และเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี
2. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

## วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนหญิงชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี สังกัดกรุงเทพมหานคร สำนักงานเขตภาษีเจริญ ปีการศึกษา 2562 จำนวน 210 คน โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นร้อยละ 25 ของจำนวนประชากรทั้งหมด จำนวน 60 คน เลือกแบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้วิธีการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Back and Leg Dynamometer) โดยคัดเลือกนักเรียนที่มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาต่ำกว่า 48 กิโลกรัมลงมา โดยใช้เกณฑ์ของสถาบันพลศึกษา วิทยาเขตชุมพร จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาได้มาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม โดยจัดกลุ่มในลักษณะของการจับคู่ (Matching)

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย จำนวน 2 ชุด คือ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ โปรแกรมการฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้างและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

- 1.1. ศึกษาจากเอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และออกแบบโปรแกรมการฝึก

- 1.2. นำโปรแกรมการฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นให้ประธานและกรรมการควบคุมปริญญาโทตรวจสอบ ปรับปรุง และแก้ไขให้มีความเหมาะสม

- 1.3. นำโปรแกรมการฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Index of Item Objective Congruence) เพื่อตรวจสอบ ปรับปรุง และแก้ไขให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นเพื่อให้มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ผลการประเมินพบว่า โปรแกรมการฝึก

โดยใช้น้ำหนักของร่างกาย มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.80 -1.00 ดังตารางตารางแสดงผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึกโดยใช้น้ำหนักของร่างกาย

ลำดับ	ท่าการฝึก	IOC	แปลผล
1	Half Squat	1.00	ผ่านเกณฑ์
2	Lunge	1.00	ผ่านเกณฑ์
3	Sumo Squat	1.00	ผ่านเกณฑ์
4	Alternating set-Up(20 cm)	1.00	ผ่านเกณฑ์
5	Donkey Kickback	0.8	ผ่านเกณฑ์
6	Climber	1.00	ผ่านเกณฑ์

#### 1.5. ใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดผล ประกอบด้วย

2.1. เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ผู้วิจัยใช้อุปกรณ์วัดคือ Back and Leg Dynamometer ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงเรียนกำหนด ระหว่าง 60-100 กิโลกรัม และในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการวัดข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างทุกคน ทุกครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัดเดิมทุกครั้ง

#### 2.2. โบบันทึกข้อมูล

#### 3. วิธีดำเนินการรวบรวมข้อมูล

1. ประสานงานเพื่อขออนุญาตจากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

2. ยื่นทำการขออนุญาตยื่นยันการยกเว้นการรับรองคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณา

โครงการวิจัยที่ทำในมนุษยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รหัสโครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-379/2561

3. ทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Back and Leg Dynamometer) ของ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก และแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม กลุ่มละ 30 คน

4. กลุ่มทดลอง ทำการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกาย เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ละ 3 วัน คือวันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ เวลา 15.35 – 16.15 น. ส่วนกลุ่มควบคุมเรียนตามปกติ ไม่ได้รับการฝึก

5. ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Back and Leg Dynamometer) ของ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4,6 และ 8 ตามลำดับ

#### 4. การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากผลทดสอบสมรรถภาพทางกายมาวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

1. หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

2. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ของกลุ่มทดลอง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์

ความแปรปรวนแบบทางเดียวและสองทางชนิดซ้ำ (One Way Repeated ANOVA and Two Way Repeated ANOVA) และเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีการของบอร์นเฟอโรน

3.ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก ด้วยสถิติทดสอบที (t-test) แบบ Independent Samples t-test)

### สรุปผลการวิจัย

**ตอนที่ 1** ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ปรากฏผลดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 , 6 , 8 ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่ม	จำนวน (n)	ก่อนฝึก		หลังฝึก สัปดาห์ที่ 4		หลังฝึก สัปดาห์ที่ 6		หลังฝึก สัปดาห์ที่ 8	
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
กลุ่มทดลอง	30	39.52	6.10	47.40	7.53	55.15	8.49	62.60	11.45
กลุ่มควบคุม	30	38.15	6.01	39.12	6.27	41.20	7.21	41.38	6.56

จากตาราง 1 พบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 39.52 (S.D.= 6.10) , 47.40 (S.D. = 7.53) , 55.15 (S.D. = 8.49) และ 62.60 (S.D. = 11.45 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 38.15 (S.D.=6.01), 39.12. (S.D. = 6.27), 41.20 (S.D. = 7.21) และ 41.38 (S.D. = 6.56) ตามลำดับ

**ตอนที่ 2** ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ปรากฏผลดังตาราง 2-3

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองก่อนการฝึก

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.D.	t	sig
ทดลอง	30	39.517	6.092	.872	.387
ควบคุม	30	38.153	6.013		

จากตาราง 2 พบว่าก่อนการฝึก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.517 (S.D.= 6.092) ในขณะที่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.153 (S.D.= 6.013) ซึ่งเมื่อดำเนินการทดสอบทางสถิติแล้วพบว่า ก่อนการฝึก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองและกลุ่ม

ควบคุมไม่แตกต่างกัน จึงดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่มีระยะเวลาการฝึกต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางชนิดวัดซ้ำ ได้ผลดังตาราง 3

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของระยะเวลาการฝึกที่มีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่มีวิธีการฝึกแตกต่างกัน (n=60)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	sig
ระยะเวลา	5923.665	2.365	2504.231	54.072*	<.001
วิธีการฝึก	7531.881	1	753.881	60.671*	<.001
ระยะเวลากับวิธีการฝึก	3197.445	2.365	1351.74	29.187*	<.001
ความคลาดเคลื่อน	6353.934	137.197	46.313	-	-

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 3 พบว่าปฏิสัมพันธ์ของระยะเวลาการฝึกกับวิธีการฝึก ส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะระยะเวลาการฝึกที่แตกต่างกัน พบว่าส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และวิธีการฝึกที่แตกต่างกัน ก็พบว่าส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกัน ดังแสดงผลในตาราง 4

ตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.E	t	Sig
กลุ่มทดลอง	30	51.167	1.017	11.203*	<.001
กลุ่มควบคุม	30	39.963	1.017		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบรายคู่พบว่ากลุ่มทดลองมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## อภิปรายผล

จากการศึกษาเรื่องผลของการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดนิมมานรดี เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน ได้ทำการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้วยการใช้เครื่องมือ Back and Leg Dynamometer โดยทำการวัด ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 และได้นำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่า

ก่อนการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกันโดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเท่ากับ 39.52 และ 38.15 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันโดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง เท่ากับ 47.40 ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.12 ซึ่งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง เท่ากับ 55.15 ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.20 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันโดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง เท่ากับ 62.60 ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.38

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จะพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นเพราะโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างได้รับการกระตุ้นกล้ามเนื้อให้ทำงานหนักยิ่งขึ้น จึงทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ เจริญ กระบวนรัตน์. (2540). ได้กล่าวว่าการพัฒนาของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องกระตุ้นเร้ากล้ามเนื้อให้ทำงานหนักและมากขึ้นกว่าเดิมจึงจะได้ผล การพัฒนาขีดความสามารถของกล้ามเนื้อระดับสูงสุดสามารถทำได้โดยการฝึกกล้ามเนื้อให้ออกแรงเต็มที่ในแต่ละช่วงของการฝึกหรือการเคลื่อนไหว โดยใช้หลักการเพิ่มความหนักในการฝึกมากกว่าปกติ ซึ่งเป็นหลักการฝึกที่ทำให้ร่างกายหรือกล้ามเนื้อต้องทำงานเกินกว่าอัตราปกติในลักษณะของการเพิ่มความต้านทานมากขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ เช่นมี การเพิ่มน้ำหนักหรือความเร็วในการฝึกมากขึ้นกว่าที่เคยปฏิบัติและในทุกกิจกรรมของการออกกำลังกาย หรือการฝึกนั้นจะต้องพยายามกระตุ้นให้กล้ามเนื้อที่มีการยึดหดตัวอย่างเต็มที่ทุกครั้งฝึกและยังสอดคล้องกับ พิเชิต ภูติจันทร์ (2547: 26) กล่าวว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หมายถึงกำลังสูงสุดของกล้ามเนื้อมัดหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งปล่อยออกเพื่อต้านกับแรงต้านทาน เป็นที่ยอมรับกันว่าการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถสร้างได้โดยฝึกให้กล้ามเนื้อได้ออกแรงต่อสู้กับความต้านทานหรือน้ำหนักที่สูงขึ้น

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโปรแกรมมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกตั้งที่ สนธยา สีละมาต (2547) ได้กล่าวไว้ว่า ความแข็งแรงอาจปรับปรุงได้โดยการใช้แรงต้านทานภายในเช่น ความพยายามที่จะจ่อแขนขณะที่ใช้แขนอีกข้างหนึ่งต้านไว้ หรือแรงต้านทานภายนอกในร่างกายเช่น น้ำหนักของร่างกาย (การดันพื้น) ลูกบอลน้ำหนัก ยางหรือผ้ายืด หรือเครื่องมือออกกำลังกาย และการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกมีปฏิสัมพันธ์กับความแข็งแรงของการออกกำลังกายระยะเวลาในการฝึกมากเท่าไร ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ วิฑูรย์ ยมะสมิต (2552) ได้ทำการศึกษาผลการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้วยน้ำหนัก ที่มีต่อความแข็งแรงและความเร็วในการวิ่ง 50 เมตรของนักเรียนเตรียมทหาร พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ความสามารถในการวิ่ง 50 เมตร และความแข็งแรง



ของกล้ามเนื้อขา ของทั้งกลุ่มควมคุม และกลุ่มทดลอง ไม่ แตกต่างกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 8 ความสามารถในการวิ่ง 50 เมตร และวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

### ข้อเสนอแนะ

การฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายเป็นกิจกรรมหนึ่งซึ่งช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ซึ่งขาเป็นส่วนสำคัญของการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆเช่น การวิ่ง การกระโดด ควบม้า เป็นต้น ซึ่งการฝึกด้วยน้ำหนักของร่างกายตนเองนั้นจะไม่เป็นการเพิ่มภาระของร่างกายหรือความหนักให้ผู้ฝึกมากเกินไป แต่ผู้ฝึกนั้นจะต้องทำการอบอุ่นร่างกายเพื่อให้พร้อมกับการฝึก และสิ่งสำคัญคือท่าทางหรือรูปแบบการฝึก จะต้องฝึกท่าทางหรือรูปแบบให้ถูกต้องก่อนเพื่อป้องกันอาการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นจากการฝึกได้

### เอกสารอ้างอิง

- คณิน ประยูรเกียรติ. (2561). การประยุกต์กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสู่การฝึกด้วยน้ำหนักตัว = Applied anatomy and physiology to bodyweight training (พิมพ์ครั้งที่ 1): กรุงเทพฯ : แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.
- เจริญ กระจวนรัตน์. (2540). ยางยืดพิชิตโรค. กรุงเทพฯ: บริษัทแกรนสปอร์ต กรุ๊ป.
- พิชิต ภูติจันทร์. (2547). การฝึกยกน้ำหนักเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วิฑูรย์ ยมะสมิต. (2552). ผลการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าด้วยน้ำหนัก ที่มีต่อความแข็งแรงและความเร็วในการวิ่ง 50 เมตร ของนักเรียนเตรียมทหาร ปีการศึกษา 2551. ปรินูญานิพนธ์ (กศ.ม. (พลศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.
- สนธยา สีละมาต. (2547). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา: กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬาและสำนักงานพัฒนาการกีฬาและนันทนาการ. (2547). การศึกษาสมรรถภาพทางกาย ของนักเรียนวัยก่อนประถมศึกษา กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุ



# ระบบสนับสนุนการค้นหาเว็บไซต์เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้งานในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

## The Website Search Support System for the Co-working Space User

ติณณ์ อนุชาตระกุล<sup>1</sup> และ ปัทธาสินี ภัทธโกศล<sup>2</sup>

Tin Anuchatrakoon and Pattarasinee Bhattarakosol<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

เนื่องจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ตอย่างรวดเร็วส่งผลให้การทำงานของมนุษย์ไม่จำกัดอยู่เพียงที่ใดที่หนึ่งอยู่เพียงแห่งเดียว เนื่องจากความคล่องตัวในการติดต่อสื่อสารและการเรียกใช้ข้อมูลที่มีอยู่อย่างกระจายตัวบนโลกอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปแบบการทำงานจากเดิมที่พนักงานจะต้องทำงานภายในออฟฟิศและใช้ข้อมูลที่เก็บอยู่ภายในองค์กรของตนเท่านั้น เป็นการทำงานโดยอิสระ พนักงานสามารถเลือกที่นั่งทำงานของตนได้โดยไม่ถูกผูกติดกับแหล่งข้อมูลที่ต้องการใช้งาน ด้วยเหตุนี้เอง การจัดตั้งธุรกิจ Co-working Space หรือออฟฟิศร่วมแบ่งปันจึงได้เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ที่ประสงค์จะหาที่นั่งทำงานอย่างอิสระของตนได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้ ธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นธุรกิจที่มีความน่าสนใจในการเลือกทำงาน เนื่องจากมีการสนับสนุนการทำงานของพนักงาน ส่งผลให้เกิดธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันมากขึ้นและทำให้เกิดการแข่งขันที่สูงขึ้น

บทความนี้ทางผู้วิจัยได้นำเสนอนวัตกรรมเพื่อสนับสนุนการทำธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปัน โดยการนำเสนอถึงเว็บแอปพลิเคชันที่ช่วยให้การหาแหล่งข้อมูลสารสนเทศของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น อันถือได้ว่าเป็นการพัฒนาการให้บริการด้านสิ่งอำนวยความสะดวกในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน และเป็นช่องทางให้ทางออฟฟิศร่วมแบ่งปันสามารถใช้เพื่อสร้างแรงจูงใจในการเข้าใช้บริการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยในรูปแบบของงานวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างผู้ให้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปัน ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เพื่อระบุถึงความต้องการและรูปแบบปัญหาที่พบอยู่ในปัจจุบัน และอีกส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้จะเป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ด้วยการแจกแบบสอบถามเพื่อหาข้อมูลจากผู้รับบริการออฟฟิศร่วมแบ่งปันจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันที่มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตเพื่อการหาข้อมูลสารสนเทศจำนวน 101 คน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าทางผู้ใช้งานให้ความสนใจของนวัตกรรมนี้ ร้อยละ 94.1 จากสถิติสามารถสรุปได้ว่าทางผู้ใช้งานมีความสนใจในการใช้งานนวัตกรรมนี้

**คำสำคัญ :** ออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เว็บแอปพลิเคชัน การแบ่งปันข้อมูล

<sup>1</sup>สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Technopreneurship and Innovation Management Program (TIP), Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

## **Abstract**

According to the rapid development of the Internet, it influences the flexibility of the workplace. The expeditious communication and information accessing through the Internet have changed the style of working, from working in the office with their own database becomes working freely. The employees are able to relocate their workplace without attached to the same data sources. As a consequence, the Co-working Space business has been established to provide the appropriate location for the Co-working Space user to work independently. Therefore, the Co-working Space business becomes an appealing workplace because of its facilitative support to the Co-working Space users. As mentioned, the Co-working Space business becomes more popular, on the other hand, it becomes a highly competitive business.

In this paper, the researcher would like to present an innovation to support the Co-working Space business by developing a web application to facilitate the Co-working Space users in searching for necessary data sources. This can be considered as an improvement of the facility services in the Co-working Space as well as encourage the usage of the Co-working Space.

The studies are conducted by both qualitative research and quantitative research. The qualitative research was performed by interviewing about requirements and problems from the Co-working Space users. While the quantitative research was carried out by the 101 questionnaires of the Co-working Space users who access to the Internet to conduct their work. The results indicate that the Co-working Space users are interested in the web application with a rate of 94.1%. Therefore, it can be stated that the majority of the Co-working Space users are interested in using this web application innovation. In conclusion, this innovation is a potential service to help its users completing their work in the Co-working Space.

**Keywords:** Co-working Space, web application, sharing information

## 1. บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการหาข้อมูลสารสนเทศนั้นได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการเติบโตของระบบอินเทอร์เน็ตที่มีการขยายตัวและผู้ใช้งานที่มีมากขึ้น ส่งผลให้ข้อมูลสารสนเทศที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นได้มีการไหลเวียนอยู่บนระบบอินเทอร์เน็ตมากขึ้น ทำให้ข้อมูลสารสนเทศในอินเทอร์เน็ตนั้นได้เปลี่ยนสภาพไปเป็นแหล่งข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีการขยายตัวตลอดเวลา จึงกล่าวได้ว่าอินเทอร์เน็ตเป็นแหล่งข้อมูลหลักที่สามารถใช้ในการหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม ปัญหาหนึ่งของการหาข้อมูลสารสนเทศบนระบบอินเทอร์เน็ต คือ ปัญหาภาวะข้อมูลมากเกินไป (Information Overload) ส่งผลให้ผู้ที่ต้องการหาข้อมูลเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้ยากมากขึ้นกว่าที่คาดหวังไว้

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานของคนในยุคปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงการทำงานอันเนื่องมาจากการเติบโตของอินเทอร์เน็ต ทำให้รูปแบบงานที่ทำนั้นมีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้ตลาดแรงงานนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ แรงงานที่มีฝีมือมีความสนใจในการทำงานอิสระ ไม่ขึ้นตรงกับหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งมากยิ่งขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ กลุ่มแรงงานที่มีความสามารถหันมาทำงานในรูปแบบฟรีแลนซ์ที่มีรูปแบบการทำงานที่ไม่ขึ้นตรงกับหน่วยงานใด ๆ และรับงานอย่างอิสระตามความพึงพอใจของตน ผลจากการเติบโตของฟรีแลนซ์ ก่อให้เกิดธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันซึ่งสร้างขึ้นมาสืบสนับสนุนในการทำงานในรูปแบบปัจจุบันที่สามารถทำงานได้จากทุกสถานที่ ซึ่งออฟฟิศร่วมแบ่งปันนี้ คือ สถานที่ที่เป็นทางเลือกหนึ่งในนั้งการทำงาน พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวก ส่งเสริมให้เกิดสังคมในการทำงาน และมีความยืดหยุ่นด้านเวลาในการทำงาน ซึ่งสิ่งอันเป็นองค์ประกอบเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนการทำงานของผู้ใช้งานให้เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ปัญหาของธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันนั้นเกิดจากการเติบโตของธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันที่เปิดให้บริการกันโดยง่ายและทัศนคติของคนไทยที่แทบไม่สังเกตถึงความแตกต่างระหว่างการทำงานภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการทำงานภายใต้ร้านกาแฟ ทั้งหมดนี้ส่งผลให้ธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันนั้นเกิดการแข่งขันกันค่อนข้างสูง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงปัญหาของการทำงานในยุคปัจจุบัน ทำให้ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจที่จะแก้ไขปัญหการแข่งขันของธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปัน และปัญหาของการหาข้อมูลสารสนเทศของผู้ใช้งาน โดยการนำทฤษฎีพฤติกรรมกรรมแสวงหาสารสนเทศ และพฤติกรรมการใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เพื่อพัฒนาระบบการค้นหาเว็บไซต์จากประสบการณ์ของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน อันจะเป็นการสนับสนุนการประกอบธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปันและช่วยผู้ใช้งานในการค้นหาข้อมูลสารสนเทศมีความสะดวกสบาย และมีวิสัยทัศน์ในแหล่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

## 1.2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### ออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

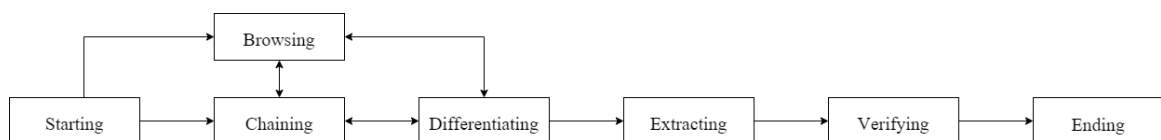
Chan and Zhang (2018) ศึกษาถึงการเติบโตของระบบเศรษฐกิจแบ่งปัน (Sharing Economy) ที่เป็นระบบที่มีการแบ่งปันทรัพยากรเพื่อการประกอบธุรกิจ โดยพบว่าการแบ่งปันในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการแบ่งปันสถานที่เพื่อการทำงาน หรือ ออฟฟิศร่วมแบ่งปัน (Co-working Space) มีทิศทางการเติบโตที่สูงขึ้น

### พฤติกรรมการแสวงหาสารสนเทศ

Arthur Taylor (2012) ศึกษาถึงรูปแบบการหาข้อมูลของคนที่เกิดในช่วงปี 1980s-1990s หรือ ยุคมิลเลนเนียม พบว่าการค้นหาข้อมูลสารสนเทศของคนกลุ่มนี้มีแนวโน้มในการเข้าไปหาข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเป็นลำดับแรก ๆ เนื่องจากสามารถตอบใจห้ความที่ต้องการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ทำให้การค้นหาข้อมูลในรูปแบบของหนังสือหรือเอกสารในรูปแบบของกระดาษมีปริมาณลดลง

Polona Vilar (2015) พบว่าข้อมูลสารสนเทศในรูปแบบกระดาษที่มีอยู่ในห้องสมุดนั้นไม่เพียงพอต่อการค้นหาข้อมูลในยุคปัจจุบันแล้ว โดินข้อมูลส่วนมากได้มีการย้ายขึ้นไปสู่ระบบอินเทอร์เน็ตในปริมาณที่มากขึ้น และปริมาณข้อมูลบนระบบอินเทอร์เน็ตนั้นมีอัตราการขยายตัวที่สูงมาก อีกทั้งยังมีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้การค้นหาข้อมูลบนระบบอินเทอร์เน็ตยังใช้เวลาที่รวดเร็ว ทว่าปัญหาของการค้นหาข้อมูลสารสนเทศผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตนั้น คือ ปัญหาความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้รับ ปัญหาในการกำหนดคำค้นหาที่เหมาะสม และปัญหาข้อจำกัดด้านการเข้าถึงตัวข้อมูล เนื่องจากในบางกรณีผู้ค้นหาจะไม่สามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่ต้องการได้

David Ellis (1989, 1993, 1997) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการแสวงหาสารสนเทศโดยทำการเสนอการแบ่งพฤติกรรมของการแสวงหาสารสนเทศออกเป็น 8 ขั้นตอนคือ 1. การเริ่มต้น (Starting) คือการกำหนดหัวข้อของสารสนเทศที่ต้องการค้นหา 2. การค้นหา (Browsing) คือการหาข้อมูลสารสนเทศโดยอาศัยการสืบค้นกึ่งทิศทางจากหัวข้อที่กำหนด 3. การเชื่อมโยงร้อยเรียง (Chaining) คือการหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลหนึ่งไปสู่อีกข้อมูลหนึ่งโดยอาศัยการเชื่อมโยงของแต่ละข้อมูล 4. การติดตามเฝ้าสังเกต (Monitoring) คือการหาข้อมูลสารสนเทศจากข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน 5. การแยกแยะความแตกต่าง (Differentiating) คือการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ 6. การดึงข้อมูล (Extracting) คือการดึงข้อมูลสารสนเทศจากแหล่งข้อมูลที่ค้นหา 7. การตรวจสอบความถูกต้อง (Verifying) คือการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล 8. การจบกระบวนการ (Ending) คือการจบขั้นตอนการหาข้อมูล ดังแสดงได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 พฤติกรรมการแสวงหาสารสนเทศ

## เว็บแอปพลิเคชัน

เอกชัย แนนอุตร และ วิชา ศิริธรรมจักร (2009) เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) คือ รูปแบบของโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยข้อดีของโปรแกรมในรูปแบบนี้ ตัวของโปรแกรมนั้นไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมในเครื่องที่ใช้งาน เนื่องจากการทำงานของโปรแกรมนั้นทำงานบนเครื่อง Server แล้วจึงนำผลมาแสดงผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ด้วยเหตุนี้เอง การทำงานของโปรแกรมนั้นจึงสามารถทำงานได้จากทุกอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน ไม่ว่าจะเป็น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือโน้ตบุ๊ก และสามารถทำงานได้จากทุกระบบปฏิบัติการทั้งในรูปแบบของ iOS Android Windows และ macOS นอกจากนี้ ตัวโปรแกรมยังสามารถพัฒนาและบำรุงรักษาได้ง่ายทำให้เว็บแอปพลิเคชันเป็นอีกรูปแบบของการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

จากแนวคิดและงานวิจัยที่กล่าวมา ทางผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาถึงรูปแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยเหลือผู้ใช้งานในการทำงานในยุคปัจจุบัน และยังช่วยเหลือผู้ประกอบการออฟฟิศร่วมแบ่งปัน โดยการพัฒนาระบบการค้นหาเว็บไซต์จากประสบการณ์ของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เพื่อส่งเสริมการค้นหาข้อมูลภายในศาสตร์อาชีพที่มีความใกล้เคียงกันภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพของการทำงานของผู้ใช้งานและทำการส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างต้นแบบระบบการค้นหาเว็บไซต์จากประสบการณ์ของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการค้นหาสารสนเทศของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำต้นแบบระบบการค้นหาเว็บไซต์จากประสบการณ์ของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) และ งานวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยในขั้นแรกเป็นการศึกษาเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เพื่อศึกษาออฟฟิศร่วมแบ่งปัน ผู้วิจัยได้คัดเลือกผู้ให้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปัน 5 แห่งจากจำนวนทั้งหมด 20 แห่งในกรุงเทพมหานครด้วยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 5 คนจากการสอบถามถึงความยินยอมของผู้ให้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปันเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาของออฟฟิศร่วมแบ่งปันและความต้องการของทางออฟฟิศร่วมแบ่งปัน จากนั้นจึงสัมภาษณ์ผู้รับบริการออฟฟิศร่วมแบ่งปันจำนวน 5 คนโดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันของผู้ใช้งาน พฤติกรรมการใช้งานอินเทอร์เน็ตภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันของผู้ใช้งานเบื้องต้น

เมื่อการวิจัยเชิงคุณภาพสิ้นสุดลง ผู้วิจัยจึงเริ่มดำเนินการวิจัยเชิงปริมาณโดยพัฒนาแบบสอบถาม (Questionnaire Construction) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เป็นต้นแบบ และผู้วิจัยได้ทดสอบความเที่ยงตรงของแบบสอบถามรายข้อ โดยใช้เครื่องมือ Index of Item – Objective Congruence หรือ IOC เพื่อทดสอบความครอบคลุมของคำถาม จากนั้นจึงนำไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของคำถามและวิเคราะห์ความเชื่อมั่นด้วยวิธีการวิเคราะห์ Cronbach's Alpha แล้วจึงนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปเก็บข้อมูลจริง

ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างเพศชายและหญิง อายุ 18 - 50 ปี ที่อาศัยในกรุงเทพมหานคร และเป็นผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เนื่องจากทางผู้วิจัยไม่สามารถกำหนดจำนวนประชากรจริงได้ ผู้วิจัยจึงใช้หลักการของ Taro Yamane (Yamane, 1976) โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นจำนวนร้อยละ 90 สำหรับประชากรที่ไม่รู้ขนาดที่แน่นอน ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน และใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) โดยการเก็บแบบสอบถามผ่านทางช่องทางออนไลน์ แบบสอบถามจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ส่วนที่ 2 ปัจจัยในการเลือกใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน (Co-working Space)

ส่วนที่ 3 กิจกรรมการทำงานในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

ส่วนที่ 4 แนวทางการพัฒนานวัตกรรมระบบการค้นหาเว็บไซต์เพื่อการทำงานในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

ส่วนที่ 5 ข้อเสนอแนะ

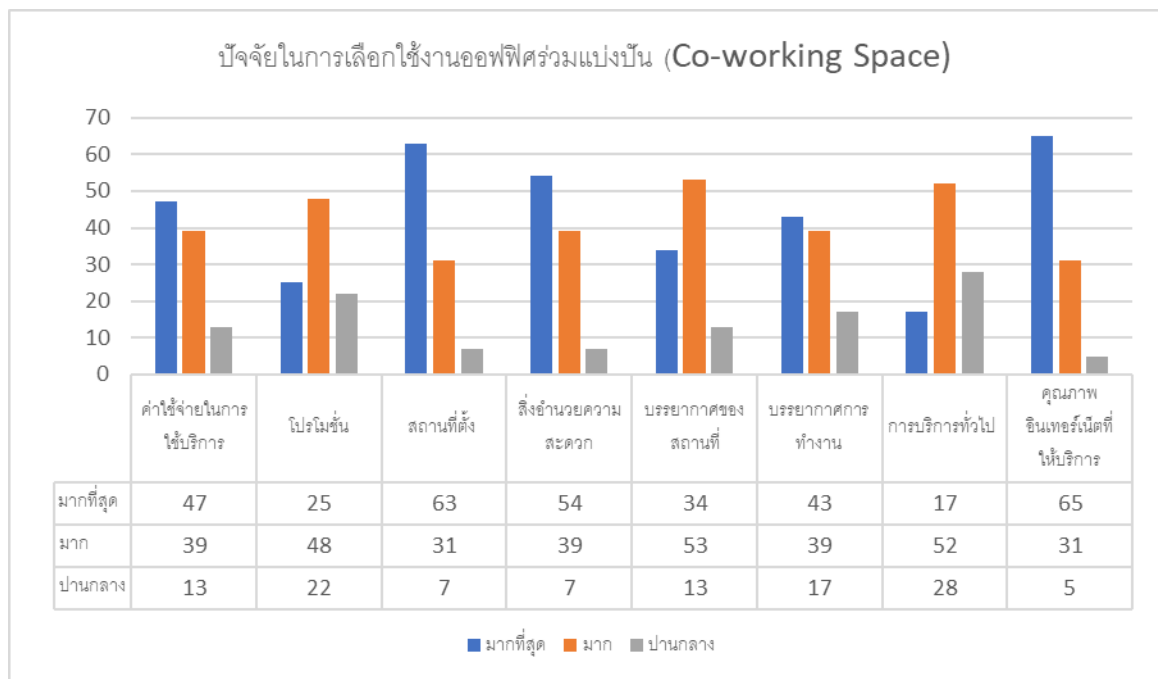
#### 4. ผลและการวิจารณ์

ผลจากการทดลองเก็บข้อมูลการศึกษานำร่อง (Pilot Test) โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน และทดสอบความเชื่อมั่นของแบบคำถามด้วยวิธี Cronbach's Alpha ได้ค่าความความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.808 ซึ่งถือว่ามีค่าความเชื่อมั่นสูงอยู่ นอกจากนี้ เมื่อเก็บข้อมูลจริงจากกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม 125 คน และนำมาคัดกรองด้วยคำถามคัดกรองพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ทางผู้วิจัยให้ความสนใจที่เป็นผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันและมีการหาข้อมูลสารสนเทศมีจำนวนทั้งสิ้น 101 คน ได้ผลการสำรวจดังต่อไปนี้

จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 101 คน สามารถแบ่งออกเป็นเพศชายจำนวน 40 คน และเพศหญิงจำนวน 61 คน อายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 26 - 30 ปี (50.5%) มีระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่าเป็นส่วนใหญ่โดยคิดเป็นจำนวนร้อยละ 55.4 ทั้งนี้ อาชีพผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คือ ข้าราชการ/พนักงานประจำ/ลูกจ้าง (56.4%) ส่วนประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 0 - 2 ปี (33.7%) และกลุ่ม 3 - 5 ปี (30.7%) นอกจากนี้แล้วยังพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 20,001 - 30,000 บาท ซึ่งผลของการศึกษาวิจัยในการเลือกใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญต่อคุณภาพของอินเทอร์เน็ตที่มีการให้บริการ ร่วมกับสถานที่ตั้งของออฟฟิศร่วมแบ่งปัน ตามด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีให้ภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันนั้น ดังปรากฏในรูปที่ 1



เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานโดยใช้ข้อมูลสารสนเทศในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน ผลการวิจัยพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เข้าใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน 0 - 5 ครั้งต่อเดือน (75.2%) และมักใช้เวลาต่อครั้ง 0 - 3 ชั่วโมง (45.5%) และ 4 - 6 ชั่วโมง (43.6%) ทั้งนี้ รูปแบบการทำงานส่วนใหญ่นั้นอยู่ในรูปแบบของการทำงานเป็นกลุ่มโดยสมาชิกและกลุ่มดังกล่าวรู้จักกันจากภายนอกออฟฟิศร่วมแบ่งปัน (53.5%) และมีการหาข้อมูลทั้งในรูปแบบของการหาข้อมูลใหม่และการทบทวนข้อมูลเดิม (65.3%) จากแหล่งข้อมูล 3 แหล่ง คือ เสิร์ชเอนจิน (Search engine) เว็บไซต์ทั่วไป (Generic website) และ สื่อสังคมออนไลน์ (Social media) คิดเป็นจำนวนร้อยละ 88.1, 63.4 และ 44.6 ตามลำดับ



รูปที่ 2 การจำแนกปัจจัยในการเลือกออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

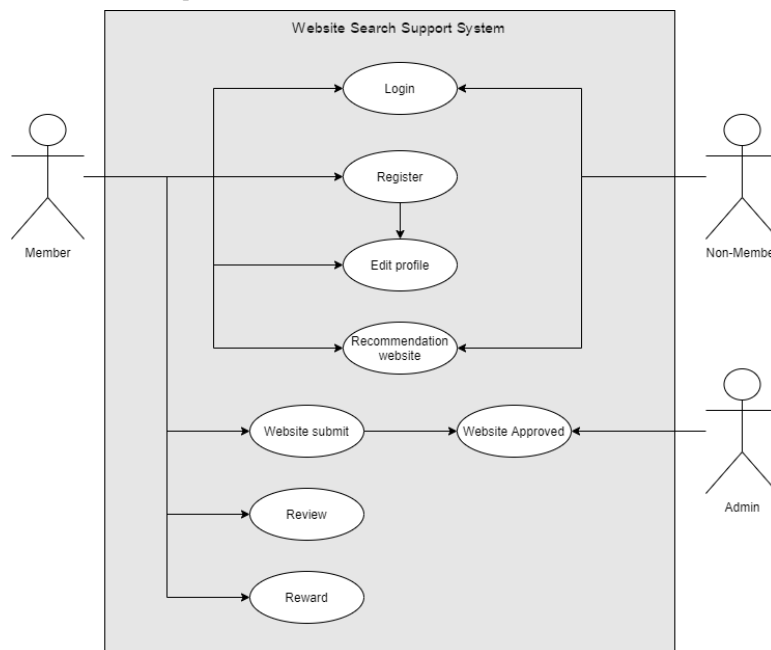
ส่วนปัญหาที่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่พบมีประเด็นสำคัญจำนวน 3 ข้อ คือ เนื้อหาข้อมูลที่ค้นหาได้ขาดความทันสมัย (51.5%) เนื้อหาข้อมูลที่ค้นหาได้ขาดความน่าเชื่อถือ (47%) และเว็บไซต์ที่ค้นหาได้ขาดความน่าเชื่อถือ (44.6%) ซึ่งประเด็นของปัญหาเหล่านี้สนับสนุนให้เกิดการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการค้นหาเว็บไซต์เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้งานในออฟฟิศร่วมแบ่งปัน เนื่องจากหากผู้ใช้งานในออฟฟิศร่วมแบ่งปันมีการแบ่งปันข้อมูลการค้นหาเว็บไซต์ให้แก่กลุ่มสมาชิกของออฟฟิศร่วมแบ่งปันแล้วย่อมส่งผลให้สมาชิกของออฟฟิศร่วมแบ่งปันมีโอกาสที่จะได้เนื้อหาข้อมูลที่ทันสมัยและมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งรวมถึงเว็บไซต์ที่ค้นหานั้นก็ย่อมมีความน่าเชื่อถือด้วยเช่นกัน เนื่องจากเว็บไซต์ที่ค้นหานั้นได้ผ่านการใช้งานจากผู้ใช้งานอื่นและได้มีการแนะนำจากกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้อง

จากประเด็นที่ได้กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการพัฒนานวัตกรรมจากผู้ตอบแบบสอบถามซึ่งผลที่ได้กลับมาเป็นความสนใจกับฟังก์ชันการทำงานของนวัตกรรมหลัก 3 ด้านได้แก่ 1. ประเมินความน่าเชื่อถือของเว็บไซต์ (4.425 คะแนน จาก 5 คะแนน) 2. ระบบการค้นหาข้อมูลตาม Keyword (4.346 คะแนน จาก 5 คะแนน)

และ 3. เรียกดูหน้าเว็บไซต์ที่ต้องการได้ทันที (4.316 คะแนน จาก 5 คะแนน) ในส่วนของประสิทธิภาพที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจสูงสุด 3 ด้านได้แก่ 1. ความรวดเร็วในการทำงานของโปรแกรมคิดเป็นจำนวน 4.643 คะแนน 2. ความน่าเชื่อถือของข้อมูลในฐานข้อมูลคิดเป็นจำนวน 4.633 คะแนน และ 3. ความเสถียรในการทำงานของโปรแกรมคิดเป็นจำนวน 4.604 คะแนน ทั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจของนวัตกรรมนี้คิดเป็นจำนวนร้อยละ 94.1 ผู้ตอบแบบสอบถามต้องการให้นวัตกรรมนี้ปรากฏขึ้นทันทีที่เข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตคิดเป็นจำนวนร้อยละ 79.2 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจในการสมัครสมาชิกในนวัตกรรมคิดเป็นจำนวนร้อยละ 67.3 ของผู้ตอบแบบสอบถาม

### แนวคิดการพัฒนาต้นแบบ

จากผลการศึกษาทางผู้วิจัยได้มีความคิดที่จะพัฒนาระบบสนับสนุนการค้นหาเว็บไซต์โดยมีเป้าหมายสำคัญคือการส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ขึ้นภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันจากการแนะนำเว็บไซต์ให้ผู้ใช้งานท่านอื่นผ่านระบบ และการแนะนำเว็บไซต์ให้กับผู้ใช้งานเพื่อแก้ไขปัญหาในการค้นหาข้อมูลสารสนเทศของผู้ใช้งานอย่างอัตโนมัติดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แนวคิดการพัฒนาต้นแบบ

## 5. สรุป

จากผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันมีความสนใจในการเลือกออฟฟิศร่วมแบ่งปันจากปัจจัยหลัก 3 ด้านได้แก่ ด้านคุณภาพอินเทอร์เน็ตที่ให้บริการ ด้านสถานที่ตั้ง และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ในส่วนของปัญหาหลักที่ผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันพบในด้านการค้นหาข้อมูลมี 3 ด้านได้แก่ เนื้อหาข้อมูลที่ค้นหาได้ขาดความทันสมัย เนื้อหาข้อมูลที่ค้นหาได้ขาดความน่าเชื่อถือ และเว็บไซต์ที่ค้นหาได้ขาดความน่าเชื่อถือ ทำให้ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่น่าสนใจในการแก้ไข และจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันมีความสนใจในรูปแบบการแก้ปัญหาด้านการค้นหาข้อมูลของนวัตกรรมระบบการค้นหาเว็บไซต์ (94.1%)

ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าหากมีนวัตกรรมที่ช่วยในการแก้ปัญหาด้านการค้นหาข้อมูลภายในออฟฟิศร่วมแบ่งปันทางผู้ใช้งานมีความสนใจในการใช้งาน

จากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้ทางผู้วิจัยได้มีความคิดที่จะสร้างนวัตกรรมนี้ขึ้น โดยการพัฒนานวัตกรรมระบบการค้นหาเว็บไซต์จากประสบการณ์ของผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปัน ซึ่งมีจุดเด่นคือการแนะนำเว็บไซต์ที่มีความเกี่ยวข้องให้กับผู้ใช้งานจากประสบการณ์ของผู้ใช้งานอื่นที่มีความเกี่ยวข้อง โดยการสร้าง Facility เพิ่มเติมภายใน ออฟฟิศร่วมแบ่งปัน (Co-working space) เป็นการดึงดูดทางผู้ใช้งานให้มีความสนใจในตัวออฟฟิศร่วมแบ่งปันที่มีระบบนี้มากขึ้น เนื่องจากเป็นการสร้างความแตกต่างให้กับออฟฟิศร่วมแบ่งปันที่มีระบบส่งผลให้มีข้อได้เปรียบมากขึ้นในการแข่งขันกันภายในธุรกิจ เป็นส่วนช่วยให้ทางผู้ใช้งานมีความสนใจในการเลือกใช้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปันนั้น ๆ มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างระบบเพื่อส่งเสริมการแลกเปลี่ยนความรู้โดยตัวระบบนั้นจะทำการส่งเสริมให้ผู้ใช้งานออฟฟิศร่วมแบ่งปันสามารถค้นพบความรู้ใหม่ ๆ จากการแนะนำเว็บไซต์ที่มีความเกี่ยวข้อง และเป็นการส่งเสริมถึงทัศนคติในการทำงาน ทำให้เกิดประโยชน์ทั้งแก่ผู้ใช้งานและผู้ให้บริการออฟฟิศร่วมแบ่งปัน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- Chan, J. K. H., & Zhang, Y. (2018). Sharing Space: Urban Sharing, Sharing a Living Space, and Shared Social Spaces. *Space and Culture*, 1206331218806160.
- Gandini, A. (2015). The rise of coworking spaces: A literature review. *ephemera*, 15(1), 193.
- Taylor, A. (2012). A study of the information search behaviour of the millennial generation. *Information research: an international electronic journal*, 17(1), n1.
- Vilar, P. (2015). Information behaviour of scholars. *Libellarium: journal for the research of writing, books, and cultural heritage institutions*, 7(1), 17-39.
- Yamane, T. (1967). *Statistics: An introductory analysis*.
- เอกชัย แน่นอุดร และวิชา ศิริธรรมจักร. (2009). การเขียนโปรแกรมบนอินเทอร์เน็ต. มหาสารคาม : อภิชาติการพิมพ์ .
- Ellis, D. (1989). A behavioural approach to information retrieval system design. *Journal of documentation*, 45(3), 171-212.
- Ellis, D., Cox, D., & Hall, K. (1993). A comparison of the information seeking patterns of researchers in the physical and social sciences. *Journal of documentation*, 49(4), 356-369.
- Ellis, D., & Haugan, M. (1997). Modelling the information seeking patterns of engineers and research scientists in an industrial environment. *Journal of documentation*, 53(4), 384-403.

# การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD

## The Study of Learning Achievement Mathematics of Prathomsuksa 6 Students with the Cooperative Learning STAD Technique

พรพรรณ เสาร์คำเมืองดี<sup>1</sup> และ สืบสกุล อพยูนยง<sup>2</sup>

Phornphan Saokhamuangdee<sup>1</sup> and Suabsagun Yooyuanong<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่อง บทประยุกต์ กับเกณฑ์ร้อยละ 70 และศึกษาความพึงพอใจ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดไผ่หูช้าง อ.บางเลน จ.นครปฐม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ที่ได้มาโดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 24 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่องบทประยุกต์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที (Dependent samples t-test) และการทดสอบค่าที (One sample t-test) ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความพึงพอใจที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่อง บทประยุกต์ โดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

**คำสำคัญ :** การเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์, บทประยุกต์

<sup>1</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Prathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Prathom 73000, Thailand.

## Abstract

The purposes of this research were to compare learning achievement of mathematics on the topic of application before and after learning with cooperative learning STAD technique, to compare learning achievement of mathematics through cooperative learning STAD technique on the topic of application with 70 percent criterion, and to study the satisfaction. Target group for this research consisted of 24 students of Prathomsuksa 6 at Watphaihuchang School, Banglen district, Nakhonpathom province in the second semester of academic year 2019 chosen by purposive sampling. The research instruments were the lesson plans by STAD technique on the topic of application in Prathomsuksa 6, mathematics achievement test, and the questionnaire of students' satisfaction. The statistics used in analyzing data were Mean, Standard Deviation, Dependent samples t-test and One Sample t-test. The result of research can be concluded that the learning achievement of mathematics on the topic of application of Prathomsuksa 6 through cooperative learning STAD technique was significantly higher than pretest and was higher than 70 percent criterion at .05 statistical level, and the students' satisfaction towards on the topic of application of through cooperative learning STAD technique in overall was at the highest level.

**Keyword:** The cooperative learning STAD technique, Mathematics Achievement, Application

## บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาความคิดมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ ช่วยให้เกิดการวางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา และนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องเหมาะสม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็นมนุษย์ที่มีความสมดุลทั้งด้านร่างกาย ความรู้ คุณธรรม มีจิตสำนึกในความเป็นพลเมืองไทยและเป็นพลโลก ยึดมั่นในการปกครองตามระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข มีความรู้ และทักษะพื้นฐาน รวมทั้งเจตคติที่จำเป็นต่อการศึกษต่อการประกอบอาชีพและการศึกษาตลอดชีวิต โดยมุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญบนพื้นฐานความเชื่อว่าทุกคนสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้เต็มตามศักยภาพ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

โรงเรียนวัดไผ่หูช้างเป็นโรงเรียนขยายโอกาส สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครปฐม เขต 2 จัดการเรียนการสอนตั้งแต่ระดับปฐมวัยถึงระดับมัธยมศึกษาตอนต้น มีการจัดการเรียนการสอนที่หลากหลายและเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยมุ่งหวังให้นำความรู้ที่ได้ไปปรับใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผู้อยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้เป็นครูผู้สอนนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ซึ่งมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ย้อนหลัง 2 ปีการศึกษา ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดไผ่หูช้าง

ปีการศึกษา	จำนวนนักเรียน (คน)	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (%)	เป้าหมาย (%)
2560	32	75.06	75
2561	19	76.26	75

ที่มา : งานวัดและประเมินผล โรงเรียนวัดไผ่หูช้าง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครปฐม เขต 2

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ยังอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าพึงพอใจ ซึ่งดูจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนปีการศึกษา 2560 (75.06%) และปีการศึกษา 2561 (76.26%) ทั้ง 2 ปีการศึกษา มากกว่าเป้าหมายที่โรงเรียนตั้งไว้เพียงเล็กน้อย และเมื่อวิเคราะห์สาระการเรียนรู้เป็นรายหน่วยการเรียนรู้ พบว่า หน่วยการเรียนรู้ที่มีปัญหาค่อนข้างมากในทั้ง 2 ปีการศึกษา คือ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง บทประยุกต์ พบว่า นักเรียนยังไม่เข้าใจหลักเกณฑ์ กระบวนการ ขั้นตอนในการทำโจทย์ปัญหา ทั้งนี้เนื่องจากครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ไม่เหมาะสมไม่คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล สอนโดยการยกตัวอย่าง 2 - 3 ตัวอย่าง แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด นักเรียนที่เก่งสามารถเรียนรู้ได้เร็ว นักเรียนที่อ่อนจะเรียนรู้ได้ช้าตามเพื่อนไม่ทัน จึงมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน จากข้อมูลของปัญหาดังกล่าว จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนในหน่วยการเรียนรู้เรื่องบทประยุกต์ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้ศึกษารวบรวมเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้นักเรียนบางส่วนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ โดยจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ พบว่า ส่วนหนึ่งเกิดจากการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยเฉพาะ เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหา โดยทั่วไปมักเริ่มต้นที่ปัญหาที่กำหนดให้และดำเนินการแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนที่เหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นปัญหาอื่นที่มีบริบทและวิธีแก้ปัญหาคือแตกต่างจากปัญหาเดิม นักเรียนก็ไม่สามารถแก้ปัญหานั้นได้ การแก้ปัญหามีลักษณะนี้ทำให้นักเรียนไม่ได้เรียนรู้กระบวนการแก้ปัญหาคือเป็นระบบและเป็นภาพรวมที่ไม่สามารถนำไปใช้กับการแก้ปัญหาคืออื่น ๆ ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากปัญหาไม่ว่าเนื้อหาใดหรือหัวข้อใดก็ตาม มีหลากหลายรูปแบบจนไม่สามารถหาเกณฑ์มาจัดเป็นประเภทที่ชัดเจนได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ การสร้างประสบการณ์หรือพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาให้นักเรียน จึงต้องใช้หลักวิชาเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาคือที่นักเรียนจะสามารถนำไปคิดประกอบในการแก้ปัญหาคือทั่ว ๆ ไปได้ (อัมพร ม้าคอง, 2554, หน้า 40) นอกจากนี้พฤติกรรมการทำงานกลุ่มมีความสำคัญอย่างยิ่งในการอยู่ร่วมกันเป็นสังคมที่จำเป็นต้องพัฒนาควบคู่ไปกับการจัดการเรียนการสอน ซึ่งมีนักการศึกษาได้ระบุปัญหาของนักเรียนไว้ เช่น สิริพร ทิพย์คง (2545, หน้า 42) ได้กล่าวว่า นักเรียนที่เรียนเก่งมีความพยายามที่จะทำความเข้าใจเนื้อหาให้มากที่สุดโดยไม่สนใจเพื่อน ทำให้ระบบการเรียนเป็นแบบแข่งขัน เป็นการเรียนโดยลำพังไม่มีการช่วยเหลือกันระหว่างเรียน ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่ำ อีกทั้งเป็นการทำลายความสัมพันธ์ความเอื้อเฟื้อของนักเรียนที่มีต่อกันซึ่งจะส่งผลต่อการหล่อหลอมบุคลิกภาพและสร้างลักษณะนิสัยของผู้เรียนให้หนักถึงแต่ตน ทำเพื่อตน ผิดนิสัยเห็นแก่ตัว ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนควรเน้นให้สอดคล้องกับธรรมชาติของคนซึ่งต้องอยู่ร่วมกันเป็นสังคม

จากปัญหาดังกล่าว รูปแบบการสอนคณิตศาสตร์ต้องมีความเหมาะสมและเสริมความต้องการของนักเรียน ในการแก้ปัญหาการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ รูปแบบการสอนคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ วิธีการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิคการเรียนรู้แบบแบ่งกลุ่มสัมฤทธิ์ (STAD) เป็นรูปแบบการเรียนที่ครบวงจร ผู้เรียนเรียนรู้ได้โดยการลงมือปฏิบัติ สิ่งต่าง ๆ ด้วยตนเอง การเรียนวิธีนี้แบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มละ 4-5 คน เน้นให้มีการแบ่งงานกันทำ ช่วยเหลือกัน ร่วมกันทำงานที่ได้รับมอบหมาย ในกลุ่มหนึ่ง ๆ ประกอบด้วย ผู้เรียนที่มีความสามารถทางการเรียนแตกต่างกัน ซึ่งในการจัดแบ่งกลุ่มอาจพิจารณาจากผลการเรียนหรือคะแนนการสอบในภาคเรียนที่ผ่านมา ในขณะที่เรียนสมาชิก ในกลุ่มสามารถช่วยเหลือกันในการทำงานในเนื้อหานั้น ๆ แต่ในการทดสอบซึ่งจะทำเมื่อเรียนจบเนื้อหานั้น ๆ แล้ว จะเป็นการทดสอบรายบุคคลช่วยเหลือกันไม่ได้ คะแนนการสอบของสมาชิกในกลุ่มแต่ละคนจะนำมาเฉลี่ย เป็นคะแนนของกลุ่ม มีการประกาศคะแนนของกลุ่ม และถ้ากลุ่มใดมีคะแนนเฉลี่ยถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก็จะมีรางวัล ให้ด้วย และเมื่อเรียนครบ 5-6 สัปดาห์แล้ว ผู้เรียนสามารถเปลี่ยนกลุ่มได้ การเรียนตามวิธี STAD จึงเป็นการเรียน ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ความคิดร่วมกันแลกเปลี่ยนประสบการณ์ความคิด เหตุผลซึ่งกันและกัน ได้เรียนรู้สภาพ อารมณ์ ความรู้สึกนึกคิดของคนในกลุ่มเพื่อเป็นแนวคิดไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในชีวิตประจำวันตามความเหมาะสม ของแต่ละบุคคล ตลอดจนเพื่อที่จะเรียนรู้และรับผิดชอบงานของผู้อื่นเสมือนงานของตน โดยมุ่งเน้นผลประโยชน์และความ สำเร็จของกลุ่ม (ศศิธร เวียงวะลัย, 2556, หน้า 135)

จากปัญหาและเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจ ในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD และผู้วิจัยได้กำหนดเนื้อหาที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ เรื่อง บทประยุกต์ โดยนำวิธีการจัดการเรียนรู้แบบ ร่วมมือ เทคนิค STAD มาช่วยในการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความสามารถในการแก้ปัญหา มีความเป็นผู้นำและเป็นผู้ตามที่ดีได้ มีความรับผิดชอบในการเรียนรู้ของตนเองและของเพื่อนร่วมกลุ่ม เกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ลดการแข่งขัน เป็นรายบุคคลและมุ่งส่งเสริมทักษะทางสังคม กระตุ้นให้นักเรียนสนใจและตั้งใจเรียนอย่างต่อเนื่อง มีความกระตือรือร้นในการค้นคว้าหาความรู้ โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล เพื่อให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการเรียน ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นตามเกณฑ์ที่กำหนด รวมถึงมีความพึงพอใจที่ดีต่อ วิชาคณิตศาสตร์อีกด้วย

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา ปีที่ 6 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา ปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD

## วิธีดำเนินการวิจัย

### กลุ่มเป้าหมาย

นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดไผ่ชูข้าง อ.บางเลน จ.นครปฐม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษานครปฐม เขต 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 24 คน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่อง บทประยุกต์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีจำนวน 11 แผน ใช้เวลาในการสอน 12 ชั่วโมง ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.35

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง บทประยุกต์ เป็นแบบทดสอบปรนัยเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.30-0.75 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.30-0.70 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.93

3. แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่องบทประยุกต์ มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 20 ข้อ ซึ่งผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างความพึงพอใจในแต่ละด้านกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 มีค่าอำนาจจำแนกมากกว่า 2.13 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88

### การรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ตามขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกรุ่นเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 24 คน
2. จัดนักเรียนเข้ากลุ่ม กลุ่มละ 4 คน ประกอบด้วยนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ สูง ปานกลาง ต่ำ เป็นอัตราส่วน 1 : 2 : 1 ได้ทั้งหมด 6 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่ม A ได้แก่ เลขที่ 6, 13, 14, 22

กลุ่ม D ได้แก่ เลขที่ 9, 11, 21, 23

กลุ่ม B ได้แก่ เลขที่ 5, 7, 18, 8

กลุ่ม E ได้แก่ เลขที่ 1, 10, 17, 19

กลุ่ม C ได้แก่ เลขที่ 2, 3, 4, 20

กลุ่ม F ได้แก่ เลขที่ 12, 15, 16, 24

3. ทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง บทประยุกต์

4. ดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD โดยในแต่ละแผนจะมีการทดสอบย่อยเป็นรายบุคคล คะแนนที่ได้จากการทดสอบย่อยของแต่ละคนจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคะแนนฐานของตัวเอง แล้วคิดเป็นคะแนนการพัฒนาการ โดยคะแนนฐานในครั้งแรกจะนำผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ในภาคเรียนที่ 1 เป็นคะแนนฐาน ส่วนครั้งถัดไปจะใช้คะแนนทดสอบย่อยก่อนหน้าเป็นคะแนนฐาน จากนั้นนำคะแนน พัฒนาการมาเฉลี่ยเป็นคะแนนกลุ่ม แล้วเทียบเกณฑ์การให้รางวัลกลุ่ม โดยจะให้รางวัลกับกลุ่มยอดเยี่ยม (SUPERTEAM) และกลุ่มเก่งมาก (GREATTEAM) และขณะที่นักเรียนเรียนเป็นกลุ่ม ครูจะคอยสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม ซึ่งจะเป็นเช่นนี้จนครบ 11 แผนการจัดการเรียนรู้



5. ทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง บทประยุกต์ โดยใช้แบบทดสอบข้อคำถามฉบับเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน หลังจากทำการสอนครบทุกแผนการจัดการเรียนรู้แล้ว

6. หลังจากทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้แล้ว ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน ที่เรียนโดยการใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่อง บทประยุกต์

## ผลการวิจัย

### สรุปผลการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 หรือ 17.50 คะแนน จากคะแนนเต็ม 25 คะแนน ( $\mu = 19.04$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ( $\mu = 4.56$ ,  $\sigma = 0.74$ )

### การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD สามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 หรือ 17.50 คะแนน จากคะแนนเต็ม 25 คะแนน ( $\mu = 19.04$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ทั้งนี้จากข้อ 1 และ ข้อ 2 อาจเนื่องมาจากการเรียนแบบร่วมมือ เทคนิค STAD เป็นการจัดการเรียนการสอน ที่เน้นให้ผู้เรียนทำงานรวมกันเป็นกลุ่มและช่วยเหลือซึ่งกันและกันระหว่างผู้เรียนที่มีความสามารถต่างกันและต้องใช้ ความสามารถของแต่ละคนรวมกันเพื่อให้ผลงานประสบความสำเร็จ โดยมีความรับผิดชอบร่วมกันทั้งในส่วนตัว และส่วนรวม ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์แบบแข่งขัน การเรียนโดยลำพัง เรียนโดยไม่มี การช่วยเหลือซึ่งกันและกันระหว่างเรียนทำให้คนที่เรียนเก่งได้ช่วยเหลือคนที่เรียนอ่อนกว่าและการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เป็นเทคนิคที่มีการวัดผลโดยใช้คะแนนความก้าวหน้าหรือคะแนนพัฒนาการจึงทำให้นักเรียนทราบถึง ความก้าวหน้าของตนเองโดยที่ไม่มีการแข่งขันกับผู้อื่น แต่เป็นการแข่งขันกับตนเอง จึงทำให้นักเรียนมีความ กระตือรือร้นและเกิดแรงจูงใจที่จะพัฒนาตนเองให้ได้คะแนนสูงยิ่งขึ้น ซึ่งเทคนิคนี้จะช่วยแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียนของนักเรียนให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐชัญญา อินพูลวงษ์ (2559) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียนคณิตศาสตร์ เจตคติต่อคณิตศาสตร์และพฤติกรรมการทำงานกลุ่มของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง บทประยุกต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD

หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 70 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของกมลชนก เชนแก้ว (2561) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD สูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75

2. นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ( $\mu = 4.56$ ,  $\sigma = 0.74$ ) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ระดับพึงพอใจมาก เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดเรียงตามลำดับ คือ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านการวัดผลและประเมินผล ด้านสื่อการเรียนรู้และด้านเนื้อหาเป็นลำดับสุดท้าย โดยนักเรียนมีความรู้สึว่าการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เป็นวิธีการสอนที่มีความสนุกสนาน น่าสนใจ เกิดการร่วมมือในการทำงานมีการช่วยเหลือกันภายในกลุ่ม รวมถึงครูผู้สอนให้ความเป็นกรเอง ทำให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็น ได้ปฏิบัติและค้นพบความรู้ ให้เหตุผลและแก้ไขปัญหาด้วยตัวเองทำให้บรรยากาศในการเรียนดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธนิสา กองเพชร (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รายวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง ความคล้าย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนดอนเมืองจาตุรจินดา โดยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือตามรูปแบบ STAD ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือตามรูปแบบ STAD โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของพัลลภ เต่าให้ (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้เรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD เรื่อง เศษส่วน อยู่ในระดับดี ( $\bar{X} = 4.23$ )

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. ในการจัดนักเรียนเข้ากลุ่ม นอกจากจะจัดโดยใช้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ภาคเรียนที่ 1 แล้ว ควรที่จะพิจารณการจัดนักเรียนเข้ากลุ่มในกรณีที่มีนักเรียนเป็นเด็กพิเศษด้วย
2. ในการจัดนักเรียนเข้ากลุ่มในช่วงแรก พบว่า เมื่อแบ่งกลุ่มนักเรียนให้ทำงานร่วมกัน นักเรียนบางกลุ่มยังไม่ให้ความช่วยเหลือภายในกลุ่มในการทำงานเท่าที่ควร โดยเฉพาะนักเรียนที่เก่งมักจะทำเองคนเดียว ดังนั้น ในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูควรมีการกระตุ้นให้นักเรียนช่วยเหลือกันในการทำงานภายใน ซึ่งครูจะต้องพยายามอธิบายให้เห็นความสำคัญของการทำงานกลุ่มว่า ในการทำงานกลุ่มทุกคนในกลุ่มมีความสำคัญเท่าเทียมกัน การที่จะทำให้กลุ่มของตนประสบความสำเร็จ นักเรียนที่เก่งจะต้องช่วยเหลือนักเรียนที่อ่อนและนักเรียนที่อ่อนจะต้องพยายามที่จะเรียนรู้ให้มากขึ้นเพื่อให้กลุ่มของตนประสบความสำเร็จ
3. ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ต้องใช้เวลาในการจัดกิจกรรมค่อนข้างมาก ควรมีการปรับความยืดหยุ่นของเวลาในแต่ละขั้นตอนให้เหมาะสม เพื่อให้การจัดกิจกรรมการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD กับเนื้อหาคณิตศาสตร์เรื่องอื่น ๆ ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 และชั้นเรียนอื่น ๆ และเปรียบเทียบกับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิคอื่นๆ เช่น TGT, JIGSAW, TAI เป็นต้น
2. ควรมีการศึกษาด้านการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ในตัวแปรอื่น เช่น ความคงทนในการเรียนรู้ ความสามารถในการแก้ปัญหา พฤติกรรมการทำงานกลุ่มเพราะเป็นสิ่งจำเป็นในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กมลชนก เข็นแก้ว. (2561). *การศึกษามูลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, วิทยาลัยพณิชยการมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์, คณะครุศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.*
- ณัฐรัชญา อินพูลวงษ์. (2559). *การศึกษามูลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เจตคติต่อคณิตศาสตร์ และพฤติกรรมการทำงานกลุ่มของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD, วิทยาลัยพณิชยการมหาบัณฑิต, สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.*
- ธนิสา กองเพชร. (2561). *การศึกษาด้านพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รายวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง ความคล้าย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนดอนเมืองจตุรจินดา โดยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือตามรูปแบบ STAD, วิทยาลัยพณิชยการมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.*
- พัลลภ เต่าให้. (2561). *การพัฒนามูลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน โดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ, วิทยาลัยพณิชยการมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.*
- ศศิธร แม้นสงวน. (2556). *พฤติกรรมการสอนคณิตศาสตร์ 2*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- สิริพร ทิพย์คง. (2545). *หลักสูตรและการสอนคณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ.
- อัมพร ม้าคนอง. (2554). *ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์: การพัฒนาเพื่อพัฒนาการ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.

# กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

## Learning Activities Using STEM EDUCATION in Elementary Logic for Mathayomsuksa IV Students

ภัศรา เพ็งไย<sup>1</sup> และ สืบสกุล อวยยืนยง<sup>2</sup>

Pussara Pengyai<sup>1</sup> and Suabsagun Yooyuanyong<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาค้นคว้ามีจุดมุ่งหมายของงานวิจัย ดังนี้ (1) เพื่อศึกษาความสามารถทางการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนที่ได้รับกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแบบ สสวท. (3) เพื่อพัฒนาทักษะด้านสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 80 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนหันคาพิทยาคม อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) แผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นโดยรวมในระดับเหมาะสมมากที่สุด (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ข้อคำถามที่เลือกไว้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีค่า IOC เท่ากับ 0.87 และมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.671 (3) แบบประเมินทักษะทางด้านสะเต็มศึกษา โดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.93 (4) แบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.97 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและการทดสอบที ซึ่งผลการวิจัยพบว่า (1) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น จำนวนมากกว่าร้อยละ 80 มีคะแนนรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 (2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงกว่าที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท. เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 (3) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีทักษะด้านสะเต็มศึกษา

<sup>1</sup> นักศึกษาระดับปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร

Master of Science Program in Mathematics Study, Department of Mathematics, Graduate School, Silpakorn University

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup> อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สืบสกุล อวยยืนยง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Thesis Advisor : Associate Professor Suabsagun Yooyuanyong, Ph.D. (Faculty of Science, Department of Mathematics, Silpakorn University)

เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น อยู่ในระดับดี (4) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีความพึงพอใจโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

**คำสำคัญ** : สะเต็มศึกษา ตรรกศาสตร์ หันคาพิทยาคม

### **Abstract**

The purposes of our study were denoted as (1) to study the learning ability based on Learning Activities Using STEM EDUCATION in Elementary Logic for Mathayomsuksa IV students, (2) to compare the mathematics achievement applications of Elementary Logic after study between students in Mathayomsuksa IV, who study by STEM education activities and IPST method, (3) to develop the STEM education skills in Elementary Logic for Mathayomsuksa IV students and (4) to study the students' satisfaction about the STEM education activities applications of in Elementary Logic for Mathayomsuksa IV students. The samples were 80 Mathayomsuksa four students in the first semester of the academic year 2019, Hunkhapittayakom School, Hankha District, Chai Nat Province, which can be obtained through purposive sampling. The research instruments were (1) lesson plans in which the experts have an overall opinion at the most appropriate level. (2) achievement tests, the questionnaire selected in this research has an IOC value of 0.87 and a reliability value of 0.671 (3) STEM education skills test has an IOC of 0.93 (4) questionnaires of satisfaction about STEM education activities has an IOC of 0.97. Statistical analysis was accomplished by mean, standard deviation and analysis of t test. The research results were (1) for Mathayomsuksa IV students who studied through the STEM education activities, there were over 80% of the subjects with learning ability, who scored no less than 70% of the total scores, at .05 statistically significant level, (2) the mathematical achievement of students who worked on STEM education activities was higher than students who were taught through IPST method at .05 statistically significant level, (3) Mathayomsuksa IV students developed their STEM education skills in Elementary Logic at a good level and (4) according to the questionnaires satisfaction about the STEM education, the activities were revealed the overall picture at a high level.

**Keyword:** STEM EDUCATION, LOGIC, HUNKHAPITTAYAKOM

## บทนำ

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ.2560 - 2564 ระบุให้มีการส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม โดยให้การสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา การดัดแปลงและต่อยอดการพัฒนาเทคโนโลยีให้ไปสู่ความเป็นอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและการผสมผสานเข้าร่วมกับเทคโนโลยี และสนับสนุนการดำเนินงานเป็นเครือข่ายระหว่างสถาบันวิจัย สถาบันการศึกษา ภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน ชุมชน รวมถึงการปรับกลไกของระบบวิจัยและพัฒนาในประเทศ ทั้งระบบยุทธศาสตร์การพัฒนาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรมการพัฒนา (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559)

จากการจัดการศึกษาในแนวทางพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2553 มาตราที่ 66 ได้กำหนดจุดมุ่งหมายของการจัดการศึกษาโดยมีใจความสำคัญคือ นักเรียนมีสิทธิได้รับการพัฒนาขีดความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา เพื่อให้มีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2553) โดยสอดคล้องกับ ปานทอง กุลนาถศิริ กล่าวในบทความเรื่อง “การจัดการศึกษาคณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21” ระบุว่า การจัดการศึกษาคณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ควรเป็นการจัดการศึกษาเพื่อปวงชน (Mathematics for All) เป็นการจัดการศึกษาโดยเน้นการพัฒนาคนให้เป็นทรัพยากรที่มีค่า มีประสิทธิภาพและศักยภาพเพื่อจะได้เป็นกำลังของชาติ สืบไป การสอนคณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 จึงจำเป็นจะต้องอาศัยครูผู้รู้คณิตศาสตร์เพื่อจะได้ถ่ายทอดความรู้นั้นมาพัฒนาเยาวชนให้เป็นผู้รู้คณิตศาสตร์ (Mathematics Literacy) อย่างทันสมัย ทันกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในยุคโลกาภิวัตน์นี้ นอกจากนี้การจัดการศึกษาคณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 นี้ จำเป็นต้องเป็น การจัดการศึกษาที่ช่วยเพิ่มพูนคุณภาพชีวิตให้มีความสุข เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าไปอย่างไม่หยุดยั้ง การสอนคณิตศาสตร์ในยุคนี้จึงจำเป็นต้องให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ มีทักษะพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่มากพอ และสามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ เพราะฉะนั้นการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่สามารถสนับสนุนให้นักเรียนได้รับความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง เนื่องจากเนื้อหาในวิชาคณิตศาสตร์นั้น ไม่ใช่เพียงแค่การเรียนรู้เนื้อหาเพื่อการท่องจำเพียงอย่างเดียว นักเรียนจำเป็นต้องมีบทบาทสำคัญในการลงมือเรียนรู้ ปฏิบัติจริงและมีการค้นคว้าหาความรู้อย่างมีระบบตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยผสมผสานกับเนื้อหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ได้ (ปานทอง กุลนาถศิริ, 2557)

รัฐบาลไทยได้ประกาศนโยบายโมเดล Thailand 4.0 ในปี พ.ศ.2559 โดยรัฐบาลเน้นไปที่การสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนของเศรษฐกิจไทย ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ การสร้างนวัตกรรมและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในทางเศรษฐกิจ ตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อพัฒนาประเทศให้สอดคล้องกับ Thailand 4.0 นับเป็นการวางรากฐานการพัฒนาเยาวชนคนรุ่นใหม่ให้มีทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 อาทิ ทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหาและความคิดสร้างสรรค์ ก้าวสู่การเป็นบุคลากรรุ่นใหม่ที่จะช่วยสนับสนุนให้ประเทศไทยก้าวสู่การมีระบบเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม ตามยุทธศาสตร์ประเทศไทย 4.0 ของรัฐบาลได้อย่างแข็งแกร่ง” สะเต็มศึกษาจึงเข้ามามีส่วนช่วยเตรียมความพร้อมให้กับคนไทยซึ่งทุกคนต้องมีทักษะส่วนตัวและทักษะทางสังคมในการทำงานร่วมกันกับคนอื่น ๆ จากหลายสาขาวิชา (ชนินทร์ เพ็ญสุตร, 2560)

สำหรับสะเต็มศึกษา (STEM Education) หรือหลักสูตรสะเต็ม (STEM Curriculum) ของไทยนั้น สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ให้ความหมายไว้ว่า แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 องค์ความรู้ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงได้ รวมถึงการพัฒนาระบบการหรือผลผลิตใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการทำงาน ช่วยนักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่าง 4 องค์ความรู้ร่วมกับการทำงาน และชีวิตจริง การเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ไม่เน้นเพียงการท่องจำ ทฤษฎี หรือกฎทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แต่เป็นการสร้างความเข้าใจ ทฤษฎี หรือกฎเหล่านั้นผ่านการปฏิบัติให้เห็นจริงควบคู่กับการพัฒนาทักษะการคิด การตั้งคำถาม แก้ปัญหา การหาข้อมูล และวิเคราะห์ข้อค้นพบใหม่ ๆ พร้อมทั้งสามารถนำข้อค้นพบนั้นไปใช้หรือบูรณาการกับชีวิตประจำวันได้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

จากปัญหาในการจัดการเรียนรู้ของการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงและการบูรณาการความรู้ในต่างสาขาวิชา ทำให้เกิดความสนใจที่จะนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการผสมผสานรูปแบบการจัดการเรียนรู้ใน 4 สาขาวิชา ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ มาใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น ซึ่งมีแนวคิดสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ. 2560 – 2564 และนโยบาย Thailand 4.0 อันจะเป็นการส่งเสริมศักยภาพของคนไทยให้มีความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถทางการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับ นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแบบ สสวท.
3. เพื่อพัฒนาทักษะด้านสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น

## วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้อง 1 และ 2 จำนวน 80 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนห้วยคาศรีพินิจ อำเภอห้วยคาศรีพินิจ จังหวัดชัยนาท ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) แล้วแบ่งเป็น กลุ่มทดลอง นักเรียน 40 คน ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา กลุ่มควบคุม นักเรียน 40 คน ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท.

ตัวแปรที่ศึกษา ตัวแปรต้น ได้แก่ (1) การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) การจัดการเรียนรู้ตามแบบ สสวท. ตัวแปรตาม

ได้แก่ (1) ความสามารถทางการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น (2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น (3) ทักษะทางด้านสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น (4) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้ (1) แผนการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ ในรายวิชาคณิตศาสตร์ 1 ค31101 เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น โดยในแต่ละเนื้อหาของบทเรียนแต่ละแผนจะมีการจัดการเรียนรู้ 2 วิธี คือ 1.1. การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา 1.2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นโดยรวมในระดับเหมาะสมมากที่สุด (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน ข้อคำถามที่เลือกไว้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีค่า IOC เท่ากับ 0.87 และมีค่าค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.671 (3) แบบประเมินทักษะทางด้านสะเต็มศึกษา โดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.93 (4) แบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยมีค่าIOC เท่ากับ 0.97

## ผลและวิจารณ์

1. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น จำนวนมากกว่าร้อยละ 80 มีคะแนนรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น ในชั้นเรียนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปรากฏผลดังนี้

แหล่งที่มาของคะแนน	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{X}$ )	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตคิดเป็นร้อยละของคะแนนเต็ม	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
1. การทำกิจกรรมในชั้นเรียน	80	60.44	75.55	1.25
2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น	20	13.68	68.40	3.30
รวม	100	74.12	74.12	3.74

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนจากการทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น ในชั้นเรียนเท่ากับ 60.44 ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.25 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น เท่ากับ 13.68 ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3.30 ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนรวมจากการทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เท่ากับ 74.12 ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.74

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิจัย ปรากฏผลดังนี้

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนนักเรียน (คน)	จำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ (คน)	คิดเป็นร้อยละของจำนวนนักเรียนทั้งหมด	t	Sig.
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	40	34	85.00	6.953	0.00

ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05



จากตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น มีความสามารถทางการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนรวม มีจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

2. นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์สูงกว่าที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท. ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น ระหว่างกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับกลุ่มควบคุมที่สอนโดยการจัดการเรียนรู้ตามแบบ สสวท. ปกติผลดังนี้

กลุ่มตัวอย่าง	คะแนนเต็ม	N	$\bar{X}$	S.D	t	Sig.
กลุ่มทดลอง	20	40	13.68	3.30	4.30	0.0001
กลุ่มควบคุม	20	40	10.88	1.86		

ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

จากตารางที่ 4 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์หลังเรียน เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น ของกลุ่มทดลอง ( $\bar{X} = 13.68$ , S.D. = 3.30) และกลุ่มควบคุม ( $\bar{X} = 10.88$ , S.D. = 1.86) มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ซึ่งหมายความว่า หลังการทดลองนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีความผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น สูงกว่า นักเรียนกลุ่มควบคุม

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีทักษะด้านสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น อยู่ในระดับดี

ตารางที่ 5 ผลการประเมินทักษะด้านสะเต็มศึกษาของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตาม แนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์เบื้องต้น

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	แปลผล
1. ทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์	3.69	0.97	ดี
2. ทักษะทางด้านเทคโนโลยี	3.72	0.99	ดี
3. ทักษะทางด้านวิศวกรรมศาสตร์	3.61	1.03	ดี
4. ทักษะทางด้านคณิตศาสตร์	3.74	0.97	ดี
โดยภาพรวม	3.69	0.99	ดี

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ 5 พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีทักษะด้านสะเต็มศึกษา โดยรวมทั้งหมดมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.99 และเมื่อพิจารณา ทักษะด้านสะเต็มศึกษา ในแต่ละด้านพบว่า นักเรียนมีทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยรวมทั้งมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.97 ทักษะทางด้านเทคโนโลยี โดยรวมทั้งมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.99 ทักษะทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยรวมทั้งมีคุณภาพอยู่ใน ระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.61 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.03 และทักษะทางด้านคณิตศาสตร์ โดยรวมทั้งมีคุณภาพ อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.97 ซึ่งประเมินด้วยแบบประเมินทักษะด้านสะ เต็มศึกษาของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องตรรกศาสตร์ เบื้องต้น ที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้น อยู่ในระดับดี เมื่อเทียบเกณฑ์ที่กำหนด

4. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 6 ผลการตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	แปลผล
1. ด้านบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้	4.13	0.82	มาก
2. ด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	4.03	0.77	มาก
3. ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนรู้	4.10	0.79	มาก
โดยภาพรวม	4.08	0.79	มาก

จากตารางข้างต้นพบว่าผลการประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น โดยภาพรวมมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาระดับมาก ( $\bar{X} = 4.08$ , S.D. = 0.79) เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ ด้านบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้ ( $\bar{X} = 4.13$ , S.D. = 0.82) รองมาคือด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนรู้ ( $\bar{X} = 4.10$ , S.D. = 0.79) และน้อยที่สุดคือ ด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ( $\bar{X} = 4.03$ , S.D. = 0.77)

## สรุป

1. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น สามารถผ่านเกณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกิจกรรมที่นำมาใช้ในที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น เป็นกิจกรรมที่มีสถานการณ์ใกล้เคียงตัวนักเรียน โดยบูรณาการร่วมกับวิชาวิทยาศาสตร์ที่เรียนในช่วงเวลาเดียวกันสามารถนำไปใช้ประโยชน์และแก้ปัญหาได้จริง ประเด็นปัญหาหรือหัวข้อในกิจกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหา บทเรียนตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยครูต้องออกแบบการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถนำไปสู่การแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ เหตุการณ์ สิ่งแวดล้อม หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง เพื่อพัฒนาประสบการณ์นำไปสู่ความคิดสร้างสรรค์และอาจพัฒนาไปสู่การสร้างนวัตกรรมของนักเรียน โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของเป็รียบฟ้า ด้วงนุ้ม (2560) พบว่า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา จำนวนมากกว่าร้อยละ 65 มีความสามารถในการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของคะแนนรวม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น หลังเรียนระหว่างนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท. มีความแตกต่างกัน โดยนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทรรกศาสตร์เบื้องต้น สูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท. เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการทำกิจกรรมการแก้ปัญหา รวมไปถึงการสร้างสรรค์ผลงาน ประกอบกับการบูรณาการสาระวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ได้แก่วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี

วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ พลศักดิ์ แสงพรมศรีและคณะ (2558) ได้ทำการศึกษา เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็ม ศึกษา กับแบบปกติ พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และวรรณธนะ ปัดชา และคณะ (2559) พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา มีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ สสวท. ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีทักษะด้านสะเต็มศึกษา เรื่อง ตรรกศาสตร์เบื้องต้น อยู่ในระดับดี เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นกิจกรรมที่มีสถานการณ์ ปัญหาใกล้ตัวนักเรียน สามารถนำไป บูรณาการร่วมกับรายวิชาอื่นได้และทำทนายความสามารถของนักเรียน ทำให้นักเรียนเห็นประโยชน์และคุณค่าของ วิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ในการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันทั้งในทางตรงและ ทางอ้อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของมานะ อินทรสว่าง (2556) กล่าวว่าทักษะทางด้านสะเต็มศึกษาของนักเรียนที่ได้ ประเมินจากแบบวัดทักษะสะเต็มศึกษาซึ่งเกิดจากการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองสำหรับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง สูงกว่าระดับดี

4. ความพึงพอใจของนักเรียนกลุ่มทดลองที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม ศึกษา มีความพึงพอใจโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยเน้นวิธีการทำงานแบบกลุ่ม ก่อให้เกิดทักษะการแก้ปัญหา และ นักเรียนสามารถเชื่อมโยง บูรณาการความรู้ในสาระวิชาต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงประจักษ์ผล ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา วิชาการโปรแกรมและประยุกต์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนอนุบาลนารี มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 และนสรินทร์ ปือชา (2558) นักเรียนที่ได้รับการจัดการ เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาวิชาชีววิทยา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25

## เอกสารอ้างอิง

- ชนินทร์ เพ็ญสุตร. (2560). ประเทศไทย 4.0 บริบททางเศรษฐกิจ และการเมือง Thailand 4.0 Economics and Political Contexts. วารสารรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์. 8(1):67-99.
- ปานทอง กุลนาถศิริ. (2557). การจัดการศึกษาคณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21. Retrieved from <https://sites.google.com/site/snpinrabawxin/home/nana-sara-kab-khnitsastr-/karcadkarsuksakhnitsastrnistwrrsthi21>.
- เป็รียบฟ้า ด้วงนุ้ม. (2560). กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยใช้แนวคิด เรื่อง พาราโบลา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- มานะ อินทรสว่าง. (2556). ชุดทดลองสำหรับจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง. วิจัยในชั้นเรียน.
- วรรณธนะ บัดชาและคณะ. (2559). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่อง อัตราส่วนตรีโกณมิติ. วารสารฉบับภาษาไทย สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 9(3): 830-839.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). ความรู้เบื้องต้นสะเต็ม.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2553). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2553.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ.2560 - 2564 . Retrieved from [https://www.nesdb.go.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=6422](https://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422).
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2552). การปฏิรูปการศึกษาในศตวรรษที่สอง (2552-2561).
- ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด. (2559). "การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงประจักษ์ผล ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา วิชาการโปรแกรมและประยุกต์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนอนุคุณนารี." มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- นัสรินทร์ บือชา. (2558). "ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4."

# การตรวจระบุอายุหนอนแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* จากโครงสร้างกระดูก เซฟาโลฟาริงค์ โดยวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์

## Determination of *Chrysomya megacephala* larval stages from cephalopharyngeal skeleton by Geometric morphometric method

นาวพร เเฉลิมชวลิต<sup>1</sup>, พงษ์พิษณุ ภัคดีณรงค์<sup>2</sup>, ณัฐ มาลัยนวล<sup>3</sup>, จันทรี ระแบบเลิศ<sup>4</sup>

Navaporn Chalermchavalit, Pongpitsanu Pakdeenarong, Nat Malainual, Jundee Rabablert

### บทคัดย่อ

แมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) เป็นสปีชีส์ที่โดดเด่นและจำนวนมากที่สุดซึ่งมาถึงศพเป็นกลุ่มแรกในประเทศไทย [ธีรภมร เพ็งสกุล, 2008] ดังนั้นรูปแบบช่วงพัฒนาการและการเจริญของหนอนแมลงวันเกี่ยวข้องกับกระบวนการประเมินระยะเวลาการตายช่วงสั้นๆ วิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์ เป็นเครื่องมือสมัยใหม่ที่ใช้อธิบายความผันแปรของรูปร่าง มีหลายรายงานที่ใช้วิธีนี้ในการตรวจทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อนวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อตรวจระบุอายุตัวอ่อนหนอน จากโครงกระดูกเซฟาโลฟาริงค์ ทั้งหมดเปรียบเทียบกับส่วนขากรรไกรล่าง และ แผ่นยึดคอกหอย โดยวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์ ผลการศึกษาระบุ ที่อุณหภูมิ  $29 \pm 1^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 65% การเจริญเติบโตของหนอนทั้งหมดวันที่ 1 ถึง วันที่ 4 แปรตามน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 1 ถึง วันที่ 4 โดยความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 3 ไม่แตกต่างกับ หนอนวันที่ 4 สำหรับการเตรียมความใส (clearing) ของ cephalopharyngeal skeleton ใช้น้ำยา 3% โซเดียมโบคาร์บอเนต บ่มเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ถ่ายรูปภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกำหนดจุดแลนด์มาร์คโดยใช้โปรแกรม XYOM การวิเคราะห์ Centroid size แสดง รูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton, mandible หรือ pharyngeal sclerite เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตในหนอนทุกวัน Discriminant Analysis (DA) แสดงรูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton เกี่ยวข้องกับการแยกหนอนแต่ละวันออกจากกัน ในทางตรงกันข้าม รูปร่างของ pharyngeal sclerite เกี่ยวข้องกับการแยกหนอนแต่ละวัน อย่างไรก็ตามรูปร่างของ mandible สามารถแยกหนอนวันที่ 1 ได้เพียงวันเดียว การวิเคราะห์ Mahalanobis distances แสดง cephalopharyngeal skeleton, mandible หรือ pharyngeal sclerite แยกหนอนแมลงวันหัวเขียวแต่ละวันออกจากกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) ความแตกต่างระหว่างวันมีประโยชน์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการจำแนกอายุหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala* สรุปผลการศึกษาวีธี

<sup>1</sup> ภาควิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Forensic science, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup> คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจสามพราน นครปฐม 73110 ประเทศไทย

, Faculty of Forensic science, Royal Police Cadet Academy, Nakhon Pathom 73110, Thailand.

<sup>3</sup> ภาควิชาปรสิตวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10700 ประเทศไทย

Department of Parasitology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Bangkok 10700, Thailand

<sup>4</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Biology, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

จีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์สามารถตรวจระบุการเจริญเติบโตของหนอนโดยใช้ cephalopharyngeal skeleton ซึ่งเป็นประโยชน์ในนิติเวชกีฏวิทยา

**คำสำคัญ :** การประมาณระยะเวลาหลังการตาย, *Chrysomya megacephala*, จีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์, cephalopharyngeal skeleton

### Abstract

*Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) is the most abundant and predominant species which arrives and colonizes a cadaver first in most parts of Thailand [Theerakamol Pengsakul, 2008]. Therefore, its growth and development patterns have great implications in the estimation of minimum post mortem interval (mPMI). Geometric morphometrics is a recent tool that describes the shape variation. Several reports used this technique evaluated both mature and immature. The goal of this study was to identify maggots/larvae from total cephalopharyngeal skeleton compared with mandible and pharyngeal sclerite by geometric morphometrics. The results revealed at  $29 \pm 1^\circ\text{C}$ , relative humidity. Growth of larvae in day 1 to day 4 depend on average weights and lengths of day 1 to day 4, thereby average lengths of day 3 was different from day 4. For clearing preparation of cephalopharyngeal skeleton, 3% sodium bicarbonate for 18-24 h, photographed under light microscope and landmarked using XYOM program. Analysis of Centroid size demonstrated that shape of cephalopharyngeal skeleton, mandible or pharyngeal sclerite was influenced by growth. Discriminant Analysis (DA) showed that cephalopharyngeal skeleton shape separated among day, but pharyngeal sclerite shape did not. However, mandible shape separated only day 1. Analysis of Mahalanobis distances showed cephalopharyngeal skeleton, mandible or pharyngeal sclerite significantly separated each days ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Geometric morphometric was found to be practical to visualize larval growth based on cephalopharyngeal skeletons which can be useful in forensic entomology.

**Keyword:** Postmortem interval, *Chrysomya megacephala*, Geometric morphometric method, cephalopharyngeal skeleton

## บทนำ

นิติเวชกีฏวิทยา (Forensic entomology) เป็นวิชาการใช้ ตัวอย่างจากตัวเต็มวัย (adult) และหนอน (larva) ของแมลงวันหัวเขียว (Blow fly) ที่พบบนศพผู้เสียชีวิตเป็นวัตถุพยานในการประมาณระยะเวลาหลังการตาย ช่วงเวลาต่ำสุด (minimum postmortem interval, mPMI) อายุหนอนแมลงวันเป็นพารามิเตอร์การเจริญเติบโต (growth parameter) โดยวัดจากความยาวลำตัวหนอนแมลงวัน (larval body length) เนื่องจากความยาวลำตัว หนอนแมลงวันเป็นโมเดลที่มีความจำเพาะต่อสปีชีส์ [Sharma et al., 2015] อย่างไรก็ตามมีข้อเสียเปรียบด้านการใช้ ความยาวลำตัวของหนอนโดยตรงเนื่องจากการจัดการตัวอย่าง (specimen handling) นำไปสู่การประเมินระยะเวลา ในการตายช่วงต่ำสุด (mPMI) ขาดความแม่นยำ มีรายงานก่อนหน้านี้ระบุ การใช้โครงกระดูกเซฟาโลฟาริงซ์ (cephalopharyngeal skeleton) เป็นพารามิเตอร์ทางเลือกใหม่ในการประเมินการเจริญเติบโตจากความยาวลำตัว หนอนแมลงวัน เนื่องจากการวัดเซฟาโลฟาริงซ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวลำตัวหนอน สอดคล้องกับ การเจริญเติบโต [Rabbani & Zuha, 2017; Eliza & Zuha 2018; Sim & Zuha, 2019] โครงกระดูกเซฟาโลฟาริงซ์ ในหนอนแมลงวันหัวเขียววงศ์ Calliphoridae เป็นส่วนปาก (mouthpart) ที่เว้าเข้าไปในส่วนหัวของตัวหนอน โครงกระดูกเซฟาโลฟาริงซ์ประกอบด้วย pharyngeal sclerites และ mandibles ใช้ในการกินอาหาร มีรายงาน การใช้โครงกระดูกเซฟาโลฟาริงซ์ในการจำแนกสปีชีส์หนอนแมลงวันหัวเขียว *Hemipyrellia ligurriens* ที่มีความสำคัญทางนิติวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีสัณฐานวิทยา (Morphology) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่จำเป็นต้องใช้หนอน จำนวนมากในแต่ละระยะและผู้เชี่ยวชาญในการจำแนก [Bunchu et., 2012]

มีรายงานการใช้วิธีจีโอมेटริกส์ มอร์ฟอเมตริกส์ (Geometric morphometrics, GM) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ พหุตัวแปร (Multivariate Analysis) ได้มีการประยุกต์ใช้ด้านกีฏวิทยาการแพทย์ครั้งแรกโดย Dujardin [2008] เพื่อแยกแมลงในกลุ่ม cryptic species ที่มีรูปร่างทางสัณฐานวิทยาและอณูโมเลกุลเหมือนกันออกจากกันโดยอาศัย ข้อมูลความผันแปรทางสัณฐานวิทยา (morphometric variation) เนื่องจากวิธีจีโอมेटริกส์ มอร์ฟอเมตริกส์ เป็นวิธีที่ ง่าย ราคาถูก และรวดเร็วกว่าวิธีทางอณูโมเลกุล

มีหลายรายงานระบุการใช้วิธีจีโอมेटริกส์ มอร์ฟอเมตริกส์ จำแนกสปีชีส์แมลง (Flies) และ sexual dimorphism ของระยะตัวเต็มวัย (mature) โดยอาศัยรูปร่างทางสัณฐานวิทยา (morphological shape) ได้แก่ ขนาด และรูปร่างปีก (wing size and shape) ในแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819), *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) และ *Lucilia cuprina* (Wiedemann, 1830) วงศ์ Caliphoridae [Nuñez & Liria, 2017a], และแมลงวันเนยแข็ง (cheese fly) *Piophilidae casei* (Linnaeus, 1758) วงศ์ Piophilidae [Nuñez & Liria, 2017b]

วิธีจีโอมेटริกส์ มอร์ฟอเมตริกส์ จำแนกสปีชีส์ของหนอนแมลงระยะก่อนตัวเต็มวัย (immature) เช่นการจำแนกหนอนแมลงผลไม้ (fruit fly) *Anastrepha fraterculus* (Diptera, Tephritidae) ระยะที่ 3 ออกจาก cryptic species complex ที่มีทั้งหมด 5 ชนิด (morphotypes) [Canal, et al., 2015], การจำแนกชนิดของหนอน แมลงวันหัวเขียว *C. albiceps*, *C. megacephala* และ *Lucilia cuprina* ระยะที่ 3 [Nuñez & Liria, 2016] และ การจำแนกระยะต่างๆของหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala* [Sim & Zuha, 2019]

วิธีจีโอมेटริกส์ มอร์ฟอเมตริกส์ เป็นวิธีการทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (morphological transformation) และ ความแตกต่างของลักษณะการวางตัวหรือการเชื่อมโยงกัน (morpho-spatial) ของรูปร่างและ

ขนาดที่มีความจำเพาะแต่ละสปีชีส์ โดยการใช้พิกัดสถานที่สำคัญ (landmark coordinates) ทำให้เกิดการแบ่งแยกสปีชีส์แม่นยำมากขึ้น [Cooke & Terhune, 2015] นอกเหนือจากการแบ่งแยกสปีชีส์ตามกลุ่มฟีโนไทป์ (phenotype) วิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์ครอบคลุม ontogenetic allometry ซึ่งสามารถอธิบายความผันแปรทางสัณฐานวิทยา สอดคล้องกับการเจริญเติบโตโดยตรง ดังนั้นวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์ จึงเหมาะในการประยุกต์ใช้ในการอธิบายการเจริญเติบโตของแมลงที่มีความสำคัญทางนิเวศวิทยา

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์ วิเคราะห์การพัฒนาของหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala* โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครงกระดูกเซฟาโลฟาริงซ์ (cephalopharyngeal skeleton) ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขากรรไกรล่าง (mandible) และแผ่นยึดคอกหอย (pharyngeal sclerite)

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้ cephalopharyngeal skeleton ในการจำแนกอายุของหนอนแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* วันที่ 1, วันที่ 2, วันที่ 3, และ วันที่ 4 ด้วยวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์
2. เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบรูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton, mandible และ pharyngeal sclerite จากหนอนแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* แต่ละวันโดยการใช้โปรแกรม XYOM

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. กรงเลี้ยงแมลงวันตัวเต็มวัย ขนาด 30x30x30 cm
2. กระจกปิดสไลด์ (Cover slip)
3. กระจกสไลด์ ขนาด 25.4x76.2 mm. (Huida, China)
4. กระดาษชำระ เพื่อเช็ดทำความสะอาด และวางหนอน
5. ขวดแก้วสำหรับใส่สารเคมี (Schott Duran)
6. ขี้เลื่อยเลี้ยงหนอน
7. จานแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15x100 mm
8. โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) (MaGarrett)
9. ถูมียอยาง (ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอปอเรชั่น, Thailand)
10. ถังพลาสติกสำหรับเลี้ยงตัวอ่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 cm.
11. ถ้วยใส่น้ำสำหรับตัวเต็มวัย
12. นาฬิกาจับเวลา
13. น้ำยา permount
14. บีกเกอร์ขนาด 100 ml
15. ปลาตู้สำหรับเลี้ยงตัวอ่อน (ตลาดไท, ปทุมธานี)
16. ปากคีบ (forceps)
17. ใบมีด
18. ผงน้ำเต้าน้ำเลี้ยงตัวเต็มวัย



19. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

20. สมุดบันทึก

### วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย

1. เลี้ยงแมลงวันหัวเขียวระยะตัวเต็มวัย คละเพศ จำนวน 200 ตัว/กรง จำนวน 2 กรง วางจานแก้วซึ่งบรรจุน้ำเต้าหู้ผง 28 กรัม ผสมกับน้ำตาลทราย 5 กรัม เพื่อเป็นอาหารของตัวเต็มวัยและวางจานแก้วซึ่งบรรจุหว่าปลาทุสตกลงในกรง เพื่อให้แมลงวันหัวเขียววางไข่
2. เก็บจานแก้วซึ่งบรรจุหว่าปลาทุสที่มีไข่จำนวน 300-500 ฟอง ออกจากกรงและนำไปใส่ในถังพลาสติก ซึ่งบรรจุซีลีเย่เพื่อทำการฟักไข่ออกเป็นหนอนวันที่ 1 บันทึกผล
3. สุ่มเก็บหนอนวันที่ 1, หนอนวันที่ 2, หนอนวันที่ 3 และหนอนวันที่ 4 โดยการใช้ปากคีบ จำนวน 10 ตัวต่อวัน บันทึกผล ส่วนหนอนที่เหลืออยู่ เลี้ยงให้เข้าสู่ระยะดักแด้และระยะตัวเต็มวัยตามลำดับ บันทึกผล
4. ต้มหนอนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
5. วัดขนาดความยาวของหนอนแต่ละตัวโดยการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และชั่งน้ำหนักของหนอนครั้งละ 10 ตัว โดยการใช้เครื่องชั่งสาร 3 ตำแหน่ง (Precisa, United Kingdom) บันทึกผล
6. แช่หนอนแต่ละตัวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. นำหนอนที่เก็บได้มาทำการดึง cephalopharyngeal skeleton โดยการใช้ที่คีบปลายแหลมปากกขนาด 20 cm วาง cephalopharyngeal skeleton ลงบนสไลด์แก้วขนาด 25.4x76.2 mm. หยดด้วยน้ำยา permount แล้วปิดด้วย cover slip ขนาด 22x22 mm.
8. ถ่ายรูป cephalopharyngeal skeleton ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงติดกับกล้องดิจิทัลที่กำลังขยาย 40X เท่า จำนวน 400 ภาพ
9. อัปโหลดภาพไปยัง Google Drive และเข้าสู่ โปรแกรม XYOM (<https://xyom.io/me>)
10. กำหนดจุดแลนมาร์คของ cephalopharyngeal skeleton, mandible และ 51haryngeal sclerite จำนวน 13, 8 และ 7 ตำแหน่ง ตามลำดับ
11. วิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย (Mean)  $\pm$  ค่าความคลาดเคลื่อน ของ cephalopharyngeal skeleton, mandible และ 51haryngeal sclerite ด้วย Centroid Sizes
12. วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างกลุ่ม ของ cephalopharyngeal skeleton, mandible และ 51haryngeal sclerite ด้วย Discriminant Analysis (DA)
13. วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ cephalopharyngeal skeleton, mandible และ 51haryngeal sclerite ด้วย Mahalanobis distances
14. สรุปผลการทดลอง

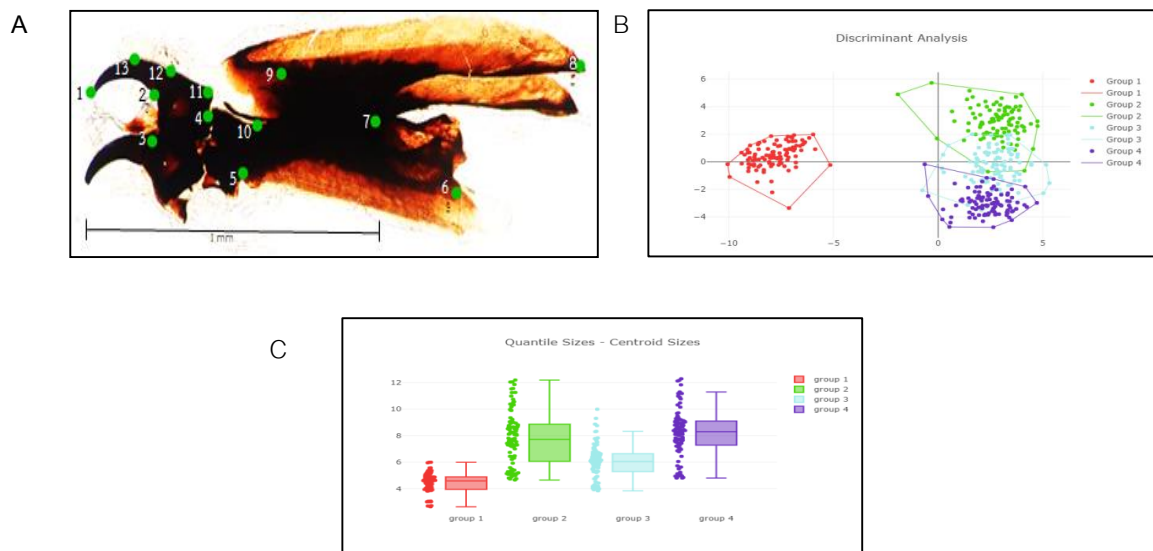
## ผลและการวิจารณ์

ตารางที่ 1 : การเจริญเติบโต (Growth) ของหนอนแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala*

อายุหนอน	น้ำหนักเฉลี่ย (mg) $\pm$ s.d.	ความยาวเฉลี่ย (mm) $\pm$ s.d
หนอนวันที่ 1	0.4 $\pm$ 0.1	2.20 $\pm$ 0.04
หนอนวันที่ 2	7.1 $\pm$ 0.6	6.91 $\pm$ 0.05
หนอนวันที่ 3	23.8 $\pm$ 1.4	12.68 $\pm$ 0.63
หนอนวันที่ 4	51.2 $\pm$ 5.8	13.83 $\pm$ 0.64

การศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala* ผู้วิจัยพบค่าความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 1 และ วันที่ 2 สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าของ [ศรีัญญา, 2551; Bansode, 2016] ในขณะที่ค่าความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 3 แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความหนาแน่นของตัวหนอน [Shiao & Yeh, 2008] และอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง [Li, et al., 2014]

การวิเคราะห์ cephalopharyngeal skeleton โดยการกำหนดจุดแลนด์มาร์คจำนวน 13 จุดบน cephalopharyngeal skeleton ของหนอนวันที่ 1, 2, 3 และ 4 จำนวนวันละ 100 รูป รวมทั้งหมด 400 รูป แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม XYOM ได้ผลดังนี้



รูปที่ 1: การกำหนดจุดแลนด์มาร์คบน cephalopharyngeal skeleton ของหนอนแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* (A), กราฟแสดงการจำแนกพื้นที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของหนอน(B), กราฟควอไทล์แสดงค่ากลาง (มัธยฐาน) การกระจาย ค่าสูงสุด ต่ำสุดของกลุ่มตัวอย่างที่แยกควอไทล์ที่ 25 และ 75 (C)

ตารางที่ 2 : แสดงค่ากลาง (มัธยฐาน), การกระจาย, ค่าสูงสุด ต่ำสุด ของข้อมูล จากการกราฟควอไทล์ หลังการวิเคราะห์รูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton จากโปรแกรม XYOM

อายุหนอน (วัน)	n	Median $\pm$ SD	Min – Max
1	100	4.589 $\pm$ 0.07	2.642 – 5.995
2	100	7.721 $\pm$ 0.07	4.660 – 12.193
3	100	6.054 $\pm$ 0.07	3.045 – 9.990
4	100	8.302 $\pm$ 0.07	4.804 – 12.287

Different superscript numbers indicate statistical differences at  $p < 0.05$ . SD = standard deviation; Min = minimum; Max = maximum.

ในการศึกษาครั้งนี้ Centroid sizes แสดงความแตกต่างของขนาดข้อมูล cephalopharyngeal skeleton จากหนอนแต่ละวัน สอดคล้องกับรายงานของ Sim & Zuha [2019] ในการจำแนกตัวอ่อนหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala* แสดงให้เห็นว่า Centroid sizes มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาพัฒนาการ

ตารางที่ 3 : การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวัดค่าระยะห่างมาฮาลานอบิส (Statistical analyses of Mahalanobis distances) จากโปรแกรม XYOM

อายุหนอน (วัน)	1	2	3	4
1	-	10.914*	10.527*	10.727*
2		-	3.556*	5.964*
3			-	2.913*
4				-

significant differences at  $*p < 0.05$

ตารางที่ 4 : วิเคราะห์รูปร่าง Mandible, Pharyngeal sclerite, cephalopharyngeal skeleton ในหนอนระหว่างวัน โดยการใช้ Mahalanobis ด้วยโปรแกรม XYOM

Shape	Mahalanobis Distance between Day					
	1 vs 2	1 vs 3	1 vs 4	2 vs 3	2 vs 4	3 vs 4
Mandible	6.124*	6.417*	6.626*	2.195*	2.822*	2.022*
Pharyngeal sclerite	1.736*	2.123*	2.155*	1.141*	1.260*	0.930*
Cephalopharyngeal skeleton	10.914*	10.527*	10.727*	3.556*	5.964*	2.913*

significant differences at  $*p < 0.05$

## สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบ ที่อุณหภูมิ  $29 \pm 1^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 65% การเจริญเติบโตของหนอนทั้งหมดวันที่ 1 ถึง วันที่ 4 แปรตามน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 1 ถึง วันที่ 4 โดยความยาวเฉลี่ยของหนอนวันที่ 3 ไม่แตกต่างกับ หนอนวันที่ 4 สำหรับการเตรียมความใส (clearing) ของ cephalopharyngeal skeleton ใช้น้ำยา 3% โซเดียมโบคาร์บอเนต แทนการใช้ 70% แอลกอฮอล์ บ่มเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ถ่ายรูปภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกำหนดจุดแลนดมาร์คโดยการใช้โปรแกรม XYOM

จุดแลนดมาร์ค ของ cephalopharyngeal skeleton จากหนอนแต่ละวัน จำนวน 13 จุด ประกอบด้วย (1) apical hook, (2) preapical tooth, (3) ventral apodeme, (4) union between hypostomal sclerite & mouth hook, (5) hypopharyngeal bridge, (6) ventral cornu, (7) concavity of pharyngeal sclerite (tentorial phragma), (8) dorsal cornu, (9) unknown, (10) base of parastomal bar, (11) dorsal apodeme of mouth hook, (12) unknown, และ (13) apical tooth

Centroid size แสดงมาตรฐาน  $\pm$  ค่าความคลาดเคลื่อนของ cephalopharyngeal skeleton จากหนอนวันที่ 1, วันที่ 2, วันที่ 3, และ วันที่ 4 เท่ากับ  $4.589 \pm 0.07$ ,  $7.721 \pm 0.07$ ,  $6.054 \pm 0.07$  และ  $8.302 \pm 0.07$  ตามลำดับ Discriminant Analysis (DA) แสดงระยะห่างของ cephalopharyngeal skeleton จากหนอนวันที่ 1 แยกออกจาก หนอนวันที่ 2, หนอนวันที่ 3, หรือ หนอนวันที่ 4 อย่างชัดเจน ในทำนองเดียวกัน หนอนวันที่ 2 แยกออกจาก หนอนวันที่ 3, หรือ หนอนวันที่ 4 อย่างชัดเจนอย่างไรก็ตาม DA ไม่สามารถแยกหนอนวันที่ 3 ออกจาก หนอนวันที่ 4 Mahalanobis distances แสดงค่าความแปรปรวนของ cephalopharyngeal skeleton จากหนอนแต่ละวันแยกออกจากกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

การวิเคราะห์ Centroid size แสดง รูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตในหนอนแต่ละวัน Discriminant Analysis (DA) แสดงรูปร่างของ cephalopharyngeal skeleton เกี่ยวข้องกับการแยกแต่ละวันออกจากกัน การวิเคราะห์ Mahalanobis distances แสดง cephalopharyngeal skeleton แยกหนอนแมลงวันหัวเขียวแต่ละวันออกจากกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) ความแตกต่างระหว่างวัน มีประโยชน์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการจำแนกอายุหนอนแมลงวันหัวเขียว *C. megacephala*

การใช้รูปร่าง (shape) ของ mandible, pharyngeal sclerite หรือ cephalopharyngeal skeleton เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนระหว่างวันโดยการใช้ค่าสถิติของ Mahalanobis distances ระบบ หนอนวันที่ 1 แยกออกจากหนอนวันที่ 2, หนอนวันที่ 3 หรือ หนอนวันที่ 4 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในทำนองเดียวกัน หนอนวันที่ 2 สามารถแยกออกจากหนอนวันที่ 3 หรือ หนอนวันที่ 4 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ หนอนวันที่ 3 สามารถแยกออกจากหนอนวันที่ 4 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สรุปผลการศึกษาพบว่าวิธีจีโอเมทริกส์ มอร์โฟเมทริกส์สามารถตรวจระบบการเจริญเติบโตของหนอน โดยการใช้ cephalopharyngeal skeleton ซึ่งเป็นประโยชน์ในนิติเวชกีฏวิทยา

## ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะแมลงวันหัวเขียว *Chrysomya megacephala* ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ แมลงวันหัวเขียว แมลงวันบ้าน แมลงวันหลังลาย และแมลง ชนิดอื่นๆ อาจใช้วิธีทางอนุโมเลกุล และ/หรือ วิธีทางสัณฐานวิทยา โดยการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ร่วมในการจำแนก เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมในการประมาณระยะเวลาหลังการตาย ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อทางนิติภูมิวิทยาของประเทศไทยต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน พี่ๆ และเจ้าหน้าที่ในภาคปริสิตวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาลที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำระหว่างทำการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณค่ะ

## เอกสารอ้างอิง

- ธีรภมร เพ็งสกุล (2551). การจำแนกหนอนแมลงวันที่พบโดยอาศัยข้อมูลทางชีววิทยา และอนุวิทยา. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศรัณญา จารยดี (2551). การประมาณระยะเวลาหลังการตายจากตัวอ่อนแมลงที่พบบนศพ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- Bansode, S. A, More, V. R., Zambare S. P. & Algalil, F. M. A. (2016). Effect of constant temperature (20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C) on the development of the Calliphorid fly of forensic importance, *Chrysomya megacephala* (Fabricus, 1794). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 4(3), 193-197
- Bunchu, N., Thaipakdee, C., Vitta, A., Sanit, S., Sukontason, K. & Sukontason, K.L. (2012). Morphology and developmental rate of the blow fly, *Hemipyrellia ligurriens* (Diptera: Calliphoridae): Forensic entomology applications. *Journal of Parasitology Research*, 2012, 371243
- Canal, N.A., Hernández-Ortiz, V., Tigrero Salas, J.O. & Selivon. (2015). Morphometric study of third-instar larvae from five morphotypes of the *Anastrepha fraterculus* cryptic species complex (Diptera, Tephritidae). *Zookeys*, 540, 41–59.
- Cooke, S.B. & Terhune, C. E (2015). Form, function and geometric morphometrics. *Anatomical Record*, 298, 5–28.

- Dujardin, J. P. (2008). Morphometrics applied to medical entomology. *Infection, Genetics and Evolution*, 8 (6), 875-890
- Eliza, .P & Zuha R. M. (2018). Preliminary assessment of cephalopharyngeal skeleton length and body length of *Hemipyrellia ligurriens* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) larvae as potential parameters to estimate minimum post mortem interval. *Egyptian Journal of Forensic Sciences volume 8*, 39.
- Li, X., Yang Y., Li, G., Li, H., Wang, Q. & Wan L. (2014). The effect of dietary fat levels on the size and development of *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Insect Science*, 14(174).
- Nuñez, J. A. & Liria, J. (2016). Cephalopharyngeal geometric morphometrics in three blowfly species (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1).
- Nuñez, J. A. & Liria, J. (2017a). Geometric morphometrics sexual dimorphism in three forensically-important species of blow fly (Diptera: Calliphoridae). *Life: The Excitement of Biology*, 4(4), 272–284.
- Nuñez, J.A. & Liria J (2017b) Sexual wing shape dimorphism in *Piophilidae casei* (Linnaeus, 1758 Diptera: Piophilidae). *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 11(2), 217–221.
- Rabbani, A. & Zuha, R.M. (2017). Cephalopharyngeal skeleton morphometry of *Hypopygiopsis violacea* (Macquart) (Diptera: Calliphoridae) - a preliminary assessment for its application in forensic entomology. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1), 777–782.
- Sharma, R., Garg, R.K. & Gaur, J.R. (2015). Various methods for the estimation of the post mortem interval from Calliphoridae: a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 5(1), 1–12.
- Shiao, S. F. & Yeh, T. C. (2008). Larval competition of *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya rufifacies* (Diptera: Calliphoridae): behavior and ecological studies of two blow fly species of forensic significance. *Journal of Medical Entomology*, 45(4), 785-799.
- Sim, L.X. & Raja M. Zuha. (2019). *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) (Diptera: Calliphoridae) development by landmark-based geometric morphometrics of cephalopharyngeal skeleton: a preliminary assessment for forensic entomology application. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9 (55).

# เว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้างแรงจูงใจในการจัดหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล

## Web Application for Creating Motivation in Searching Personal Trainer

อริษรา นวพงศ์<sup>1</sup> และ พัชรสินี ภักธรโกศล<sup>2</sup>

Arisara Nawaphong<sup>1</sup> and Pattarasinee Bhattarakosol<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

กลุ่มคนบางกลุ่มมีความเชื่อที่ว่า การออกกำลังกายด้วยตนเองเป็นเรื่องที่ยากเพราะไม่ทราบวิธีการออกกำลังกายที่ถูกต้องหรือขาดแรงจูงใจในการริเริ่ม ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล (Personal Trainer) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้ความหลากหลายของการออกกำลังกายและผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล อาจทำให้เกิดปัญหาแก่ผู้ต้องการว่าจ้างได้ เนื่องจากผู้จ้างมักไม่ทราบถึงคุณสมบัติและประสบการณ์ของผู้ฝึกสอนมาก่อน ทำให้ขาดความน่าเชื่อถือและไม่มั่นใจต่อการจ้าง จึงกล่าวได้ว่า การเลือกผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่ดี อาจจะเป็นเรื่องยากสำหรับผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล โดยเฉพาะผู้ที่ไม่ทราบถึงช่องทางการติดต่อหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยให้ผู้จ้างสามารถประเมินโปรไฟล์และทักษะของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลแต่ละรายแล้ว จะส่งผลให้ลดข้อขัดแย้งหรือความเสียหายจากการว่าจ้างที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยลงทั้งแก่ผู้จ้างและผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน บทความนี้ได้กล่าวถึงการสำรวจและวิเคราะห์พฤติกรรม รวมถึงความต้องการในการใช้เว็บแอปพลิเคชันของกลุ่มตัวอย่าง 2 ส่วน ได้แก่ ผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล และผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล จำนวนทั้งสิ้น 220 คน โดยทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างได้ให้ความสนใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชันเพื่อการบริหารจัดการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล คิดเป็นร้อยละ 62.5 และ 77 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล, ออกกำลังกาย, เว็บแอปพลิเคชัน

### Abstract

There are a group of people that believes that self-training is difficult because they do not have the knowledge or do not have the motivation which is where a personal trainer comes in. Hiring a personal trainer can be a problem because most of the time the clients do not know what type of exercise they want to work on, do not know the personal trainer's expertise and experience, and do not have the channel to contact or "source" a personal trainer. Not knowing a personal trainer's expertise and experience also cause a lack of confidence for the client. Therefore, this paper proposed a new solution that solve to find personal trainer's information and resume can solve the above-mentioned problems by web application

<sup>1</sup>สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Technopreneurship and Innovation Management (TIP), Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

<sup>2</sup>ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

platform. This paper will discuss the personal trainers and client's behavior, attitude, and demand for the web application platform. 220 subjects including clients and personal trainers were surveyed. 62.5% of clients and 77% of personal trainers were interested in the platform.

**Keyword:** Personal Trainer, Exercise, Web Application

## บทนำ

ปัจจุบันการรักษาสุขภาพและการออกกำลังกายกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ด้วยสภาพสังคมวัยทำงานทำให้คนเหล่านี้มีปัญหาด้านสุขภาพ สาเหตุหลักมาจากไลฟ์สไตล์ของคนยุคใหม่ ไม่ว่าจะเป็นการนั่งทำงาน ระยะเวลาสั้น เคลื่อนไหวร่างกายน้อย ทานอาหารที่ไม่ดี และด้วยคำกล่าวที่ว่า “สุขภาพดีไม่มีขาย ถ้าอยากได้ ต้องสร้างเอง” ทำให้การออกกำลังกายนั้นเป็นความต้องการสูงสุดของคนในยุคปัจจุบัน แต่ก็มีข้อจำกัดหลายอย่างคือการเดินทาง ราคาค่าบริการที่สูง อุปกรณ์ออกกำลังกายสมัยใหม่ที่เข้าใจวิธีเล่นได้ยาก ในขณะที่เดียวกันคนบางกลุ่มมีความรู้สึกร่วมกับความเชื่อว่าการออกกำลังกายด้วยตนเองเป็นเรื่องที่ยาก เพราะไม่ทราบถึงวิธีการออกกำลังกายที่ถูกต้อง ขาดแรงจูงใจในการริเริ่ม ดังนั้นผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล (Personal Trainer) จึงเป็นทางเลือกด้วยทักษะการออกกำลังกายเฉพาะทาง เช่น การเล่นโยคะ มวยไทย ทำให้เกิดความเพลิดเพลินมากขึ้น

ความนิยมจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลเกิดขึ้นตามจำนวนของสถานออกกำลังกายที่มีอยู่ทุกหนแห่ง ทั้งห้างสรรพสินค้า คอนโด รวมไปถึงพื้นที่ส่วนกลางของหมู่บ้าน แต่โดยทั่วไปแล้วลูกค้าส่วนใหญ่มักไม่มีโอกาสในการเลือกผู้ฝึกสอนได้ด้วยตนเอง ในบางรายอาจได้ผู้ฝึกสอนที่ไม่ถูกใจ เช่น ไม่มีหน่วยงานหรือองค์กรใดที่คัดกรองคุณสมบัติหรือประสบการณ์ ทำให้ขาดความน่าเชื่อถือและไม่มั่นใจต่อการจ้างงาน อาจมีความเสี่ยงในการเซ็นสัญญาว่างจ้าง ถูกเอารัดเอาเปรียบจากผู้ฝึกสอน เป็นต้น

จากประเด็นดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า โปรไฟล์ ความน่าเชื่อถือ และทักษะเฉพาะของผู้ฝึกสอนเป็นส่วนสำคัญในการประกอบการตัดสินใจก่อนว่าจ้าง เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบแอปพลิเคชันที่จะเป็นศูนย์กลาง และเป็นช่องทางในการติดต่อการจ้างงาน โดยแอปพลิเคชันจะรวบรวมผู้ฝึกสอนที่มีชื่อเสียงและผ่านการคัดกรองจากสถาบันที่มีคุณภาพ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปค้นหาผู้ฝึกสอนได้อย่างมั่นใจและเหมาะสมกับตนเอง กรณีถ้าผู้จ้างไม่ได้สมัครฟิตเนส เนื่องจากที่คอนโดหรือที่บ้านมีอุปกรณ์เพียงพอแล้ว และต้องการเรียนรู้การออกกำลังกาย โดยอยู่ในความดูแลของผู้ฝึกสอนที่ไว้ใจได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การออกกำลังกายที่เร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นแอปพลิเคชันนี้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่สามารถช่วยให้ผู้จ้างเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตนเองในเวลาอันสั้นสำหรับวันสำคัญต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องเดินทาง



## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติในปี 2554 พบว่าคนไทยส่วนใหญ่นิยมใช้บริเวณบ้านหรือที่อยู่อาศัยเป็นสถานที่ออกกำลังกาย โดยที่ไม่ต้องเสียเวลาเดินทางไปฟิตเนส (กรวินท์ ชูพันธุ์, 2560) กลุ่มคนจำนวนไม่น้อยมีความเชื่อว่าการออกกำลังกายด้วยตนเองเป็นเรื่องที่ยาก เพราะไม่ทราบถึงวิธีการออกกำลังกายที่ถูกต้อง จึงควรมีผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลคอยให้คำแนะนำ (Craig Smith, San Diego, 2011) ผู้คนส่วนใหญ่ต้องการบรรลุเป้าหมายด้านสุขภาพและรูปร่างโดยเร็วภายใต้ความปลอดภัยของชีวิต (อรรถภูมิ อองกุลนะ, 2559) ดังนั้นการค้นหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่เป็นมืออาชีพมาฝึกสอนที่บ้านหรือคอนโดเริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้น แต่มักพบปัญหา ดังนี้

1. พบว่ามีปัญหาการเรียนผ่านสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค เพราะผู้ประกอบการบางแห่งขาดมาตรฐานในการนำผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่ไม่มีความรู้ความสามารถมาให้บริการลูกค้า ทำให้ลูกค้าได้รับการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย
2. ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลใช้สื่อโซเชียลมีเดียในการประชาสัมพันธ์ตนเอง โดยในบางรายมีการแจ้งข้อมูลที่ไม่จริง ก่อให้เกิดความเข้าใจผิดแก่ผู้จ้าง ซึ่งอาจโดนหลอกให้จ่ายเงินค่าบริการ แต่กลับไม่ได้รับการดูแลที่ดีหรือมีสุขภาพที่ดีตามที่ได้อ้างไว้
3. ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลส่วนใหญ่ ไม่ได้จดบันทึกระหว่างทำการฝึกซ้อม และผลลัพธ์ของลูกค้าอย่างเป็นทางการในแต่ละครั้ง ทำให้ลูกค้าไม่สามารถเห็นการพัฒนาหรือความเปลี่ยนแปลงของร่างกายได้อย่างชัดเจน

ในงานวิจัยของ ขวัญจิรา เอกรัมย์ (2561) ได้นำเสนอระบบสารสนเทศเพื่อของผู้ฝึกสอน โดยระบบสามารถใช้ในการขายแพคเกจ ของผู้ฝึกสอนเพื่อเข้าเทรนผ่านหน้าเว็บไซต์ ให้ฟิตเนสมีระบบภายในอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้งานส่วนใหญ่พึงพอใจ แต่ยังพบอุปสรรคเพราะใช้งานได้เฉพาะในระบบคอมพิวเตอร์เท่านั้น

อีกงานวิจัยของ วณิษา แผลงรักษา (2556) เรื่องการพัฒนาระบบจองนัดแพทย์นอกเวลาออนไลน์ เพื่อลดกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และลดระยะเวลาในการรอคอยของผู้รับบริการ โดยใช้รูปแบบ Web Application ในจัดการฐานข้อมูล ผลจากการประเมินพบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่พึงพอใจอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบจองนัดแพทย์นอกเวลาแบบออนไลน์กรณีศึกษาของโรงพยาบาลมหาราชานครราชสีมาสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

งานวิจัยจากต่างประเทศของ Craig Smith and San Diego (2011) ได้คิดค้นวิธีการนำเสนอการฝึกอบรมกับผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลในรูปแบบออนไลน์ โดยใช้งานผ่านเครือข่ายการสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลและลูกค้า โดยโปรแกรมจะรวบรวมฐานข้อมูลของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลเพื่อแสดงผล ให้ลูกค้าสามารถปรึกษาผู้ฝึกสอนที่ตนเองสนใจเป็นรายบุคคล รวมไปถึงการติดตามประเมินผลข้อเสนอแนะ

อีกงานวิจัยจากต่างประเทศของ Stanley Carl Ng and Michael Hailey (2011) ได้คิดค้นวิธีการนำเสนอระบบในการเข้าถึงบริการฟิตเนสส่วนบุคคล โดยพัฒนาและใช้แอปพลิเคชันเพื่อใช้เป็นศูนย์กลาง

ในการใช้บริการศูนย์ออกกำลังกาย โดยแอปพลิเคชันสามารถใช้ในการแนะนำลูกค้าใหม่ที่เพิ่งเริ่มต้นออกกำลังกาย เพื่อให้ลูกค้าสามารถสร้างวินัยและกระตุ้นมาออกกำลังกายอย่างเป็นประจำ

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัจจุบันเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์ และยังคงมีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อไป การพัฒนาฮาร์ดแวร์โดยใช้เทคโนโลยีออนไลน์นี้ไม่เพียงเกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่ได้พัฒนาไปถึงสมาร์ทโฟน (Smartphones) ทำให้ผู้ใช้งานติดต่อสื่อสารขณะเดินทางได้ และเพื่อตอบสนองการสื่อสารแบบเรียลไทม์ (Real time) จะเกะกลุ่มตลาดที่รักการดูแลสุขภาพ ซึ่งให้เห็นถึงช่องโหว่ที่ต้องการแอปพลิเคชันในการออกกำลังกายแบบครบวงจร พร้อมคำแนะนำที่เป็นส่วนตัว และโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายทั้งหมดในทีเดียว

ผู้วิจัยต้องการศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบแอปพลิเคชันที่เป็นศูนย์กลางในการรวบรวมผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่มีชื่อเสียงและผ่านการคัดกรองจากสถาบันที่มีคุณภาพ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปค้นหาผู้ฝึกสอนได้อย่างมั่นใจและเหมาะสมกับตนเอง เพื่อใช้เป็นช่องทางในการติดต่อการจ้างงาน รวมไปถึงฟังก์ชันที่สามารถเก็บข้อมูลความเปลี่ยนแปลงด้านร่างกายของลูกค้าในแต่ละคน ให้ลูกค้ามองเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของสุขภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันผู้ฝึกสอนยังใช้ส่วนนี้ในการวิเคราะห์ออกแบบโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกเช่นกัน

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความต้องการของผู้ที่ต้องการจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลและความต้องการของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล
2. พัฒนาระบบแอปพลิเคชันการค้นหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่สามารถไว้วางใจได้ และบรรลุเป้าหมายการออกกำลังกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## แนวคิดการพัฒนา Web Application

การพัฒนา Web Application ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ได้บนสมาร์ทโฟนในลักษณะ Responsive Web Design เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสะดวกสบายมากขึ้น ดังรูปแบบของแนวคิดที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพ Use case ของ Web Application

จากภาพที่ 1 ที่แสดงให้เห็นรูปแบบ Web Application ที่สามารถใช้งานได้กับสมาร์ทโฟน (Smartphones)

- เริ่มต้นจากระบบลงทะเบียนโดยมี 2 กลุ่มที่ใช้งาน ได้แก่ ผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล และผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล

- ทั้ง 2 กลุ่มผู้ใช้สามารถการแก้ไขข้อมูลส่วนตัว โดยผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลจะต้องกรอกแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire) หรือ PAR-Q และเป้าหมายในการออกกำลังกาย ในส่วนของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลจะต้องใส่ข้อมูลส่วนตัว ทั้งในด้านทักษะ แพคเกจ ราคา เวลา สถานที่สะดวกในการเดินทาง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบให้สำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการจ้างผู้ฝึกสอน

- ผู้กลุ่มที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลสามารถเลือกประเมินผู้ฝึกสอนที่ตนเองสนใจ และส่งข้อความพูดคุยกับผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลผ่านระบบได้ทันที
- เมื่อทั้ง 2 ฝ่ายได้ตกลงกันเรียบร้อยแล้ว ผู้จ้างสามารถตกลง วันและเวลาในการออกกำลังกายได้ทันที
- หลังจากที่ได้ทำการฝึกสอนออกกำลังกายในแต่ละครั้ง ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลจะต้องทำการบันทึกข้อมูลการออกกำลังกายในทุก ๆ ครั้ง
- ผู้จ้างสามารถให้คะแนนและรีวิวผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลได้
- แอปพลิเคชันจะมีหน่วยงานคอยดูแลและสามารถแจ้งปัญหาในการใช้งานแอปพลิเคชันหรือผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลได้ผ่านระบบ

## อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้างแรงจูงใจในการจัดหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล ใช้การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ทั้งหมด 220 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มประชากรผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล จำนวน 120 คน
2. กลุ่มประชากรผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลจำนวน 100 คน

**กลุ่มที่ 1** ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบแบบสอบถาม (Questionnaire Design) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) สำหรับผู้ที่ได้เข้าไปใช้บริการฟิตเนสเซ็นเตอร์และเคยจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
- ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการเลือกผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล
- ส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพในการจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล
- ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะสำหรับแอปพลิเคชัน

**กลุ่มที่ 2** ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบแบบสอบถาม (Questionnaire Design) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นการเก็บข้อมูลของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลโดยตรงทั้งในฟิตเนสเซ็นเตอร์และกลุ่มผู้ฝึกสอนอิสระ (Freelance Trainer) โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
- ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการเลือกลูกค้าของของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล
- ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะสำหรับแอปพลิเคชัน

## ผลและวิจารณ์

**กลุ่มที่ 1 กลุ่มประชากรผู้ที่ต้องการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล**

ส่วนที่ 1 การศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่า มีชายจำนวน 38 คน เพศหญิงจำนวน 77 คน และเพศอื่น ๆ จำนวน 5 คน โดยเพศหญิงมักให้ความสำคัญและใส่ใจต่อรูปร่างเป็นพิเศษเพราะต้องการให้ตนเองดูดี

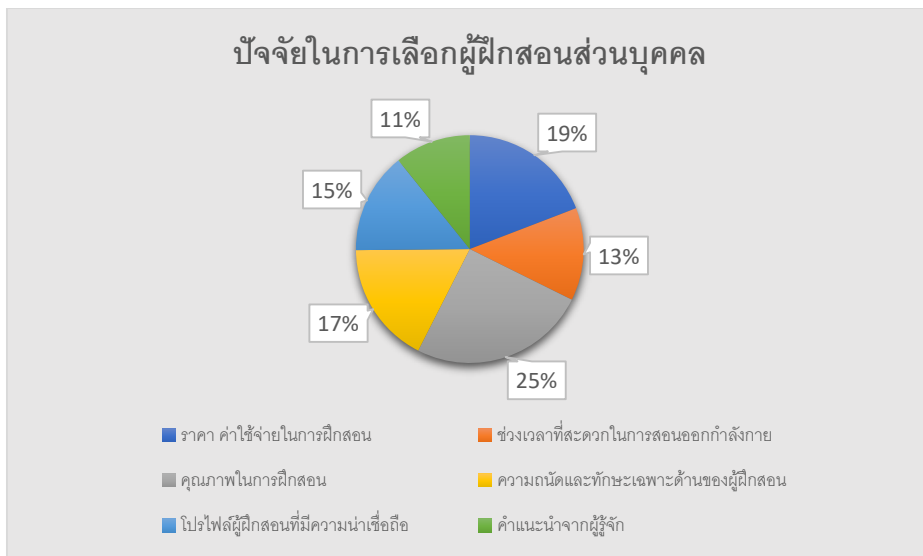
และให้เห็นผลลัพธ์เร็วที่สุด ผู้ที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุระหว่าง 31-40 ปีขึ้นไป เนื่องจากเป็นช่วงอายุที่มีรายได้ที่มั่นคง มีกำลังทรัพย์พอสมควรในการจ้างผู้ฝึกสอนส่วนตัว ระดับการศึกษาสูงสุดคือระดับปริญญาตรีจำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 53.3 อาชีพส่วนใหญ่ คือพนักงานบริษัทเอกชน/รับจ้าง จำนวน 52 คิดเป็นร้อยละ 43.3 ในส่วนของรายได้ได้อยู่ที่ระหว่าง 30,001-50,000 บาทต่อเดือน

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการเลือกผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล และส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพในการจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล จากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีผู้ที่เคยใช้บริการผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล 69 คน เคยใช้บริการจากฟิตเนสเซนเตอร์จำนวน 49 คน คิดเป็นร้อยละ 69 ช่องทางในการหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลส่วนใหญ่ที่เลือกคือ ฟิตเนสเซนเตอร์จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 77.8 เนื่องจากไม่ทราบถึงช่องทางอื่น ๆ และไม่รู้จักผู้ฝึกสอนเป็นการส่วนตัว อีกทั้งไม่เชื่อมั่นในการว่าจ้างผู้ฝึกสอนผ่านช่องทางออนไลน์เพราะอาจโดนหลอกให้จ่ายเงินค่าบริการแต่กลับไม่ได้รับการดูแลที่ดี

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล ส่วนใหญ่ผู้จ้างมักเลือกจากคุณภาพในการฝึกสอนเป็นอันดับแรก แม้ว่าคุณภาพนั้นอาจไม่สามารถวัดได้ แต่แสดงให้เห็นถึง ความมีระเบียบวินัย ความใส่ใจ ความเข้าใจ และความต้องการของลูกค้า ไปจนถึงผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นของร่างกายลูกค้า ดังนั้นองค์ประกอบนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการที่จะหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่ดีที่สุด

อันดับสองในด้านราคาควรมีราคากลางหรือระบุราคารายชั่วโมงแพคเกจอย่างชัดเจน เพราะในปัจจุบันโดยเฉพาะหน่วยงานในฟิตเนสเซนเตอร์ มักมีราคาค่าจ้างรายชั่วโมงของผู้ฝึกสอนที่ค่อนข้างสูง และไม่ทราบว่าผู้ฝึกสอนในแต่ละคนมีราคาที่แตกต่างกัน

และสุดท้ายคือปัจจัยด้านความถนัดและทักษะเฉพาะด้านของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล แสดงให้เห็นถึงความต้องการเฉพาะด้านของลูกค้าที่ต้องการทักษะของผู้ฝึกสอนพิเศษและศาสตร์การออกกำลังกายที่ตนเองต้องการ เช่น โยคะ เพื่อการบำบัดเพื่อฟื้นฟูร่างกาย ช่วยให้อวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายดีขึ้น หรือมวยไทยที่สามารถช่วยลดน้ำหนัก เกิดจากการออกกำลังกายในส่วนต่าง ๆ แม้แต่การบิดตัวระหว่างชกอย่างถูกวิธีก็มีผลต่อการเผาผลาญไขมัน เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุที่ลูกค้าส่วนใหญ่มักแสวงหาวิถีในการออกกำลังกายในแบบที่ตนเองชอบควบคู่กับการมีผู้ฝึกสอนที่มีทักษะเฉพาะทางให้คำแนะนำและสอนเทคนิคเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงปัจจัยในการเลือกผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะสำหรับแอปพลิเคชันผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 120 คนได้ให้ความสำคัญแก่ 3 ปัจจัยพิจารณาจากคะแนนเต็ม 5 คะแนนดังนี้คือ ข้อมูลด้านสุขภาพของลูกค้าทั้งประวัติด้านสุขภาพเบื้องต้น เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง สมรรถภาพร่างกายเพื่อสำรวจความพร้อม ความเปลี่ยนแปลงด้านสรีระ และโปรแกรมการออกกำลังกายในแต่ละครั้ง เป็นลำดับ 1 คิดเป็นจำนวน 4.50 คะแนน ตามด้วยโปรไฟล์ของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล เพื่อแสดงให้ลูกค้าสามารถดูได้โดยข้อมูลจะระบุทักษะเฉพาะทางของผู้ฝึกสอน แพคเกจราคา และแสดงเวลาที่ที่สามารถทำการฝึกสอนได้ เป็นลำดับ 2 คิดเป็นจำนวน 4.38 คะแนน และสุดท้ายคือแอปพลิเคชันที่สามารถรองรับได้ทั้งคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน เป็นลำดับ 3 คิดเป็นจำนวน 4.31 คะแนน นอกจากนี้ความสนใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชันหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ความสนใจเป็นจำนวน 75 คน จากจำนวน 120 คน คิดเป็นร้อยละ 62.5

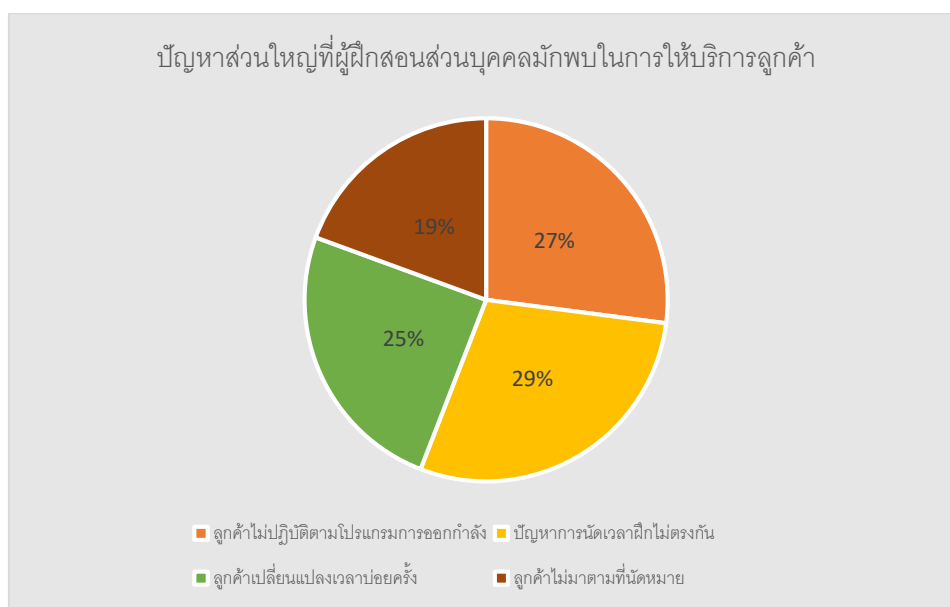
## 2. กลุ่มประชากรผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามเพศชายจำนวน 61 คน เพศหญิงจำนวน 29 คน และเพศอื่น ๆ จำนวน 10 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในช่วงอายุต่ำกว่า 31 ปี จำนวน 50 คน ระดับการศึกษาสูงสุดอยู่ในช่วงปริญญาตรี มีจำนวน 97 คน คิดเป็นร้อยละ 97.0 ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลสังกัดในฟิตเนสเซนเตอร์ที่ตอบแบบสอบถาม จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 60 และผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลอิสระ จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 40 ประสบการณ์ในการทำงานอยู่ในช่วง 6-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 37.0 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน อยู่ระหว่าง 30,001-50,000 บาท

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการเลือกลูกค้าของของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล โดยส่วนใหญ่จะได้รับงานผ่านจากสถานที่ฟิตเนสเซนเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 64.0 เนื่องจากผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลมีทางเลือกอย่างจำกัดในหาลูกค้าโดยอาศัยจากการเข้าไปพูดคุยหรือ ให้บริการลูกค้าขณะที่ออกกำลังกายอยู่ในฟิตเนสเท่านั้น ส่วนผู้ฝึกสอนอิสระมีช่องทางโดยอาศัยจากการที่มีลูกค้าเก่าจากฟิตเนสจ้างต่อหรือการบอกผ่านปากต่อปากลูกค้า ดังนั้นเว็บแอปพลิเคชันจะช่วยเพิ่มช่องทางและโฆษณาให้ผู้ฝึกสอนได้มีโอกาสในการนำเสนอตนเองและโอกาสในการจ้างงานที่มากขึ้น

ในด้านปัญหาหลักของการรับงานและให้บริการต่างลงความเห็นในด้านปัญหาการนัดเวลาการฝึกที่ไม่ตรงกันมากที่สุด เพราะไม่มีการแสดงตารางงานจากแหล่งใด ดังนั้นการที่มีการแสดงผลตารางงานของผู้ฝึกสอนจะช่วยให้ผู้ลูกค้าทราบเบื้องต้นก่อนที่จะทำการนัดหมาย และให้ความสะดวกสบายต่อผู้ฝึกสอนยิ่งขึ้น

ปัญหาถัดมาคือ ลูกค้าไม่ปฏิบัติตามโปรแกรมการออกกำลังกายที่วางแผนไว้ เกิดจากการที่ผู้ฝึกสอนไม่มีข้อมูลการวางแผนการออกกำลังกายเป็นรูปธรรมหรือข้อมูลที่บันทึกการออกกำลังกายในแต่ละครั้งอย่างชัดเจนดังนั้น ข้อมูลด้านสุขภาพลูกค้าที่ประเมินจากผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ลูกค้าควรรู้และมีข้อมูลอยู่ในมือเพื่อลูกค้าเข้าใจและปฏิบัติตามคำแนะนำจากผู้ฝึกสอน



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงสัดส่วนปัญหาในการรับงานจากลูกค้า

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะสำหรับแอปพลิเคชันที่ผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลทั้ง 100 คนได้ให้คะแนนความสำคัญเป็น 3 อันดับแรก คิดจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน มีปัจจัยดังต่อไปนี้คือ โปรไฟล์ของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลต้องการแสดงให้ลูกค้าสามารถดูได้ ควรระบุทักษะเฉพาะทางของผู้ฝึกสอน แพคเกจราคา และแสดงช่วงเวลาที่สามารถทำการฝึกสอนเป็นลำดับที่ 1 คิดเป็นจำนวน 4.30 คะแนน ตามด้วยบัญชีส่วนตัวสำหรับการใช้งานเฉพาะผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลเท่านั้น เช่น ประวัติการขาย ลูกค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นลำดับ 2 คิดเป็นจำนวน 4.26 คะแนน และสุดท้ายคือ การบันทึกข้อมูลด้านสุขภาพของลูกค้าในรูปแบบดิจิทัล เป็นลำดับ 3 คิดเป็นจำนวน 4.22 คะแนน นอกจากนี้ความสนใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชันหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ความสนใจเป็นจำนวน 77 คน จากจำนวน 100 คน คิดเป็นร้อยละ 77.0

## สรุป

ผลในการศึกษาข้างต้นพบว่า จากกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจ้างผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลและผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลได้ให้ความสำคัญกับเรื่องคุณภาพในการฝึกสอน รวมไปถึงความถนัดและทักษะเฉพาะด้านของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคล

เป็นหลัก ในส่วนของฟังก์ชันในเว็บแอปพลิเคชันอันดับแรกที่สำคัญคือ การบันทึกข้อมูลด้านสุขภาพของลูกค้าในรูปแบบดิจิทัล เพื่อใช้เก็บข้อมูลและการเปลี่ยนแปลงของร่างกายหลังออกกำลังกาย และการแสดงโปรไฟล์ของผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลให้ลูกค้าสามารถดูได้ โดยข้อมูลจะระบุทักษะเฉพาะทางของผู้ฝึกสอน แคลคูลาและแสดงช่วงเวลาที่สามารถทำการฝึกสอน โดยรวมของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ได้ให้ความสนใจเว็บแอปพลิเคชันนี้เป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงมีความคิดเห็นว่าหากมีเว็บแอปพลิเคชันค้นหาผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลที่ช่วยในเรื่องของการหาผู้ฝึกสอนที่ตรงต่อความต้องการ จะทำให้เกิดผลดีทั้งผู้จ้างและผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลให้ดียิ่งขึ้น โดยเป็นการนำเว็บแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยในการติดต่อสื่อสารให้ทั้ง 2 ฝ่ายเกิดประโยชน์สูงสุด

## คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณกลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่ได้สละเวลาในการทำแบบสอบถามในครั้งนี้ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามไว้ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อข้อมูลและให้ความร่วมมือในด้านต่าง ๆ ขอบพระคุณค่ะ

## เอกสารอ้างอิง

กรวิทย์ ชูพันธุ์. (2560) ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจกลับมาใช้บริการซ้ำของผู้ใช้บริการเทรนเนอร์ออนไลน์: กรณีศึกษาเฟซบุ๊ก วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ) คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ขวัญจิรา เอกรัมย์. (2561) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการของผู้ฝึกสอนส่วนตัว. กรณีศึกษา Soul Health Club. โครงการนักศึกษา (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

วณิชชา แผลงรักษา. (2556). ระบบของนัดแพทย์นอกเวลาออนไลน์กรณีศึกษา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ปร ะ ยุ ก ต์ ค ณ ะ วิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2554) การสำรวจพฤติกรรมการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายของประชากรและสุขภาพจิต.

อรรถภูมิ อองกุลนะ. (2559) เรียกผมว่า “เทรนเนอร์” สืบค้น 19 ธันวาคม 2559 จาก

<https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/732419>

Craig Smith, San Diego. Personal trainers online. (2011) Patent Application Publication. Provisional application 2010; 61:339-136.

Stanley Carl Ng & Michael Hailey (2011). Systems and methods for accessing personalized fitness services using a portable electronic device. United States Patent. Apple Inc., Cupertino, CA (US)



## ผลกระทบของยีน *flaA* และ *fliD* ของเชื้อ *Helicobacter pylori* ต่อรูปร่างของแฟลเจลลาและการเคลื่อนที่

The effects of *flaA* and *fliD* genes of *Helicobacter pylori* on flagella structure and motility

ณัฐวุฒิ วิเวโก<sup>1</sup> และ ปาหนัน รัฐวงศศิริกุล<sup>2</sup>

Nattawut Viwaygo<sup>1</sup> and Panan Ratthawongjirakul<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

*Helicobacter pylori* เป็นเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสำคัญในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์โดยเป็นสาเหตุของการเกิดแผลในกระเพาะอาหารกระเพาะอาหารอักเสบแบบเฉียบพลัน และเรื้อรังรวมถึงมะเร็งกระเพาะอาหาร การเคลื่อนที่ด้วยแฟลเจลลาเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ช่วยให้เชื้อก่อโรคได้ เนื่องจากเชื้อสามารถเคลื่อนที่แบบคางคกผ่านเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารเข้าสู่ชั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกถึงผนังเซลล์และสามารถเจริญเติบโตก่อให้เกิดพยาธิสภาพในกระเพาะอาหารตามมา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบทบาทของยีน *flaA* ซึ่งควบคุมการสร้าง flagellin A ที่เป็นโปรตีนองค์ประกอบหลักของแฟลเจลลา และยีน *fliD* ที่ควบคุมการสร้าง capping protein ที่จำเป็นต่อการสร้างเส้นใยแฟลเจลลาที่สมบูรณ์ของ *H. pylori* ที่มีผลกระทบต่อรูปร่างของแฟลเจลลาและคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของเชื้อ โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 กับ *H. pylori* สายพันธุ์ที่มีการกลายพันธุ์ของยีน *flaA* และยีน *fliD* ผลการศึกษาพบว่าการกลายพันธุ์ของทั้งยีน *flaA* และยีน *fliD* มีผลต่อรูปร่างของแฟลเจลลาเมื่อศึกษาด้วยการย้อมสี Leifson fuchsin stain ในขณะที่เชื้อมีความสามารถในการเคลื่อนที่ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อยีน *flaA* ได้กลายพันธุ์ ยีนดังกล่าวทั้งสองมีความสำคัญต่อรูปร่างและการทำงานที่สมบูรณ์ของแฟลเจลลาของ *H. pylori* โปรตีนที่เกิดจากการควบคุมของยีนทั้งสองชนิดนี้ อาจมีแนวโน้มที่ใช้เป็นเป้าหมายในการผลิตวัคซีนต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ :** เชื้อ *H. pylori*, *flaA*, *fliD*, แฟลเจลลา, การเคลื่อนที่

<sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตโมเลกุลทางจุลชีววิทยาทางการแพทย์และวิทยาภูมิคุ้มกัน, คณะสหเวชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Program of Molecular Sciences in Medical Microbiology and Immunology, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา, คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Research Unit of Innovative Diagnosis of Antimicrobial Resistance, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

## Abstract

*Helicobacter pylori* is the important human pathogen in gastrointestinal tracks causing peptic ulcer, acute- and chronic gastritis and gastric cancer. Motility is one of the crucial virulence factors owing to a screw-like movement, driven by favor of flagella, to facilitate the bacterium move through gastric mucosa, and leads to the colonization of bacteria that cause pathogenesis of the stomach. This study aimed to clarify the roles of *flaA* gene encoding for flagellin A protein, which is a main component of flagella, and *fliD* gene encoding for capping protein, which is necessary for filament formation. The ability to construct of flagella filament and motile of *H. pylori* ATCC 43504 was evaluated compared to the *flaA* and *fliD* isogenic mutants. The result showed that the mutation of *flaA* and *fliD* genes affected a flagella structure when examined by leifson fuchsin staining. While the bacterium showed to have a significantly decreased motility when the *flaA* gene mutated. Both *flaA* and *fliD* genes are necessary for flagella formation and function. Therefore, the protein coded by these two genes might be used as a target for vaccine development in future.

**Keywords:** *H. pylori*, *flaA*, *fliD*, flagella, motility

## บทนำ

*Helicobacter pylori* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบมีรูปร่างเกลียวสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจางและมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 5% จากการศึกษพบว่าประชากรโลกมากกว่าครึ่งหนึ่งติดเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ (Kuster, et al., 2006) ในขณะที่ประเทศไทยพบอัตราความชุกของการติดเชื้ออยู่ที่ 57% ผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อส่วนใหญ่ไม่มีอาการแสดง (Fock, et al., 2010) อย่างไรก็ตาม *H.pylori* สามารถก่อให้เกิดพยาธิสภาพในระบบทางเดินอาหาร นำมาซึ่งโรคต่าง ๆ เช่นแผลในกระเพาะอาหาร กระเพาะอาหารอักเสบ และ B-cell lymphoma of mucosa-associated lymphoid tissue (MALT) เป็นต้น การติด *H. pylori* มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งกระเพาะอาหาร ด้วยเหตุนี้องค์การอนามัยโลกได้จัดให้ *H.pylori* เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 (Class I carcinogen) โดยมะเร็งกระเพาะอาหารเป็นมะเร็งที่ก่อให้เกิดอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยทั่วโลกมากเป็นอันดับ 2 รองจากมะเร็งปอด ในประเทศไทยอัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งกระเพาะอาหารมีมากเป็นอันดับ 6 ในผู้ป่วยเพศชายและอันดับ 9 ในผู้ป่วยเพศหญิง ในขณะที่อัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยโรคมะเร็งกระเพาะอาหารอยู่ที่ประมาณ 5 - 15% ซึ่งจัดได้ว่าเป็นอัตราการรอดชีวิตค่อนข้างต่ำ *H. pylori* มีปัจจัยในการก่อโรครหลายชนิดหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญคือการเคลื่อนที่แบบคางว่วน ทำให้เชื้อสามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านเยื่อเมือกที่ปกคลุมเยื่อบุผิวกระเพาะอาหารเข้าสู่ชั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งเอื้อต่อการดำรงชีวิตของเชื้อในทางเดินอาหาร และก่อให้เกิดพยาธิสภาพตามมา การศึกษาในหนูพบว่า *H. pylori* ที่มีแฟลเจลลาไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถอาศัยในกระเพาะอาหารของหนูได้ *H. pylori* มีแฟลเจลลาแบบมีปลอกหุ้มประมาณ 4 - 7 เส้นอยู่บริเวณปลายด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์ การสร้างและการทำงานของแฟลเจลลาถูกควบคุมอย่างเป็นระบบด้วยยีนมากกว่า 40 ยีน (Mobley, et al., 2001) ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ 1.) basal body เป็นส่วนที่อยู่ภายใต้ผนังเซลล์และบรรจุโปรตีนต่างๆ ไว้ภายใน ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของแฟลเจลลาและปฏิกริยาชักนำทางเคมี 2.) flagellar hook เป็นส่วนเชื่อมต่อเชื่อมระหว่าง basal body และ flagellar filament 3.) flagellar

filament ทำหน้าที่เป็นใบพัดโบกให้เซลล์เคลื่อนที่ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิดได้แก่ FlaA ที่เป็น flagellin หลักและ FlaB ทำหน้าที่เป็น flagellin รอง โปรตีนทั้ง 2 ชนิดถูกควบคุมด้วยยีน *flaA* และ *flaB* ตามลำดับ (Morimoto, et al., 2014) ทั้งนี้ส่วนที่เป็น flagellar filament กับ flagellar hook ถูกเชื่อมต่อกันด้วยโปรตีนที่ชื่อว่า hook-associated proteins (HAPsหรือ FliD) มีคุณสมบัติเป็น capping protein ซึ่งภายหลังเกิดการสร้างข้อต่อระหว่าง flagellar filament กับ flagellar hook จะมีการเติมโปรตีน FliD ไปยังเส้นใยแฟลเจลลาและกระตุ้นการเกิดกระบวนการ polymerization ระหว่าง flagellin monomer ให้ประกอบกันเป็นเส้นแฟลเจลลาที่สมบูรณ์พร้อมที่จะทำงาน (Kim, et al., 1999) กระบวนการสร้างแฟลเจลลาเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและอาศัยการทำงานร่วมกันของโปรตีนหลายชนิด โดยมีการศึกษาพบว่าการขาดการแสดงออกของยีน *rpoN*, *flhA*, *flgR* และ *flhF* ส่งผลกระทบต่อการสร้างแฟลเจลลา และสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนที่ นอกจากนี้การขาดการแสดงออกของยีน *rpoN* และ *flgR* ส่งผลกระทบต่อการผลิตโปรตีนในกลุ่ม flagellar hook และ โปรตีนในกลุ่ม flagellar filament ทั้ง FlaA และ FlaB (Niehus, et al., 2004)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบของยีนแฟลเจลลาที่อาจส่งผลต่อการสร้างแฟลเจลลา และการเคลื่อนที่ของ *H. pylori* โดยเลือกศึกษายีน *flaA* และยีน *fliD* เนื่องจากเป็นยีนที่ควบคุมการสร้างเส้นใยหลักของแฟลเจลลาที่สมบูรณ์ อีกทั้งโปรตีน FlaA และ FliD ยังเป็นโปรตีนที่มีแนวโน้มสูงในการนำมาใช้เป็นเป้าหมายเพื่อพัฒนาวัคซีน และการตรวจวินิจฉัยทาง serology ที่สำคัญของ *H. pylori*

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของยีน *flaA* และ *fliD* ของ *H. pylori* ต่อรูปร่างของแฟลเจลลาและการเคลื่อนที่ของเชื้อ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยประกอบไปด้วย *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 และ *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 ที่ถูกทำให้ยีน *flaA* และยีน *fliD* กลายพันธุ์ด้วยเทคนิค inverse PCR mutagenesis เชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์ ถูกเพาะเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีส่วนประกอบของ brain heart infusion และเลือดแกะ 7% v/v บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจางเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

### 2. การทำให้เชื้อแบคทีเรียกลายพันธุ์ด้วยเทคนิค inverse PCR mutagenesis

ลำดับเบสของยีน *flaA* และ *fliD* ของเชื้อ *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 (GenBank accession number AP017632.1) ถูกนำมาใช้ออกแบบ primer สำหรับการทำ inverse PCR mutagenesis โดยออกแบบ primer ให้จับส่วนกลางลำดับเบสของทั้งยีน *flaA* และ *fliD* และให้ลำดับเบสขาดหายไปจำนวน 10 และ 18 เบสตามลำดับเมื่อ primer เพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม นอกจากนี้ที่ปลายด้าน 5' ของ primer แต่ละเส้นได้เพิ่มลำดับเบสของเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bgl*II เคาไว้ บริเวณลำดับเบสที่ขาดหายไปถูกแทนที่ด้วยลำดับเบสของ kanamycin resistance cassette จากปฏิกิริยา ligation ที่ตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ *Bgl*II ผลผลิตจาก inverse PCR mutagenesis ของยีน *flaA* และ *fliD* ถูกโคลนเข้าสู่ *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 ด้วยวิธี natural transformation โดยทำการเกลี่ยเชื้อ *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีส่วนประกอบของ brain heart infusion และเลือดแกะ 7% v/v ที่แช่เย็น บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจาง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปิเปตพลาสมิดผลผลิตจาก inverse PCR mutagenesis ของยีน *flaA* และ *fliD* ปริมาณ 2 µg ลงบนเชื้อที่เกลี่ยลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

37 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจาง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเอาเชื้อทั้งหมดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อไปเจือจางในอาหารเลี้ยงเชื้อ brain heart infusion broth ปริมาตร 500  $\mu$ L และปิเปตเชื้อ 100  $\mu$ L ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีส่วนผสมของ brain heart infusion เลือดแกะ 7% v/v และยา kanamycin ความเข้มข้น 20  $\mu$ g/mL บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจาง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เชื้อที่ประสบความสำเร็จในการทำ natural transformation จะสามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มียา kanamycin

### 3. การทดสอบความสามารถในการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

นำโคโลนีของ *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์มาเจือจางใน brain heart infusion broth ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ  $1 \times 10^8$  CFU/mL จากนั้นทำการเจือจางเชื้อเป็นลำดับ 10 เท่า ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ  $1 \times 10^2 - 10^3$  CFU/mL ศึกษาระยะการเติบโตและความเข้มข้นปริมาตร 100  $\mu$ L หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีส่วนผสมของ brain heart infusion และเลือดแกะ 7% v/v เกลี่ยเชื้อให้กระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจาง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาบ่ม ทำการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อที่เจริญอยู่บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 4. การย้อมสีแฟลเจลลิตด้วยเทคนิค leifson fuchsin stain

เพาะเลี้ยง *H. pylori* บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีส่วนผสมของ brain heart infusion และเลือดแกะ 7% v/v ที่ถูกทำให้มีผิวหน้าเอียง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนเจือจาง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ปิเปตน้ำกลั่นปราศจากเชื้อที่ไม่มีประจุให้ท่วมผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที ค่อยๆดูดส่วนน้ำใสหยดลงบนสไลด์และรอให้แห้ง นำไปย้อมด้วยสีที่มีส่วนผสมของ basic fuchsin 0.2% w/v tannic acid 1% w/v และ sodium chloride 0.5% w/v เป็นเวลา 12 นาที ล้างสีส่วนเกินออกด้วยน้ำสะอาดซับให้แห้งและนำไปดูใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1000 เท่า

### 5. การทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อในอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว

เพาะเลี้ยง *H. pylori* บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่มีความเข้มข้นของวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 0.3% w/v และมีส่วนผสมของ Brucella broth และ fetal bovine serum 10% v/v นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนที่ของเชื้อที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบหลายกลุ่มตัวอย่าง (One-way ANOVA) และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Scheffe กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% โดยค่า p-value ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ถือว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## ผลและวิจารณ์

*H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 ถูกทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้สำเร็จ ได้เชื้อที่มีการกลายพันธุ์ของยีน *flaA* เรียกสายพันธุ์นี้ว่า HPflaA และยีน *flaD* เรียกสายพันธุ์นี้ว่า HPflaD โดยงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค inverse PCR mutagenesis ในการทำให้เชื้อกลายพันธุ์ อย่างไรก็ตามเทคนิค inverse PCR mutagenesis มีโอกาสที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของยีน *flaA* และ *flaD* ทำให้ยีนดังกล่าวทั้งสองไม่สามารถถูกถอดรหัสเป็น

mRNA ของ flagellin และ capping protein ที่สมบูรณ์ได้ ตามลำดับ เมื่อมีการแสดงออกของโปรตีนบางชนิดที่เปลี่ยนไป อาจส่งผลต่อความสามารถในการแบ่งตัวของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังการทดสอบอื่นได้ งานวิจัยนี้ จึงทำการทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการเจริญของ *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 สายพันธุ์ HPflaA และสายพันธุ์ HPfliD มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน (p-value = 0.371)(รูปที่ 1) แสดงให้เห็นว่าการกลายพันธุ์ของยีนแฟลเจลลาทั้ง 2 ยีน ไม่มีผลต่อการเจริญของ *H. pylori*

การย้อมแฟลเจลลาด้วยเทคนิค leifson fuchsin stain (Piccolomini, et al., 1999) แสดงให้เห็นโครงสร้างของเชื้อแบคทีเรียติดสีชมพูของสี basic fuchsin โดยมองเห็นเส้นแฟลเจลลาออกมาจากตัวเซลล์ของแบคทีเรียได้อย่างชัดเจนใน *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 ในขณะที่สายพันธุ์ HPflaA และสายพันธุ์ HPfliD สามารถมองเห็นได้เพียงเซลล์ของแบคทีเรียเท่านั้น (รูปที่ 2) เมื่อขาดการแสดงออกของยีน *flaA* หรือ *fliD* อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการสร้างแฟลเจลลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ flagellin หรือเส้นใยแฟลเจลลาของ *H. pylori* ทั้งนี้หากต้องการยืนยันลักษณะรูปร่างของแฟลเจลลาโดยละเอียด ควรใช้เทคนิคอื่นเพิ่มเติมในการศึกษาในอนาคต เช่น การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านเพื่อให้ได้ภาพที่มีกำลังขยายสูงขึ้น และมองเห็นลักษณะของเส้นแฟลเจลลาได้ชัดเจนมากขึ้น

การเคลื่อนที่โดยใช้แฟลเจลลาเป็นหนึ่งในคุณสมบัติสำคัญของ *H. pylori* ในการเคลื่อนที่ผ่านชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารของมนุษย์ และทำให้เกิดพยาธิสภาพในกระเพาะอาหาร การทดสอบการเคลื่อนที่จึงถูกนำมาใช้ทดสอบการทำหน้าที่ของแฟลเจลลาใน *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาจากระยะทางที่เชื้อเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางบริเวณที่ทำการเพาะเชื้อลงบนอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว จากการทดสอบพบว่า *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 7.4 mm สายพันธุ์ HPflaA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 2.8 mm ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 (p-value = 0.0003) ในขณะที่สายพันธุ์ HPfliD มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 4.6 mm และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 (รูปที่ 3) จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่า เมื่อขาดการแสดงออกของยีน *flaA* เชื้อ *H. pylori* จะสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนที่ไป ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรตีน FlaA หรือ flagellin หลัก เป็นโปรตีนหน่วยย่อยของ flagellar filament ที่ทำหน้าที่สำคัญในการโบกพัด และทำให้เชื้อเคลื่อนที่ไปได้ การรบกวนการแสดงออกของยีนจากกระบวนการ inverse PCR mutagenesis ทำให้เชื้อมีความสามารถในการผลิตโปรตีน FlaA ที่สมบูรณ์ลดลง และไม่สามารถสร้างสาย flagellar filament ที่สมบูรณ์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ได้ นอกจากผลกระทบจากการขาดโปรตีน FlaA จากการทดลองดังกล่าวข้างต้นนี้ ยังมีการศึกษาพบว่าโปรตีน FlaA มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันทั้งการตอบสนองโดยอาศัยสารน้ำและเซลล์เมื่อทำการกระตุ้นในหนู (Zarei, et al., 2017) และโปรตีน FlaA มีความอนุรักษ์ในแต่ละสายพันธุ์ของ *H. pylori* (Yan, et al., 2003) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โปรตีน FlaA เป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาวัคซีนต่อเชื้อ *H. pylori* โปรตีน FliD เป็นอีกโปรตีนหนึ่งที่มีความอนุรักษ์ในสายพันธุ์ของ *H. pylori* เช่นเดียวกับโปรตีน FlaA และมีการศึกษาทางน้ำเหลืองวิทยาในผู้ติดเชื้อ *H. pylori* พบว่า มี antibody ที่มีความจำเพาะต่อโปรตีน FliD ในกลุ่มผู้ติดเชื้อ และให้ความไวและความจำเพาะในการตรวจการติดเชื้อ *H. pylori* ที่สูง (Gholi, et al., 2013)

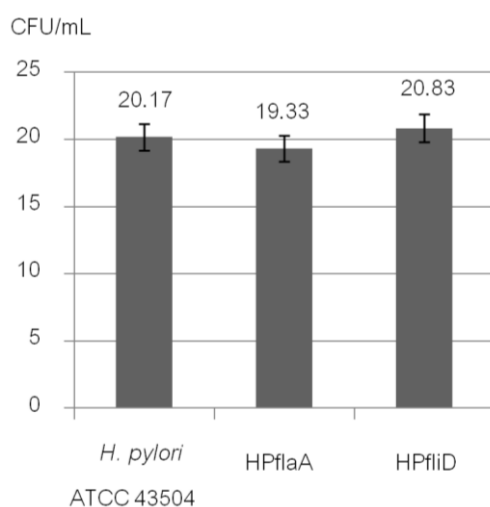
## สรุป

แฟลเจลลาของ *H. pylori* ประกอบไปด้วยโปรตีนหน่วยย่อยมากกว่า 40 ชนิด และแต่ละโปรตีนหน่วยย่อยถูกควบคุมโดยยีนต่างชนิดกันโปรตีนหน่วยย่อยที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่โปรตีน flagellin เป็นโปรตีนหน่วยย่อยที่เป็นส่วนประกอบของเส้นแฟลเจลลาหลักและ capping protein ที่ทำหน้าที่เป็นโปรตีนหุ้มส่วนปลายสุดของสายแฟลเจลลาของ *H. pylori* ทั้ง 2 โปรตีนถูกควบคุมโดยยีน *flaA* และ *fliD* ตามลำดับ การกลายพันธุ์ของยีนแฟลเจลลาไม่ว่าจะเป็นยีน *flaA* หรือยีน *fliD* ไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเจริญของเชื้อ แต่พบว่ามีผลโดยตรงต่อการสร้างแฟลเจลลาที่สมบูรณ์ของ *H. pylori* ดังจะเห็นได้จากลักษณะของเส้นใยแฟลเจลลาที่หายไปเมื่อทำการศึกษาย้อมดูด้วยเทคนิค leifson fuchsin stain นอกจากนี้ยีน *flaA* ยังมีผลโดยตรงต่อหน้าที่ของแฟลเจลลาในการควบคุมการเคลื่อนของ *H. pylori* จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่าโปรตีนหน่วยย่อยของสายแฟลเจลลา ทั้งโปรตีน FlaA และ FliD ล้วนมีความสำคัญในการสร้างสายแฟลเจลลา และโปรตีน FlaA มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของเชื้อ โดยการเคลื่อนที่ถือเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ควบคุมด้วยการทำงานของแฟลเจลลา ซึ่งอาจนำไปสู่ผลกระทบในด้านอื่นของเซลล์ที่ติดเชื้อ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับโปรตีนทั้ง 2 ชนิด รวมถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับแฟลเจลลาไปพัฒนาวัคซีนที่จำเพาะต่อ *H. pylori* ต่อไป

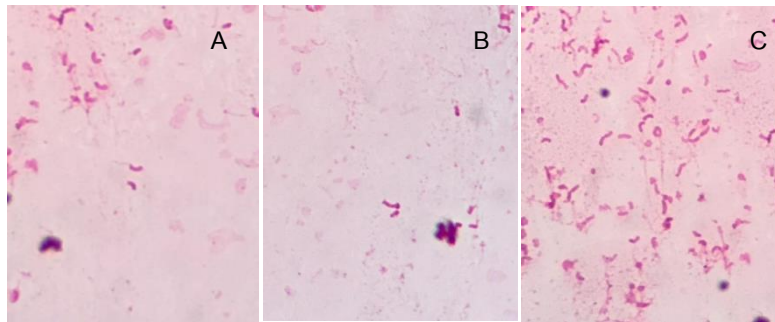
## เอกสารอ้างอิง

- Asakura, H., Churin, Y., Bauer, B., Boettcher, J. P., Bartfeld, S., Hashii, N., ... & Meyer, T. F. (2010). *Helicobacter pylori* HP0518 affects flagellin glycosylation to alter bacterial motility. *Molecular microbiology*, 78(5), 1130-1144.
- Dorrell, N., Gyselman, V. G., Foyes, S., Li, S. R., & Wren, B. W. (1996). Improved efficiency of inverse PCR mutagenesis. *BioTechniques*, 21(4), 604-608.
- Fock, K. M., & Ang, T. L. (2010). Epidemiology of *Helicobacter pylori* infection and gastric cancer in Asia. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 25(3), 479-486.
- Gholi, M. K., Kalali, B., Formichella, L., Göttnner, G., Shamsipour, F., Hassan Zarnani, A., ... & Gerhard, M. (2013). *Helicobacter pylori* FliD protein is a highly sensitive and specific marker for serologic diagnosis of *H. pylori* infection. *International Journal of Medical Microbiology*, 303(8), 618-623.
- Gu H. (2017). Role of Flagella in the Pathogenesis of *Helicobacter pylori*. *Current microbiology*, 74(7), 863–869. <https://doi.org/10.1007/s00284-017-1256-4>
- Kim, J. S., Chang, J. H., Chung, S. I., & Yum, J. S. (1999). Molecular Cloning and Characterization of the *Helicobacter pylori* *fliD* Gene, an Essential Factor in Flagellar Structure and Motility. *Journal of bacteriology*, 181(22), 6969-6976.

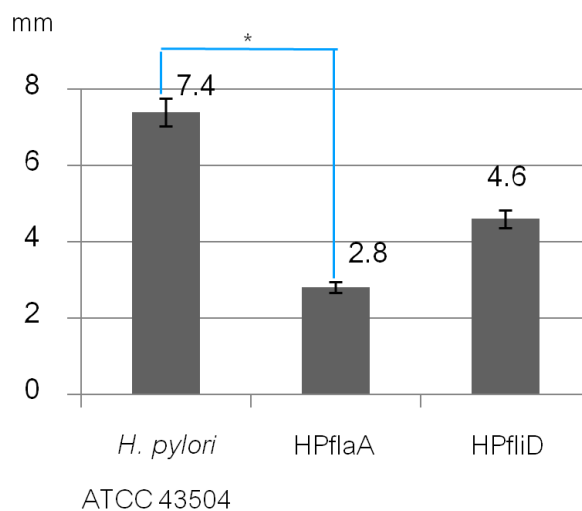
- Kusters, J. G., van Vliet, A. H., & Kuipers, E. J. (2006). Pathogenesis of *Helicobacter pylori* infection. *Clinical microbiology reviews*, 19(3), 449-490.
- Mobley, H. L., Mendz, G. L., & Hazell, S. L. (2001). Restriction and Modification Systems--*Helicobacter pylori*: Physiology and Genetics. ASM press.
- Morimoto, Y. V., & Minamino, T. (2014). Structure and function of the bi-directional bacterial flagellar motor. *Biomolecules*, 4(1), 217-234.
- Niehus, E., Gressmann, H., Ye, F., Schlapbach, R., Dehio, M., Dehio, C., ... & Josenhans, C. (2004). Genome-wide analysis of transcriptional hierarchy and feedback regulation in the flagellar system of *Helicobacter pylori*. *Molecular microbiology*, 52(4), 947-961.
- Ottemann, K. M., & Lowenthal, A. C. (2002). *Helicobacter pylori* uses motility for initial colonization and to attain robust infection. *Infection and immunity*, 70(4), 1984-1990.
- Parsonnet, J., Hansen, S., Rodriguez, L., Gelb, A. B., Warnke, R. A., Jellum, E., ... & Friedman, G. D. (1994). *Helicobacter pylori* infection and gastric lymphoma. *New England Journal of Medicine*, 330(18), 1267-1271.
- Paul, W. O., Lane, M. C., & Porwollik, S. (2000). *Helicobacter pylori* motility. *Microbes and infection*, 2(10), 1207-1214.
- Yan, J., Liang, S. H., Mao, Y. F., Li, L. W., & Li, S. P. (2003). Construction of expression systems for *flaA* and *flaB* genes of *Helicobacter pylori* and determination of immunoreactivity and antigenicity of recombinant proteins. *World journal of gastroenterology*, 9(10), 2240.
- Zarei, M., Mosayebi, G., Khansarinejad, B., & Abtahi, H. (2017). Antigenic and immunogenic evaluation of *Helicobacter pylori* FlaA epitopes. *Iranian journal of basic medical sciences*, 20(8), 920.



รูปที่ 1 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีแบคทีเรียที่นับได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อจากการทดสอบความสามารถในการเจริญของเชื้อ *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน (p-value = 0.371) การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10



รูปที่ 2 ลักษณะแฟลเจลลาของ *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อย้อมด้วยเทคนิค Leifson fuchsin และส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า (A) *H. pylori* ATCC 43504 สามารถมองเห็นแฟลเจลลาที่ยื่นออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรีย (B) *H. pylori* สายพันธุ์ HPflaA และ (C) *H. pylori* สายพันธุ์ HPfliD ไม่พบแฟลเจลลาที่ยื่นออกมาจากเซลล์แบคทีเรีย



รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนที่ของ *H. pylori* ทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า *H. pylori* สายพันธุ์ HPflaA เคลื่อนที่ได้น้อยกว่า *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504 อย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.0003) ในขณะที่ *H. pylori* สายพันธุ์ HPfliD เคลื่อนที่ได้ไม่แตกต่างจาก *H. pylori* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 43504



## การประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าจากแบบจำลองการถ่ายเทรังสีอาทิตย์

The estimation of solar irradiance under overcast sky from a radiative transfer model

สหัสษา พิ้งาม<sup>1</sup>, กรทิพย์ ไต้ะสิงห์<sup>1\*</sup> และ เสริม จันทร์ฉาย<sup>1</sup>  
Sahussa Peengam<sup>1</sup>, Korntip Tohsing<sup>1\*</sup> and Serm Janjai<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสีที่เรียกว่า LibRadtran เพื่อประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า โดยทำการศึกษาที่สถานีเรดาร์กรมฝนหลวงและการบินเกษตรอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ (17.80° N, 98.43° E) ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2560 จากนั้นนำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) ผลที่ได้พบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันดีโดยมีค่าความแตกต่างทางสถิติในรูปของค่ารากที่สองของค่าความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (root mean square difference, RMSD) และค่าความแตกต่างเอนเอียงเฉลี่ย (mean bias difference, MBD) เท่ากับ 17.0% และ -3.0% ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** รังสีอาทิตย์, ความสูงของฐานเมฆ, ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า, แบบจำลองการถ่ายเทรังสี

### Abstract

In this work, a radiative transfer model called LibRadtran was used to estimate solar irradiance under overcast sky at a station of the Royal Rainmaking and Agricultural Aviation Department in Omkoi District, Chiang Mai, Thailand (17.80 °N, 98,43 °E) during August, 2016 - December, 2017. Afterwards, the calculated solar irradiance from the model was compared with that obtained from the measurement using a pyranometer. The result showed a good agreement between both data set with discrepancy in terms of root mean square difference (RMSD) and mean bias difference (MBD) 17.0% and -3.0%, respectively.

**Keyword:** Solar irradiance, Cloud base height, Overcast sky, Radiative transfer model

---

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand. \*E-mail: korntip.tohsing@gmail.com

## บทนำ

รังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ มีความยาวคลื่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.3 - 3.0 ไมโครเมตร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศและสมดุลพลังงานของโลก โดยเมื่อรังสีอาทิตย์เดินทางมายังพื้นผิวโลก จะถูกองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ ได้แก่ โอโซน, ไอน้ำ, ฝุ่นละออง, แก๊สต่าง ๆ และเมฆ อดทอนลงเนื่องจากการกระเจิงและดูดกลืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมฆ ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการอดทอนดังกล่าวและเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก่อนการนำมาศึกษา อย่างไรก็ตามในงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้า นั้นแปรค่าตลอดเวลาขึ้นอยู่กับความสูงของเมฆ, ประเภทและความหนาของเมฆ (Page, 2012)

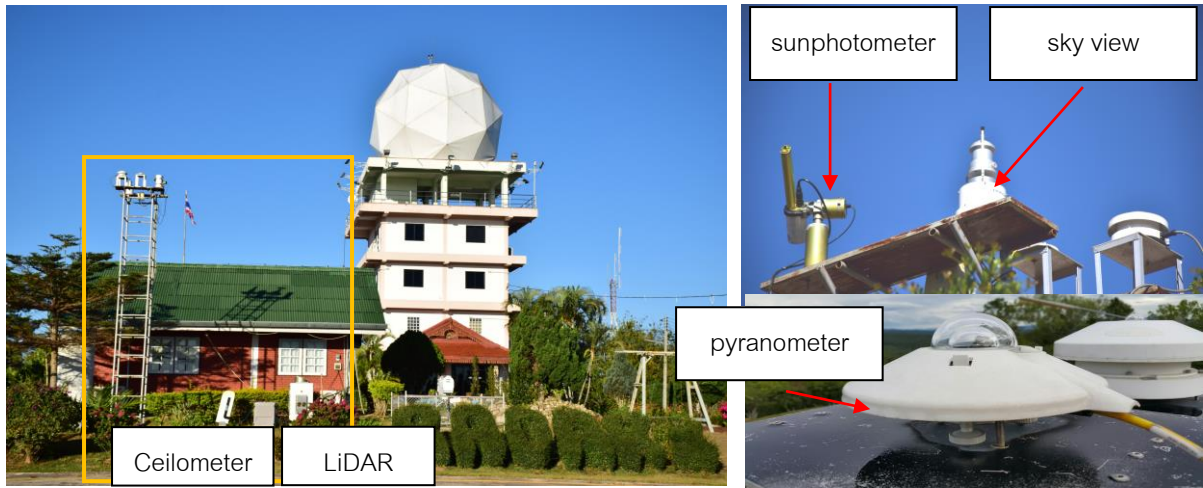
Kasten และ Czeplak (1980) ได้ทำการศึกษาประเภทของเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าที่มีผลต่อรังสีรวมของดวงอาทิตย์ (global solar radiation) ที่เมืองฮัมบูร์ก ประเทศเยอรมัน พบว่ากรณีที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์และมีความแตกต่างกันของปริมาณรังสีอาทิตย์ในเมฆแต่ละประเภท Matuszko (2012) พบว่า ถ้าเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเป็นเมฆระดับสูง เช่น เมฆเซอร์โรสเตรดัส รังสีอาทิตย์ยังคงมาถึงยังพื้นผิวโลกโดยไม่ถูกอดทอนไป แต่ในกรณีที่เมฆระดับต่ำ หรือ เมฆระดับกลาง เช่น เมฆนิมโบสเตรดัส รังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะถูกอดทอนไป โดยความแตกต่างของปริมาณรังสีที่มายังพื้นผิวโลกในทั้ง 2 กรณี อาจมีความต่างกันถึง 700 วัตต์ต่อตารางเมตร จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นว่าเมฆเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณรังสีอาทิตย์แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงจะทำการศึกษาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า พร้อมกับประยุกต์ใช้ข้อมูลความสูงของฐานเมฆ ที่วัดโดยเครื่องซีโลมิเตอร์ เป็นอินพุตของแบบจำลองการถ่ายเทรังสี (radiative transfer model) เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า

## วัตถุประสงค์

งานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าในประเทศไทยที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่

## อุปกรณ์และวิธีการ

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่สถานีเรดาร์กรมฝนหลวงและการบินเกษตรอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ (17.80° N, 98.43° E, สูง 1,120 เมตร จากระดับน้ำทะเล, รูปที่ 1) และทำการวัดตั้งแต่เดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2559 ถึง เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2560 โดยในงานนี้จะเลือกเฉพาะวันที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ซึ่งต้องเป็นเมฆชั้นเดียวและไม่มีฝนตก สภาพท้องฟ้าที่จะนำมาศึกษานั้นทำการตรวจสอบได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) รุ่น PSV-100 บริษัท PREDE ซึ่งทำการถ่ายภาพท้องฟ้าและบันทึกภาพเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ทุก ๆ 1 นาที โดยติดตั้งบนเสาสูงเพื่อไม่ให้เงาของต้นไม้หรือสิ่งก่อสร้างบดบังกล้องถ่ายภาพ ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่สถานีวัดเรดาร์ฝนหลวงและการบินเกษตร อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ (กรอบสี่เหลี่ยม)



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า ของสถานีเรดาร์ฝนหลวง อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ในกรณีสภาพท้องฟ้า (a) ปราศจากเมฆ (b) มีเมฆบางส่วน (c) มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า

ตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองการถ่ายเทรังสี คือ ข้อมูลความสูงของฐานเมฆ (cloud base height, CBH) จากเครื่องวัดความสูงของฐานเมฆหรือที่เรียกว่าเครื่องซีโลมิเตอร์ (ceilometer) รุ่น CS135 ของบริษัท Campbell Scientific เครื่องมือดังกล่าวจะทำการส่งสัญญาณเลเซอร์เพื่อวัดความสูงของฐานเมฆทุก ๆ 15 วินาที ในการสังเกตลักษณะของเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าว่าเป็นเมฆชั้นเดียวหรือเมฆหลายชั้นสามารถใช้เครื่องไลดาร์ (LiDAR) ในการร่วมตรวจสอบพร้อมกับเครื่องซีโลมิเตอร์ได้ โดยเครื่องไลดาร์เป็นขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ผลิตโดยบริษัท Sigma space ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกัน โดยปกติแล้วเครื่องไลดาร์เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศแต่ก็สามารถใช้ตรวจวัดลักษณะของเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าได้เช่นเดียวกัน ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://mplnet.gsfc.nasa.gov/> เครื่องมือทั้งสองถูกติดตั้งที่บริเวณพื้นสนามหญ้าดังแสดงในรูปที่ 1

นอกจากข้อมูลความสูงของฐานเมฆแล้ว ยังมีตัวแปรทางบรรยากาศอื่น ๆ ที่จะนำใส่เข้าไปในแบบจำลองการถ่ายเทรังสี ได้แก่ มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (zenith angle,  $\theta_z$ ), ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth, AOD), ค่าการกระเจิงของฝุ่นละออง (single scattering albedo, SSA), ค่า asymmetry factor ของฝุ่นละออง (g), สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว (surface albedo), ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (water vapor, W) และปริมาณโอโซน (Ozone column,  $O_3$ ) โดยค่า AOD ได้มาจากเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์แบบเจาะจงความยาวคลื่น (sunphotometer) ของบริษัท Cimel เครื่องวัดนี้เป็นหนึ่งในเครือข่ายการศึกษาฝุ่นละอองทั่วโลก หรือ AERONET (Aerosol Robotic Network) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/> นอกจากนี้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์แบบเจาะจงความยาวคลื่นยังให้ข้อมูลอีก 4 ตัว คือ ค่า SSA, g, สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว และค่า W สำหรับปริมาณโอโซนจะได้มาจากเครื่องวัดโอโซน (OMI) ที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม AURA ซึ่งจะโคจรผ่านบริเวณเส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 13.00 น. เวลาท้องถิ่น โดยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/>

ในส่วนของคุณสมบัติปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์วัดได้โดยเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์หรือเครื่องไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) รุ่น CMP11 ของบริษัท Kipp&Zonen ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณศักย์ไฟฟ้า จากนั้นทำการแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์โดยการหารด้วยค่าการตอบสนอง (sensitivity) ของหัววัดที่ได้มาจากบริษัทผู้ผลิต

ขั้นตอนวิธีการวิจัย ผู้วิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้จากเครื่องมือต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นเลือกเฉพาะข้อมูลในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าเป็นเมฆชั้นเดียวและไม่มีฝนตกในวันและเวลาดังกล่าว โดยตัวแปรและแหล่งที่มาของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 1 ตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ดังนั้นจึงนำไปเป็นอินพุตของแบบจำลองการถ่ายเทรังสีอาทิตย์ที่เรียกว่า LibRadtran และผลลัพธ์สุดท้ายของแบบจำลองก็คือปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร โดยกระบวนการประมาณค่ารังสีอาทิตย์ในงานวิจัยนี้แสดงเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ตัวแปรและแหล่งที่มาที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในแบบจำลองการถ่ายเทรังสี

ข้อมูลอินพุต	แหล่งที่มาของข้อมูล
$\theta_z$	การคำนวณ
AOD, SSA และ g	เครื่องสเปกตรัมรังสีอาทิตย์แบบเจาะจงความยาวคลื่น
W	เครื่องสเปกตรัมรังสีอาทิตย์แบบเจาะจงความยาวคลื่น
$O_3$	อุปกรณ์ OMI บนดาวเทียม AURA
CBH	เครื่องวัดความสูงของฐานเมฆ

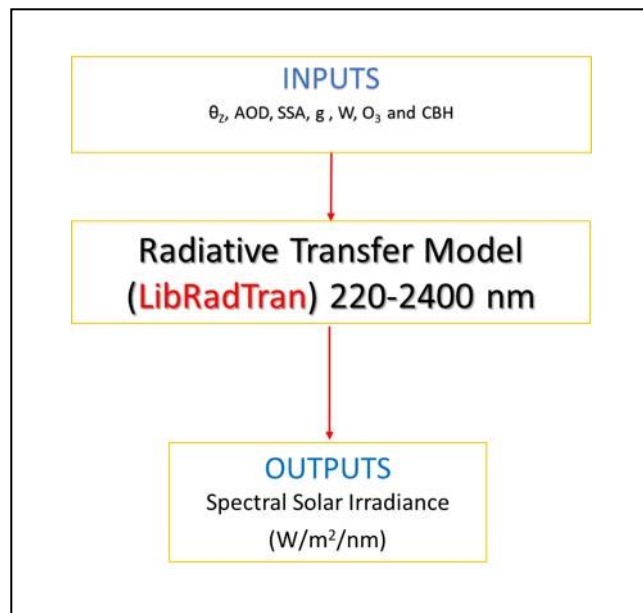
ผู้วิจัยจะทำการอินทิเกรต (integration) ค่า spectral irradiance ( $W/m^2/nm$ ) ให้เป็นค่า irradiance ( $W/m^2$ ) ที่ท้ายที่สุดผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัด ผลที่ได้แสดงเป็นค่าความแตกต่างทางสถิติในรูปของค่าความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (root mean square difference, RMSD) และค่าความแตกต่างเอนเอียงเฉลี่ย (mean bias difference, MBD) ซึ่งเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$RMSD = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(X_{meas,i} - X_{model,i})^2}{N}}}{\sum_{i=1}^N \frac{X_{meas,i}}{N}} \times 100\% \quad (1)$$

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(X_{meas,i} - X_{model,i})}{N}}{\sum_{i=1}^N \frac{X_{meas,i}}{N}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ  $X_{model,i}$  คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง ( $W/m^2$ )  
 $X_{meas,i}$  คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าที่ได้จากการวัด ( $W/m^2$ )  
 $N$  คือ จำนวนข้อมูล

โดยถ้าค่า RMSD เข้าใกล้ศูนย์จะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันดี และถ้าค่า MBD มีค่าเข้าใกล้ศูนย์หมายความว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่มีความเอนเอียงไปทางค่าที่ได้จากแบบจำลองหรือการวัด หากมีค่าเป็นบวก แสดงว่าข้อมูลมีความเอนเอียงไปทางค่าที่ได้จากการวัดมากกว่าจากแบบจำลอง หรือ ในกรณีที่มีค่าลบแสดงว่าข้อมูลมีความเอนเอียงไปทางค่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าค่าจากการวัด

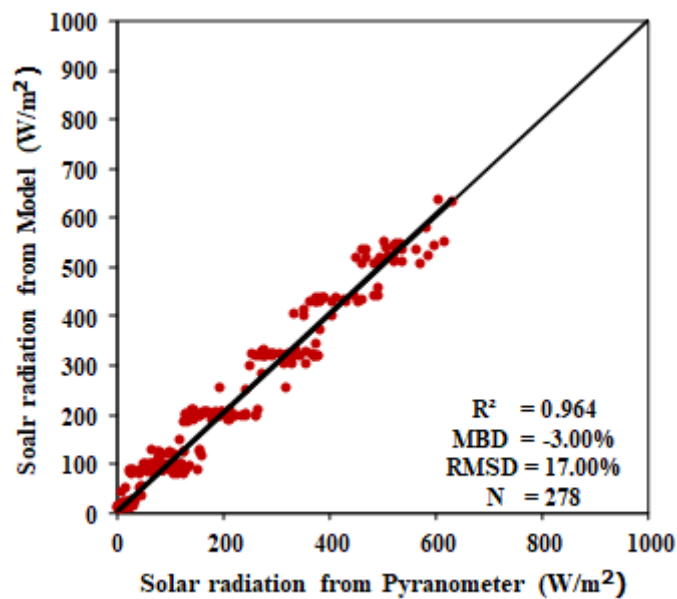


รูปที่ 3 แผนภูมิขั้นตอนการประมาณหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองการถ่ายเทรังสีอาทิตย์

### ผลและวิจารณ์

ผลจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองและการวัดแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันค่อนข้างดี โดยมีค่า RMSD 17.0% และ MBD เท่ากับ -3.0%

เมื่อพิจารณาค่า MBD จะเห็นว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดจริง ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าความสูงของเมฆที่เป็นอินพุตในแบบจำลองการถ่ายเทรังสีมีความคลาดเคลื่อนไปจากลักษณะท้องฟ้าจริง ในแบบจำลองดังกล่าวกรณีท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆเพียงชั้นเดียวโดยสังเกตจากภาพถ่ายท้องฟ้า และเครื่องวัดความสูงของฐานเมฆก็วัดเมฆได้เพียงชั้นเดียว แต่ในความเป็นจริงอาจมีเมฆมากกว่าหนึ่งชั้นก็เป็นได้ ทำให้รังสีอาทิตย์ถูกลดทอนลงไปมากกว่าที่ได้จากแบบจำลอง



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัด

### สรุป

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าที่สถานีวัดเรดาร์กรมฝนหลวงและการบินเกษตร อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสีอาทิตย์ที่เรียกว่า LibRadtran ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ทางบรรยากาศ เช่น ความสูงของฐานเมฆ, ฝุ่นละออง, ไอน้ำ และ โอโซน เป็นอินพุตสำคัญสำหรับแบบจำลอง จากนั้นนำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้โดยเครื่องไพราโนมิเตอร์ จากผลการเปรียบเทียบพบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันค่อนข้างดีโดยมีความแตกต่างในรูปของค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 17.0% และ -3.0 %

ตามลำดับ จากผลการวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาคุณสมบัติของเมฆที่ถูกต้องเพื่อนำไปประมาณค่ารังสีอาทิตย์ต่อไป

### **เอกสารอ้างอิง**

Kasten, F., & Czeplak, G. (1980). Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. *Solar energy*, 24(2), 177-189.

Matuszko, D. (2012). Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity. *International Journal of Climatology*, 32(15), 2403-2414.

Page, J. (2012). The role of solar-radiation climatology in the design of photovoltaic systems. *In Practical Handbook of Photovoltaics* (pp. 573-643). Academic Press.

# โมบายแอปพลิเคชันเพื่อลงทะเบียนนักท่องเที่ยวที่เข้าพักโรงแรมด้วยเทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง

## MOBILE CHECK-IN APPLICATION FOR HOTEL USING OPTICAL CHARACTER RECOGNITION

จิรวโรจน์ ไสออดร<sup>1</sup> และ ภัทรสินี ภัทรโกศล<sup>2</sup>

Jiraroj Soudorn<sup>1</sup> and Pattarasinee Bhattarakosol<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศและถือเป็นรายได้หลักของประเทศไทย จากจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติในปี 2561 ที่มีถึง 38.12 ล้านคน (Kasikorn Research Center, 2019) และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในทุกๆ ปี ส่งผลให้ธุรกิจโรงแรมและสถานที่พักแรมต่างๆ ได้รับอิทธิพลและเป็นที่ยอมรับของกลุ่มชาวต่างชาติ ด้วยเหตุนี้เองรัฐบาลจึงมีการกำหนดกฎหมายควบคุมให้ผู้ประกอบการธุรกิจด้านที่พักให้ปฏิบัติตาม พ.ร.บ.โรงแรม พ.ศ. 2547 และ พ.ร.บ.คนเข้าเมือง พ.ศ. 2522 ผลจากกฎหมายทั้งสองนี้ทำให้ผู้ประกอบการที่พักต้องส่งข้อมูลนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้แก่สำนักงานตรวจคนเข้าเมืองภายใน 24 ชั่วโมง ภายหลังจากมีการเข้าพัก ปัจจุบันการบันทึกข้อมูลนักท่องเที่ยวมีหลายขั้นตอน ทำให้เกิดความล่าช้า ซับซ้อน และอาจเกิดความผิดพลาด บทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีในการบันทึกข้อมูลนักท่องเที่ยวโดยอัตโนมัติเพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น ด้วยการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันที่ใช้จัดเก็บข้อมูลนักท่องเที่ยว โดยใช้กล้องจากสมาร์ตโฟนสแกนจากหน้าหนังสือพาสปอร์ตและแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบดิจิทัลโดยเทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) เพื่อจัดเก็บ และสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อออกรายงานการเข้าพัก รวมถึงการนำส่งข้อมูลให้ทางสำนักงานตรวจคนเข้าเมืองได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และช่วยลดเวลาในการเช็คอิน การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) และการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล จำนวน 32 คน และกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ จำนวน 172 คน ผลการศึกษาใช้วิธีการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) พบว่า กลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล มีความสนใจในการทดลองใช้งาน คิดเป็นร้อยละ 84.3 และกลุ่มนักท่องเที่ยว มีความสนใจในการทดลองใช้งาน คิดเป็นร้อยละ 41.8

**คำสำคัญ :** การท่องเที่ยว, นักท่องเที่ยวต่างชาติ, โมบายแอปพลิเคชัน, การประมวลผลรูปภาพ, พาสปอร์ต, การแปลงข้อมูลจากรูปภาพให้เป็นข้อมูลตัวอักษร

<sup>1</sup> สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Technopreneurship and Innovation Management Program (TIP), Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.



## Abstract

Tourism is one of the most important factors driving Thai economy which can continuously generate high income for Thailand. The number of international tourist arrivals to Thailand in 2018 reached 38.12 million people and increasing annually. This will be attributed to the government's policy to promote less visited areas and regulate the accommodation owners by law, Hotel Act B.E. 2547 (2004) and Immigration Act B.E. 2522 (1979). The accommodation owners must submit the tourists' reports to the Immigration Bureau within 24 hours which may cause delay and errors of the data. This article will present a method for autonomous tourist information importing to solve the mentioned problems by developing a mobile application system, using Optical Character Recognition: OCR technology which will scan tourist's passports to help reducing check-in process. The tourist data can be analyzed for issuing the report and export to Immigration Bureau. This qualitative and quantitative research will divide the samples into two groups: Tourist accommodation operators for 32 persons and the tourist both males and females for 172 persons. The results of the study found that 84.3% of the Tourist accommodation operators are interested in trying on trial while the other group are accounted for 41.8%.

**Keyword:** Tourism, Check-in, Mobile Application, Scan, Passport, Optical Character Recognition: OCR

## บทนำ

จากอัตราการเติบโตด้านการท่องเที่ยวของประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงมากขึ้นทุก ๆ ปี ข้อมูลล่าสุดที่รวบรวมโดยกองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา (22 มกราคม 2563) รวมถึงการเติบโตอย่างรวดเร็วของจังหวัดเมืองรองทุกจังหวัด เพราะได้รับการสนับสนุนดูแลจากรัฐบาลในการกระจายการท่องเที่ยวเพื่อเป็นการกระจายรายได้สู่เมืองรอง นอกจากนี้แล้วประเทศไทยยังมีการพัฒนาในระบบคมนาคมที่ดีมากขึ้นเช่นกัน อันเป็นการสนับสนุนให้การเดินทางที่เกิดขึ้นเป็นไปโดยง่ายจึงสามารถตอบโจทย์ด้านการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี อีกสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้ในวงจรการท่องเที่ยวคือ สถานที่พักอาศัย เช่น โรงแรม และ/หรือ โฮสเทล ดังนั้น รัฐบาลจึงมีข้อกำหนดเพื่อทำให้เกิดเป็นมาตรฐานการเข้าพัก อันเป็นการยืนยันตัวตนบุคคลที่เข้าเช็คอินที่พักอาศัยในประเทศไทย ซึ่งเป็นหน้าที่ของผู้ดำเนินการทางธุรกิจที่พักอาศัยจะต้องทำรายงานการเข้าพักชั่วคราวเพื่อส่งให้กับทางสำนักงานตรวจคนเข้าเมืองทราบเพื่อให้เป็นตามข้อกำหนดตามกฎหมาย มาตราที่ 38 และ มาตราที่ 77 (พรบ.คนเข้าเมือง พ.ศ. 2522)

แม้ว่าทางผู้ประกอบการที่พักอาศัยในแหล่งท่องเที่ยวจะยินดีปฏิบัติตามข้อกำหนดที่รัฐได้จัดตั้งขึ้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน คือ การเช็คอินเพื่อเข้าพักนั้น ทางโรงแรมจะให้ผู้เข้าพักเป็นผู้กรอกแบบฟอร์มชี้แจงการเข้าพัก และเจ้าหน้าที่โรงแรมจะขอทำสำเนาพาสปอร์ตเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน จากนั้นเจ้าหน้าที่โรงแรมต้องนำข้อมูลจากแบบฟอร์มไปกรอกเข้าระบบเพื่อนำส่งสำนักงานตรวจคนเข้าเมือง ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาในการทำขั้นตอนทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความล่าช้าของข้อมูล และอาจจะมีข้อผิดพลาดจากตัวบุคคล (Human Error Data) และอีกปัญหา คือ การทำสรุปข้อมูลการเข้าพักในรูปแบบรายงานซึ่งต้องให้พนักงานทำงาน

ซ้ำซ้อน และต้องใช้ทักษะในการนำเสนอรายงานให้ผู้บริหารรับทราบ ผลจากการสำรวจและศึกษาขั้นตอนการเช็คอินในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับรูปแบบการใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน

ด้าน	หัวข้อปัญหา	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	
		ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน	แบบดั้งเดิม
แรงงาน	การเก็บข้อมูลนักท่องเที่ยว	ทำการสแกนผ่านแอปพลิเคชันได้ทันที	ให้นักท่องเที่ยวกรอกข้อมูลลงแบบฟอร์ม
	การทำรายงานสรุปการเข้าพัก	ออกรายงานสรุปได้ทันที	ใช้แรงงานพนักงานในการรวบรวมและทำสรุปรายงาน
เวลา	ระยะเวลาในการทำรายงานส่งสำนักงาน ตรวจคนเข้าเมือง	< 30 นาที	~5 ชั่วโมง
	ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลนักท่องเที่ยว	< 5 นาทีต่อคน	5 - 10 นาทีต่อคน
	การค้นหาข้อมูลนักท่องเที่ยว ประวัติการเข้าพัก	< 5 นาที	10 - 20 นาที
ทรัพยากร	การกรอกข้อมูลวัตถุประสงค์การเข้าพัก	< 5 นาทีต่อคน	5 - 10 นาทีต่อคน
	การทำสำเนาหนังสือพาสปอร์ต	ใช้การถ่ายรูปเก็บข้อมูล	ทำสำเนาโดยเครื่องถ่ายเอกสาร
	พื้นที่การจัดเก็บเอกสาร	เก็บในรูปแบบดิจิทัลไฟล์	ใช้พื้นที่ห้องที่ว่าง

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าข้อมูลนำเสนอใน 3 ด้าน คือ ด้านแรงงาน ด้านเวลา และด้านทรัพยากร ด้านแรงงานคือขั้นตอนต่าง ๆ ที่พนักงานโรงแรมต้องดำเนินการ เช่น การเก็บข้อมูลนักท่องเที่ยว การทำรายงานสรุปการเข้าพัก ซึ่งต้องใช้แรงงานในการทำและเกิดการท้งานซ้ำซ้อนหรือเกิดความผิดพลาดจากข้อมูลได้ ด้านเวลาเมื่อเปรียบเทียบจากรูปแบบดั้งเดิม ระยะเวลาที่สิ้นเปลือง คือ การที่พนักงาน ณ โต๊ะเช็คอินต้องรอนักท่องเที่ยวกรอกข้อมูลในแบบฟอร์ม ซึ่งข้อมูลของนักท่องเที่ยว เช่น ชื่อ นามสกุล สัญชาติ เลขที่พาสปอร์ต วันเดือนปีเกิด ปลายเซ็น จะมีปรากฏอยู่ในพาสปอร์ตแล้วหากมีการนำข้อมูลในพาสปอร์ตนั้นมาแปลงและจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลได้ ก็จะช่วยลดเวลาในขั้นตอนนี้เป็นอย่างมาก ในส่วนของการใช้ทรัพยากร จะเห็นได้ว่า ปัญหาหลักคือ กระดาษที่ใช้เป็นแบบฟอร์ม และ กระดาษที่ใช้ทำสำเนาพาสปอร์ต หากพิจารณาจำนวนกระดาษที่ต้องใช้ต่อนักท่องเที่ยว 1 คน จะได้ว่าจะต้องใช้กระดาษอย่างต่ำ 2 แผ่น ดังนั้น หากมีการเข้าพัก 100 คนในหนึ่งวัน จะต้องใช้กระดาษอย่างต่ำ 200 แผ่น ซึ่งจะต้องมีที่จัดเก็บไว้เพื่อใช้ในอนาคตได้อีก นอกจากนี้ หากต้องการค้นหาข้อมูลเก่า ก็จะมีควมยากลำบากในการค้นหาเพราะข้อมูลเก็บในกระดาษที่มีเป็นจำนวนมาก แต่หากเก็บข้อมูลเป็นดิจิทัลไฟล์ จะสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและไม่มีการเสื่อมสลายของสื่อที่ใช้เก็บข้อมูลตามกาลเวลา

เทคนิคการแปลงข้อมูลจากรูปภาพให้เป็นข้อมูลตัวอักษร มีชื่อเรียกตามหลักสากลว่า Optical Character Recognition หรือ OCR กล่าวคือ การแปลงไฟล์ภาพเอกสาร ให้เป็นไฟล์ข้อความโดยอัตโนมัติ ทำให้ผู้ที่ต้องการข้อมูลนั้น ๆ ไม่ต้องเสียเวลาพิมพ์ข้อมูล แต่สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ในการอ่านรูปภาพจากกล้องสมาร์ทโฟน (Smartphone) ซึ่งในการวิจัยนี้จะนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้งานในการอ่านหน้าพาสปอร์ตตามมาตรฐาน Passport Standards ของ INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION หรือ ICAO และ

แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลเพื่อเก็บเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมการถอดรหัสจาก NFC ที่อยู่ในเล่มพาสปอร์ต

การพัฒนาแอปพลิเคชันจะใช้ในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันโดยดำเนินการพัฒนาในรูปแบบ Native iOS ก่อน พัฒนาโดยภาษา Swift 3 เพื่อการเข้าถึง NFC ต้องใช้อุปกรณ์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 13 ขึ้นไป และรองรับการอ่าน NFC โดยขั้นตอนในการใช้งานแอปพลิเคชัน (เอกสารแนบ ก: Application Flowchart) การเก็บข้อมูลจะใช้การเก็บบน Firebase Realtime Database ซึ่งเป็น JSON Object Collections (เอกสารแนบข: Database Collections) และมีหน้าจอสำหรับแอดมินเพื่อการแสดงผลข้อมูลรายงานการเข้าพัก(เอกสารแนบ ค: หน้าจอแอดมิน)

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบทะเบียนผ่านโมบายแอปพลิเคชันเพื่อเก็บข้อมูลนักท่องเที่ยวที่เข้าพักที่ต่าง ๆ
2. เพื่อพัฒนาระบบการจ่ายข่าวสารด้านสถานที่ท่องเที่ยวและสินค้าโอท็อปที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่พักของนักท่องเที่ยวแต่ละราย
3. เพื่อทำรายงานข้อมูลนักท่องเที่ยวส่งสำนักงานตรวจคนเข้าเมืองได้ง่ายขึ้นในรูปแบบไฟล์ .xls หรือ .xlsx

## วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาเรื่อง “โมบายแอปพลิเคชันเพื่อลงทะเบียนนักท่องเที่ยวที่เข้าพักโรงแรมด้วยเทคโนโลยี การรู้จำตัวอักษรด้วยแสง” เป็นทั้งการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) และการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยว โรงแรมและโฮสเทล วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย จะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 32 คน สำหรับกลุ่มนักท่องเที่ยว จะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบลูกโซ่ (Snowball Sampling) จำนวน 172 คน

การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวที่เข้ามาพักที่ประเทศไทย จังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดสุรินทร์ ปี พ.ศ.2562 จำนวน 4,123,959 คน (กองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา, 2562) ตามหลักเกณฑ์การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามระดับนัยสำคัญตามสูตรของ Taro Yamane (Yamane, 1976) โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และความคลาดเคลื่อนที่ระดับ ร้อยละ  $\pm 7$  ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากสูตร Taro Yamane คือ 204 คน

จากการสุ่มตัวอย่าง กลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทลได้ผู้ร่วมโครงการทั้งสิ้น 32 คน และกลุ่มนักท่องเที่ยวได้ผู้ร่วมโครงการทั้งสิ้น 172 คน การเก็บข้อมูลจากกลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทลใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interviewing) การเก็บข้อมูลจากนักท่องเที่ยวใช้วิธีการตอบแบบสอบถาม (Questionnaire)

ในขั้นตอนของการออกแบบสัมภาษณ์ (Interview Questionnaire Design) สำหรับกลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบแบบสัมภาษณ์และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบสัมภาษณ์ก่อนนำไปทดสอบจริง โดยได้นำแบบสัมภาษณ์ไปทดสอบความเข้าใจในการตอบแบบสัมภาษณ์กับกลุ่มทดสอบ (Pilot Test) จำนวน 10 คน โดยได้ผลสรุปตอบตามหัวข้อที่ให้สัมภาษณ์ได้ ร้อยละ 95 และมีการปรับคำถามบางหัวข้อให้สมบูรณ์ก่อนนำไปสัมภาษณ์จริง

## ผลการศึกษา

ผลการศึกษานี้จะแบ่งจำแนกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการที่ได้จากกลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล และผลการที่ได้จากกลุ่มนักท่องเที่ยว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลการศึกษาจากกลุ่มสถานประกอบการที่พักนักท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล ทางผู้วิจัยนำเสนอตัวต้นแบบโมบายแอปพลิเคชันที่เป็นเครื่องมือในการบันทึกข้อมูลนักท่องเที่ยวที่เข้าพักทดแทนขั้นตอนในรูปแบบเดิมที่กรอกแบบฟอร์มการเข้าพัก เจ้าหน้าที่ทางโรงแรมให้ความสนใจในการใช้งานแทนรูปแบบเดิม สูงสุดเป็นลำดับที่ 1 คิดเป็น ร้อยละ 84.3 การใช้งานผ่านรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันช่วยลดปัญหาการออกรายงานการเข้าพักได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำเพื่อรายงานผู้บริหารโรงแรม คิดเป็นร้อยละ 81.2 ช่วยอำนวยความสะดวกในการออกรายงานนำส่งสำนักงานตรวจเข้าเมืองคิดเป็น ร้อยละ 78.1 และให้ความสำคัญในการลดต้นทุนในการบริหารแรงงานและเวลา โดยช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เช่น ค่ากระดาษ ค่าทำสำเนา เครื่องถ่ายเอกสาร ค่าการจัดเก็บเอกสาร คิดเป็น ร้อยละ 75 ช่วยลดขั้นตอนการเช็คอิน คิดเป็น ร้อยละ 53.1 จากการทำการทดสอบแอปพลิเคชันทางผู้ใช้งานให้ข้อเสนอแนะ คือต้องการใช้เชื่อมข้อมูลพาสปอร์ตของนักท่องเที่ยวกับระบบของสำนักงานตรวจคนเข้าเมืองเพื่อป้องกันการปลอมแปลงพาสปอร์ต ช่วยรัฐบาลในการยืนยันตัวตนของนักท่องเที่ยวในกรณีที่ เป็นผู้ร้ายหรือผู้หลบหนีเข้าประเทศทางรัฐบาลจะได้รับการแจ้งเตือนที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ช่วยเพิ่มความปลอดภัยของผู้เข้าพักท่านอื่น ช่วยเพิ่มความมั่นใจในการเข้าพักของนักท่องเที่ยวทำให้ภาพรวมการท่องเที่ยวมีความปลอดภัยยิ่งขึ้น อีกทั้งช่วยลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นเช่น การจัดเก็บเอกสาร การทำสำเนาพาสปอร์ต และช่วยประหยัดเวลาในการเช็คอิน ลดขั้นตอนการกรอกแบบฟอร์มไม่สิ้นเปลืองกระดาษ

ผลการศึกษาจากกลุ่มนักท่องเที่ยว จากจำนวน 172 คน เป็นเพศชาย จำนวน 89 คน และเพศหญิง จำนวน 83 คน โดยอายุของกลุ่มนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 20-35 ปี ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ที่กำลังศึกษาปริญญาตรีและจบระดับปริญญาตรี ส่วนใหญ่เป็น นักศึกษา รายได้ส่วนใหญ่ของกลุ่มประชากรอยู่ที่ 15,001 – 50,000 บาท โดยนำต้นแบบแอปพลิเคชันควบคู่กับการกรอกข้อมูลส่วนตัวเบื้องต้น โดยทดสอบให้ทดลองใช้งานแอปพลิเคชันกับกลุ่มทดลอง กลุ่มผู้ใช้งานสนใจทดลองใช้สูงสุดเป็นลำดับ 1 คิดเป็นร้อยละ 41.8 และไม่สนใจไม่ใช้งาน เป็นลำดับที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 32.5 และไม่แน่ใจที่จะทดลองใช้เป็นลำดับที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 25.5 กลุ่มผู้ใช้งานคิดว่าการใช้แอปพลิเคชันมาทดแทนการใช้งานบางที่เกินความจำเป็น เนื่องจากมีแอปพลิเคชันทดแทนที่หลากหลาย รวมไปถึงการค้นหาจากกูเกิ้ล (Google Search Engine) ก็เพียงพอต่อการหาข้อมูลการท่องเที่ยว เช่น สถานที่พัก ร้านอาหาร ร้านค้า สิ่งอำนวยความสะดวก การเดินทางโดยยานพาหนะ เป็นต้น อีกทั้งนักท่องเที่ยวขอตรวจสอบสถานที่ที่เกี่ยวข้องโดยการถามผู้ที่พำนักอาศัยอยู่ในบริเวณนั้น เช่น การสอบถามจากพ่อค้าแม่ค้า เจ้าหน้าที่โรงแรม แผ่นป้ายประกาศต่าง ๆ การนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยวในบริเวณโดยรอบกลุ่มผู้ใช้งานสนใจที่จะไปสถานที่นั้นเป็นลำดับที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 36.6 ไม่แน่ใจที่จะไป คิดเป็นร้อยละ 34.8 และไม่ไปเป็นลำดับที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 28.4 กลุ่มผู้ใช้งานส่วนมากให้ข้อเสนอแนะว่าข้อมูลอาจไม่ถูกต้องและไม่กล้าไป เพราะไม่มีการเสนอแนะ ต้องการความเชื่อมั่นจากสถานที่แห่งนั้นว่าดีจริง หรือมีอะไรที่ควรค่าแก่การไป ต้องการข้อมูลสนับสนุนมากขึ้น จึงต้องไปค้นหาจากพันทิพย์หรือการรีวิวต่าง ๆ เช่น เว็บไซต์การท่องเที่ยว ยูทูป การบอกต่อปากต่อปาก

## สรุป

จากผลการศึกษาข้างต้นใน 2 มุมมอง มุมมองแรกคือกลุ่มสถานประกอบการที่พนักงานท่องเที่ยวโรงแรมและโฮสเทล พบว่ามีความสนใจในรูปแบบการลงทะเบียนการเข้าพักของนักท่องเที่ยวในรูปแบบใหม่ มีความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่เพื่อนำมาใช้กับธุรกิจของตน แต่อาจจะต้องใช้เวลาในการศึกษาเพิ่มเติมก่อนตัดสินใจ หรืออาจต้องมีการทดลองใช้งานในระยะแรก เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่พนักงานของตน และสนใจในด้านความปลอดภัย หากเชื่อมข้อมูลกับภาครัฐได้ เช่น ข้อมูลพาสปอร์ต เพราะจะช่วยยกระดับความปลอดภัย คัดกรองผู้เข้าพักได้ ทำให้โรงแรมมีภาพลักษณ์ที่ดี และ ช่วยลดต้นทุนที่เกินความจำเป็นไม่ว่าจะเป็น ภาระค่า การทำสำเนา จากเครื่องถ่ายเอกสาร พื้นที่ในการจัดเก็บเอกสาร รวมไปถึงลดความผิดพลาดที่เกิดจากตัวพนักงานในการทำทะเบียน ผู้เข้าพัก มุมมองที่ 2 คือกลุ่มนักท่องเที่ยว หากมีการเพิ่มทางเลือกแอปพลิเคชัน ทำให้มีการเปรียบเทียบจากแอปพลิเคชันเดิมที่ตนเองคุ้นเคย คนส่วนใหญ่จะกลัวการเปลี่ยนแปลงเพราะไม่เข้าใจการใช้งานไม่สนใจที่จะโหลดมาเพื่อทดลองใช้ โดยผลการศึกษาของผู้วิจัยครั้งนี้ เป็นเพียงการศึกษารูปแบบการนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยวให้รูปแบบการการแสดงผลข้อมูลแตกต่างไปจากเดิม โดยการนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เกิดเป็นนวัตกรรมสร้างสรรค์ให้แก่สังคมและช่วยทำให้เกิดเทคโนโลยีสีเขียวที่ช่วยลดปัญหาการไร่กระดาษ และทดแทนการใช้เครื่องถ่ายเอกสาร

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณผู้วิจัยกลุ่มธุรกิจโรงแรมและโฮสเทลที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ อริชรา นวพงศ์ นิติศปริญญาโท สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำแนวคิด ข้อมูลการท่องเที่ยว และให้กำลังใจในการทำการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกคนที่ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ การหาข้อมูล รวมไปถึงการติดต่อกับผู้ใหญ่ที่กรมการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้สัมภาษณ์ทุกท่านรวมทั้งนักท่องเที่ยวทุกท่านจากใจจริง

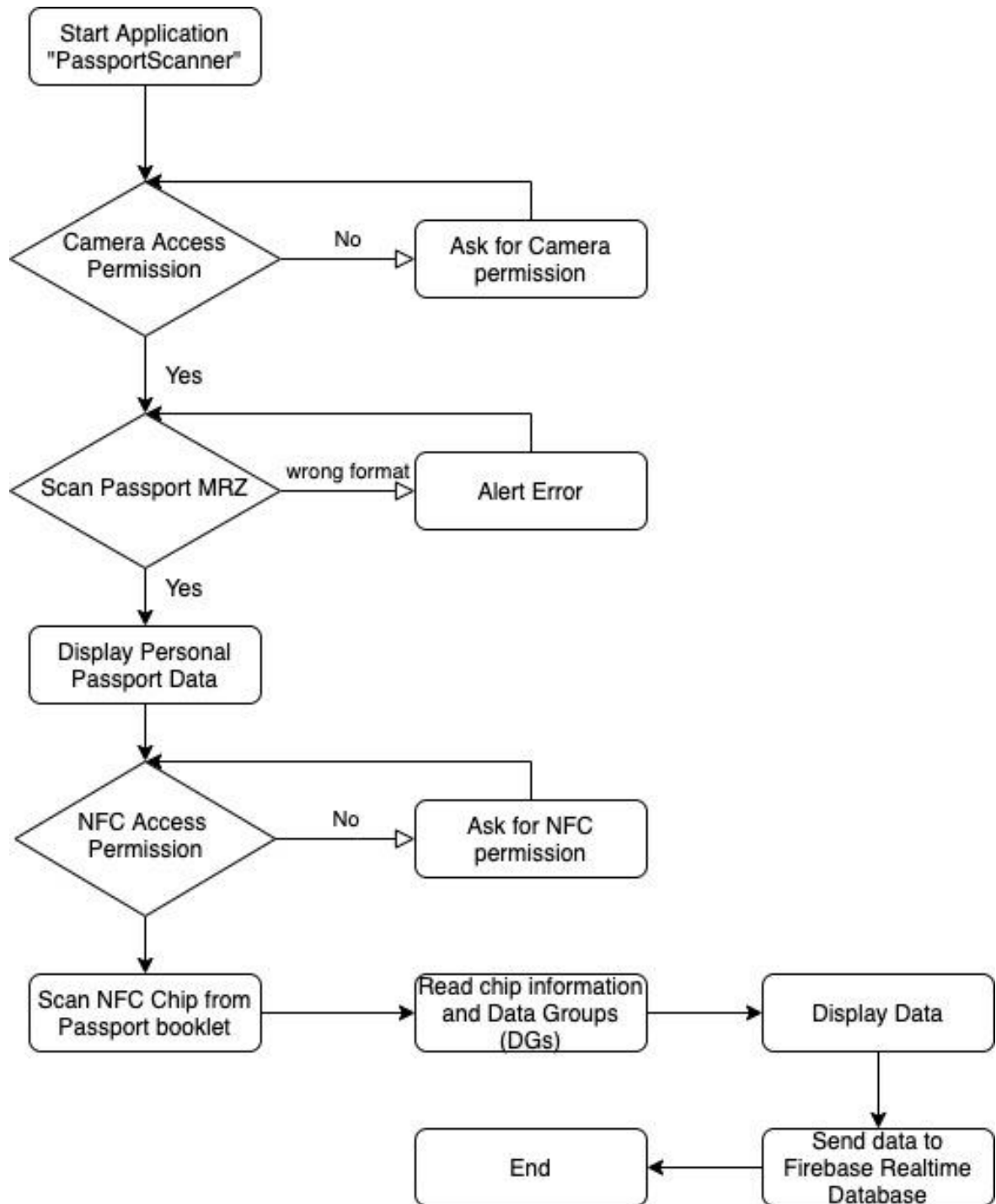
## เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ. (2562). แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2560 - 2564) [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [https://secretary.mots.go.th/ewtadmin/ewt/policy/download/article/article\\_20170509151402.pdf](https://secretary.mots.go.th/ewtadmin/ewt/policy/download/article/article_20170509151402.pdf) (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)

กรมการท่องเที่ยว. (2562). แผนยุทธศาสตร์พัฒนาการท่องเที่ยว พ.ศ. 2561 - 2564 ของกรมการท่องเที่ยว [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://www.dot.go.th/storage/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99/5V7jtvCF7hvNiPXPU7MOdT7giHiF1ZbRokN8nBVx.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)

- เสถียรธิดานันท์, สุทธิพร. (2561). Innovation Study on the Existence of Hostel in Thailand; นวัตกรรมการศึกษา : การดำรงอยู่ของโฮสเทลในสังคมไทย. คณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร , 2560.
- ระบบสารสนเทศสำนักงานตรวจคนเข้าเมือง. (2562). ระบบแจ้งที่พักสำหรับสถานประกอบการ [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [http://bangkok.immigration.go.th/2notice/tm30\\_manual.pdf](http://bangkok.immigration.go.th/2notice/tm30_manual.pdf) (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)
- สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2562). พระราชบัญญัติคนเข้าเมือง พ.ศ. 2522 [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.krisdika.go.th/home> (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)
- สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2562). พระราชบัญญัติโรงแรม พ.ศ. 2547 [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.krisdika.go.th/home> (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2562). TAT SMART API [ระบบออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://developers.tourismthailand.org/console/> (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2562)
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. (2015). "Doc 9303 Machine Readable Travel Documents Seventh Edition". INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2015.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. (2015). "Machine Readable Travel Documents Part 3: Specifications Common to all MRTDs Seventh Edition". INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2015.
- Yamane, Taro. (1976). *Statistics: An introductory analysis* (2nd ed.). New York: Harper and Row

เอกสารแนบ ก: Application Flowchart



## เอกสารแนบ ข: Database Collections

The screenshot shows the Google Cloud Firestore console. The database is named 'Cloud Firestore'. Under the 'Data' tab, a collection named 'tourists' is visible. A document within this collection is selected, showing the following fields and values:

- dateHotelRegister: "03032020"
- dateOfBirth: "04211991"
- dateOfIssue: "09032020"
- expireDateOfStay: "03302021"
- firstName: "ALEX"
- lastName: "JEAN"
- middleName: ""
- nationality: "SGP"
- passportNo: "L39939000"
- pointOfEntry: "00S07"
- relation: "Customer"
- sex: "M"
- tmNo: "TM29899"
- typeOfVisa: "03"

## เอกสารแนบ ค: หน้าจอแอดมิน

The screenshot displays the 'Welcome! CUTIP Tourists Management System' dashboard. It features several key metrics and visualizations:

- Total Tourists:** 1,536
- Profit:** 328,500
- Growth:** 185%
- Revenue:** 528,500

Two charts are shown:

- Number of Tourists:** A bar chart showing the number of tourists by day of the week. The data is as follows:
 

Day	Number of Tourists
Mon	~10
Tue	~50
Wed	~200
Thu	~350
Fri	~400
Sat	~350
Sun	~250
- By Countries:** A pie chart showing the distribution of tourists by country. The data is as follows:
 

Country	Percentage
USA	~45%
Germany	~15%
France	~10%
Canada	~10%
Russia	~5%
Other	~15%

A table titled 'All Tourist Result' provides a list of tourist details:

First name - Middle Name - Last Name	Sex	Nationality	Passport No.	Date of Issue	Purpose of Stay
ALEX JEAN	M	SGP	L3993900	10/03/2020	Business
ANNA LEE	F	SGP	L39828919	10/03/2020	Business
SJI LIU	F	CHN	G5942550	27/02/2020	Travel
MEI ZHANG	F	CHN	G36963328	27/02/2020	Travel
LINLIN PAN	F	CHN	G39636381	27/02/2020	Travel
JIRAROJ SOUDDRN	M	THA	AA8309017	02/01/2020	Business

At the bottom, social media engagement metrics are displayed:

- Facebook: 8,268 Likes
- YouTube: 12,545 Subscribers
- Twitter: 7,982 Tweets
- LinkedIn: 9,658 Followers



# ไมโครไบโอมในระบบทางเดินอาหารของจระเข้หน้าจืดสยาม (*Crocodylus siamensis*) ในแหล่งเพาะเลี้ยง และความสัมพันธ์ต่อโรคภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก

## Digestive Tract Microbiome in Captive *Crocodylus siamensis* and Correlation with Metabolic Bone Disease

ตุลยวัต ประสงค์มณีรัตน์<sup>1,2</sup>, วรธน สวัสดิ์วงษ์<sup>3,4</sup>, กรสรวง จิ่งถาวรณ<sup>1,2</sup>, ภาณุพน ถวิลประวีติ<sup>5</sup>, ณรงค์ฤทธิ์ เมืองใหม่<sup>6</sup>, สุรินทร์ ปิยะโชคณากุล<sup>1</sup>, ยศพงษ์ เต็มศิริพงษ์<sup>7</sup>, สัญชัย พงษ์ภร<sup>3,4</sup> และ ครุศร ศรีกุลนาถ<sup>1,2,8,9,10</sup>

Tulyawat Prasongmaneerut<sup>1,2</sup>, Vorthon Sawaswong<sup>3,4</sup>, Kornsuang Jangtarwan<sup>1,2</sup>, Panupon Twilprawat<sup>5</sup>, Narongrit Muangmai<sup>6</sup>, Surin Peyachoknaguland<sup>1</sup>, Yosapong Temsiripong<sup>7</sup>, Sunchai Payungporn<sup>3,4</sup> and Kornsorn Srikulnath<sup>1,2,8,9,10</sup>

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงจระเข้เพื่อการค้าประสมปัญหาการเกิดโรคภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากภาวะทุพโภชนาการ ทำให้มีการเจริญหรือซ่อมแซมความเสียหายผิดปกติ จนเกิดเป็นความพิการถาวร ซึ่งปัญหานี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วยการปรับโภชนาการให้เหมาะสม แต่การแก้ปัญหาโดยผู้เลี้ยงบางครั้งก็ไม่ได้ผล ไมโครไบโอมหรือจุลินทรีย์ที่อาศัยภายในตัวสัตว์ พบว่าสามารถส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดโรคทางกระดูกและมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญของกระดูกได้ การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเป้าไปที่

<sup>1</sup>ห้องปฏิบัติการเซลล์พันธุศาสตร์สัตว์และจีโนมเชิงเปรียบเทียบ ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Laboratory of Animal Cytogenetics and Comparative Genomics (ACCG), Department of Genetics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยพิเศษจีโนมสัตว์ป่า ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Special Research Unit for Wildlife Genomics, Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>3</sup>ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>4</sup>ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ด้านชีววิทยาเชิงระบบ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Center of Excellence in Systems Biology, Chulalongkorn University (CUSB), Bangkok 10330, Thailand

<sup>5</sup>ศูนย์วิทยาศาสตร์โอมิกส์และชีวสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Omics Science and Bioinformatics Center, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>6</sup>ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>7</sup>ศูนย์วิจัยและพัฒนา บริษัท ศรีราชา โมด้า จำกัด ชลบุรี 20230 ประเทศไทย

R&D Center, Sriracha Moda Co., Ltd., Sriracha, Chonburi 20230, Thailand

<sup>8</sup>ศูนย์วิทยาการขั้นสูงด้านทรัพยากรธรรมชาติเขตร้อน มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Center for Advanced Studies in Tropical Natural Resources (CASTNAR), National Research University-Kasetsart University (NRU-KU), Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>9</sup>ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand

<sup>10</sup>ศูนย์วิทยาศาสตร์โอมิกส์เพื่อ การเกษตร ทรัพยากรชีวภาพ อาหาร และสุขภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

Omics Center for Agriculture, Bioresources, Food and Health, Kasetsart University (OmiKU), Bangkok 10900, Thailand

การศึกษาเมทาจีโนมของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของจระเข้สยามที่แสดงลักษณะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก เทียบกับกลุ่มปกติ เพื่อระบุชนิดจุลินทรีย์ที่อาจจะก่อโรคหรือความแตกต่างทางไมโครไบโอมที่อาจลดหรือเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติ ผลการศึกษาพบว่าแบคทีเรียกลุ่มใหญ่ในระบบทางเดินอาหาร 5 ไฟลัม ประกอบด้วย Firmicutes, Proteobacteria, Tenericutes, Bacteroidetes และ Fusobacteria พบเฉลี่ย 50%, 19.6%, 9.5%, 8.1% และ 4.2% ตามลำดับ โดยมีเพียงไฟลัม Tenericutes ที่พบความแตกต่างระหว่างจระเข้ 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของอนุกรมวิธานระดับชั้นพบความแตกต่างในกลุ่ม Gammaproteobacteria ในระดับวงศ์ *Mycoplasmataceae* และ *Clostridiaceae* เป็นกลุ่มหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างในปริมาณแบคทีเรียระหว่างกลุ่มจระเข้ ซึ่งในการศึกษานี้พบปริมาณ *Mycoplasmataceae* และ *Clostridiaceae* มากในกลุ่มที่มีความผิดปกติของกระดูก โดย *Mycoplasmataceae* มีรายงานถึงความสามารถในการก่อโรคเกี่ยวกับกระดูกได้ ในการวิเคราะห์ความหลากหลายและโครงสร้างประชากรของแบคทีเรียในแต่ละอวัยวะของทางเดินอาหารพบความแตกต่างที่กระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่ ตรงกับอวัยวะที่พบความแตกต่างด้านปริมาณของ *Clostridiaceae* และ Gammaproteobacteria บ่งชี้ถึงภาวะความไม่สมดุลของจุลินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจระเข้ 2 กลุ่ม ซึ่งอาจสัมพันธ์กับภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก

**คำสำคัญ :** จระเข้ น้ำจืด สยาม, ไมโครไบโอม, ภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก, กระดูกสันหลังคด, ภาวะความไม่สมดุลของจุลินทรีย์

## Abstract

Metabolic bone disease (MBD) is currently a prevalent problem in crocodile industry, even though this disease is known to be caused by malnutrition, the attempt to prevent disease by adjusting to proper diet were futile, as the metabolic bone disease still occur. Studies in digestive tract microbiome reveal a link between microbe community and risk of acquiring bone-related disease including influence the rate of bone growth and absorption of nutrition important for bone development. In this study, we investigated the metagenome within Siamese crocodile digestive tract comparing between normal group and those suffer from MBD and detect potential microbes and differences in microbiome that may correlate with MBD. The results indicated Firmicutes, Proteobacteria, Tenericutes, Bacteroidetes and Fusobacteria at 50%, 19.6%, 9.5%, 8.1% and 4.2% respectively as dominant bacterial phyla. Firmicutes were the most abundance bacterial phylum in both normal and MBD groups with only Tenericutes showed statistically significant difference. At lower taxonomic level Gammaproteobacteria, *Mycoplasmataceae* and *Clostridiaceae* were main contributor to difference in abundance between 2 groups. *Mycoplasmataceae* and *Clostridiaceae* were found higher in MBD group, in which *Mycoplasmataceae* was reported to influence in causing bone disease. Alpha and beta diversity analyses indicated different microbe composition between 2 groups in stomach and colon tissues which correlated with difference in abundance of *Clostridiaceae* and Gammaproteobacteria indicating potential dysbiosis correlate with health status.

**Keyword:** *Crocodylus siamensis*, microbiome, metabolic bone disease, Kyphoscoliosis, dysbiosis

## บทนำ

จระเข้เป็นหนึ่งในสัตว์เศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ในปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงจระเข้มากกว่าหนึ่งล้านตัวในแหล่งเพาะเลี้ยง สร้างงานและมูลค่าทางเศรษฐกิจเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเครื่องหนัง ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงจระเข้คือ โรค ซึ่งสร้างความเสียหายแก่ผู้เพาะเลี้ยง โรคสำคัญชนิดหนึ่งที่พบได้บ่อยในการเลี้ยงจระเข้คือ กลุ่มภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก ซึ่งเป็นการเจริญของกระดูกที่ผิดปกติ รวมถึงการซ่อมแซมที่ผิดปกติ และมีภาวะกระดูกพรุนร่วมด้วย (Huchzermeyer, 2002) สาเหตุหลักมาจากการได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูกนี้พบได้ง่ายในสัตว์เลี้ยงคัลานในแหล่งเพาะเลี้ยง เนื่องจากได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตไม่เพียงพอและขาดการเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในอาหาร (Klaphake, 2010) โดยทั่วไปสามารถแก้ไขความผิดปกตินี้ได้ด้วยการเพิ่มแหล่งแสงอัลตราไวโอเล็ต และปรับโภชนาการให้เหมาะสมก่อนถึงช่วงโตเต็มวัย อย่างไรก็ตามแม้จะมีการปรับโภชนาการที่ถูกต้องแล้ว แต่ยังสามารถพบความผิดปกติในแหล่งเพาะเลี้ยงได้ จึงอาจจะมีปัจจัยอื่นส่งผลต่อการเกิดโรค หรือความสามารถในการรักษาในจระเข้เพาะเลี้ยงเหล่านี้ ปัจจัยหนึ่งที่คาดว่าสามารถส่งผลต่อการเกิดและรักษาโรคได้นั้นคือ จุลชีพ และไม่โครโบโอมในระบบทางเดินอาหาร แม้ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานถึงจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรคกลุ่มภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูกโดยตรง แต่มีการศึกษาพบว่าจุลชีพสามารถทำให้เกิดความผิดปกติของการเจริญของกระดูกได้ (Hernandez et al., 2016) เมื่อรวมกับการศึกษาในด้านไม่โครโบโอม พบว่าสามารถส่งผลต่อการดูดซึมสารอาหาร และการเปลี่ยนแปลงมวลกระดูกของสิ่งมีชีวิตนั้นได้ การวิจัยเหล่านี้จึงบ่งชี้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จุลชีพ และไม่โครโบโอมในตัวสัตว์อาจส่งผลต่อการเกิดโรคกลุ่มภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก หรือขัดขวางการรักษาได้ ในการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาไม่โครโบโอมในระบบทางเดินอาหารของจระเข้ น้ำจืดสยามในแหล่งเพาะเลี้ยงด้วยการใช้เมทาจีโนมิกส์ เปรียบเทียบโครงสร้างจุลชีพระหว่างจระเข้ปกติและจระเข้ที่มีภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก

## วัตถุประสงค์

วิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของไม่โครโบโอม (Microbiome) ในระบบทางเดินอาหารของจระเข้ น้ำจืดสยาม (*Crocodylus siamensis*) ในแหล่งเพาะเลี้ยง ที่แสดงอาการของโรคภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก และจระเข้ที่แสดงลักษณะปกติ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ตัวอย่างจระเข้ที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างจระเข้สยาม (*Crocodylus siamensis*) ที่เพาะเลี้ยงได้จากฟาร์มจระเข้โมด้าศรีราชา ตัวอย่างจระเข้ที่ใช้ในแผนการทดลอง ใช้ตัวอย่างจระเข้ที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่ผิดปกติ 3 ตัว อายุ 4 ปี และใช้ตัวอย่างจระเข้ที่มีลักษณะผิดปกติจำนวน 3 ตัว อายุ 6 ปี ที่แสดงลักษณะกระดูกสันหลังคด (Kyphoscoliosis) และผ่านการปรับเปลี่ยนสูตรอาหาร รวมถึงการให้ยาปฏิชีวนะแต่ไม่ประสบผลสำเร็จในการรักษา จระเข้ที่ใช้ในการศึกษา

ครั้งนี้ คัดแยกโดยสืบประวัติให้มาจากกลุ่มจระเข้เพาะเลี้ยงจากบ่อรวมเดียวกัน ผ่านการเลี้ยงด้วยสภาพแวดล้อมเดียวกัน ตัวอย่างจระเข้ทุกตัวจะ นำไปวิเคราะห์ไมโครไบโอม โดยตัดเนื้อเยื่อผิวหนังในระบบทางอาหาร 7 แห่ง ได้แก่ หลอดอาหาร (esophagus) กระเพาะอาหาร (stomach) น้ำในกระเพาะอาหาร (gastric juice) ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กส่วนปลาย (ilium) ลำไส้ใหญ่ (colon) และอุจจาระ (feces)

### 2. การสกัดดีเอ็นเอและการเพิ่มจำนวนสารพันธุกรรม

นำเนื้อเยื่อขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร จำนวนสามชิ้นจากอวัยวะเดียวกัน สกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัด Qiagen DNeasy PowerSoil Kit แล้วปรับความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่ได้ให้เท่ากับ 25 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ก่อนนำมาเพิ่มปริมาณด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ไพรเมอร์ 16S ของ ribosomal DNA (rDNA) gene (515F:5'-GTGCCAGCMGCCGCGGTAA-3' และ 806R: 5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3') นำผลจากการทำ PCR ไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยการทำ gel electrophoresis ตัดชิ้นเจลที่ขนาดตรงกับ 16S สกัดดีเอ็นเอจากเจลด้วย Vivantis GF-1 Gel DNA Recovery Kit นำผลที่ได้มาติด library indexing เพื่อการวิเคราะห์ ลำดับเบสด้วยเครื่อง illumina MiSeq นำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

### 3. การหาลำดับเบสด้วยเทคนิค next-generation sequencing และการวิเคราะห์ข้อมูล

นำ DNA library ที่เตรียมได้มาหาลำดับเบสด้วยเครื่อง MiSeq Illumina platform โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ โอมิกส์และชีวสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังจากได้ข้อมูลลำดับเบส จะนำข้อมูลไปคัดกรองคุณภาพ ลำดับเบส (>Q30) ในการศึกษาระบุชนิดของแบคทีเรีย ด้วยซอฟต์แวร์ QIIME 2 (version 2018.8) โดยเปรียบเทียบ ลำดับเบสกับฐานข้อมูล Greengenes

## ผลและวิจารณ์

ผลจากเมทาจีโนมิกส์ของระบบทางเดินอาหารของจระเข้ทั้ง 6 ตัว ได้จำนวนนิวคลีโอไทด์สายสั้นจำนวน 3,054,600 เส้น ซึ่งสามารถคัดกรองได้เป็น 398 OTUs การประเมินปริมาณแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหาร ด้วยการเปรียบเทียบแบบความชุกสัมพัทธ์ (relative abundance) รวมจากตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง พบกลุ่มแบคทีเรียที่มีสัดส่วนมากกว่า 1% จากปริมาณแบคทีเรียทั้งระบบทางเดินอาหาร มาจาก 5 ไฟลัม ประกอบด้วย Firmicutes, Proteobacteria, Tenericutes, Bacteroidetes และ Fusobacteria เฉลี่ยเท่ากับ 50%, 19.6%, 9.5%, 8.1% และ 4.2% ตามลำดับ โดยไม่พบแบคทีเรียกลุ่มใดที่จำเพาะต่อสุขภาพของจระเข้ ในการวิเคราะห์ความชุกสัมพัทธ์แยกตามกลุ่มสุขภาพ (รูปที่ 1) ความแตกต่างที่พบระหว่างกลุ่มปกติและกลุ่มที่เป็นโรคคือ ปริมาณแบคทีเรียในกลุ่ม Tenericutes ของตัวอย่างจระเข้เป็นโรคลงกลุ่มที่มีภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูกจะพบค่าเฉลี่ย 14% จากแบคทีเรียทั้งหมด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มปกติที่พบค่า 2.43% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kruskal-Wallis ANOVA,  $H = 4.3460$ ,  $P = 0.037$ ) (ตารางที่ 1) โดยอวัยวะที่มีความแตกต่างทางด้านปริมาณของ Tenericutes อย่างมีนัยสำคัญคือ หลอดอาหาร และลำไส้เล็กส่วนปลาย (paired t-test,  $t = 9.24$ ,  $5.89$ ;  $P < 0.01$ ) ในส่วนของอนุกรมวิธานระดับชั้น (class) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ Gammaproteobacteria และ Mollicutes โดยในส่วนของ Gammaproteobacteria พบที่ 21.80% ในกลุ่มที่ปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มเป็นโรคที่พบเพียง 0.86% ของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ความแตกต่างที่พบนั้น มาจากสามส่วน ประกอบด้วย หลอดอาหาร น้ำในกระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่ (paired t-test,  $t = -2.49$ ,  $-2.5$ , -

3.77;  $P = 0.038, 0.037, < 0.01$ ) สำหรับชั้น Mollicutes พบที่ 2.43% ในกลุ่มจะเข้ปกติ ขณะที่จะเข้กลุ่ม มีอาการของโรคพบที่ 12.26% โดยอวัยวะที่พบความแตกต่างคือหลอดอาหาร และลำไส้เล็กส่วนปลาย (paired t-test,  $t = 9.24, 5.89; P < 0.01$ ) ในอนุกรมวิธานระดับวงศ์จะพบความแตกต่างของปริมาณแบคทีเรียสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปกติและเป็นโรคในวงศ์ *Micrococcaceae*, *Odoribacteraceae*, *Bacillaceae*, *Enterococcaceae*, *Clostridiaceae*, *Ruminococcaceae*, *Moraxellaceae* และ *Mycoplasmataceae*

การศึกษาเปรียบเทียบในด้านความหลากหลายของแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหารโดย alpha diversity ด้วยดัชนี Shannon และ Simpson ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกอวัยวะ เมื่อเทียบระหว่างกลุ่มปกติและเป็นโรค การศึกษาความหลากหลายโดย beta diversity ด้วย PCoA UniFrac แบบ unweighted พบความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างกลุ่มปกติและเป็นโรคเพียงแคในลำไส้ใหญ่เท่านั้น ในส่วนของ PCoA UniFrac แบบ weighted พบความแตกต่างทั้งใน กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนปลายและลำไส้ใหญ่ ซึ่งบ่งชี้ว่าความแตกต่างในโครงสร้างกลุ่มประชากรแบคทีเรียระหว่างกลุ่มปกติและเป็นโรคนั้น มีทั้งในด้านชนิดและปริมาณในลำไส้ใหญ่ แต่ในกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กส่วนปลายนั้น ได้รับอิทธิพลจากปริมาณแบคทีเรียที่ต่างกัน การวิเคราะห์ Euclidean hierarchical clustering heatmap ในอนุกรมวิธานระดับชั้น (รูปที่ 2) ไม่พบความแตกต่างชัดเจนระหว่าง 2 กลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำจากกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กส่วนต้นมีการจัดกลุ่มกันอย่างใกล้ชิดทั้ง 2 กลุ่ม โดยมีเพียงกระเพาะอาหารและลำไส้ใหญ่ที่มีแนวโน้มจัดแยกกลุ่มตามสุขภาพ

จากผลการศึกษาลำดับต้น พบว่าแบคทีเรียที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกี่ยวข้องหรือส่งอิทธิพลต่อภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดุก คือ แบคทีเรียในไฟลัม Tenericutes, Firmicutes และ Proteobacteria โดยในส่วนของ Tenericutes นั้นส่วนใหญ่มาจากวงศ์ *Mycoplasmataceae* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคและมีความสามารถในการต้านยาปฏิชีวนะบางชนิด (Chernov et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงความเกี่ยวข้องกับการก่อโรคทางกระดุก เช่น โรคข้ออักเสบ โดยการติดเชื้อโดยตรงและอิทธิพลทางอ้อม (Li et al., 2013) ซึ่งอาการข้ออักเสบมักจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับภาวะกระดุกพุน (Heidari and Roushan, 2012) ซึ่งทั้งสองเป็นหนึ่งในอาการบ่งชี้ของโรคกลุ่มภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดุก (Klaphake, 2010) และจากการศึกษาลำดับต้นยังพบปริมาณของแบคทีเรีย *Mycoplasmataceae* ในกลุ่มที่เป็นโรคมมากกว่ากลุ่มปกติอย่างมีนัยสำคัญ ทางด้านของแบคทีเรียไฟลัม Firmicutes นั้นความแตกต่างจะพบที่ระดับวงศ์ของ *Clostridiaceae* ซึ่งเคยมีรายงานการศึกษาในเต่าซึ่งอยู่ในกลุ่มสัตว์เลื้อยคลานเช่นเดียวกับจะเข้ พบว่าแบคทีเรียในวงศ์ *Clostridiaceae* มีอิทธิพลต่อความหนาที่บของกระดอง (Rawski et al., 2016) ในส่วน Proteobacteria นั้นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญพบในชั้น Gammaproteobacteria ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ยังไม่พบรายงานที่สามารถส่งผลกระทบต่ออาการเจริญหรือก่อโรคทางด้านกระดุกได้ ทั้ง Gammaproteobacteria และ *Clostridiaceae* ซึ่งอยู่ในไฟลัม Proteobacteria และ Firmicutes พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่อวัยวะเดียวกัน คือ กระเพาะ และลำไส้ใหญ่ ในการศึกษาครั้งนี้ พบความหลากหลายและความแตกต่างของโครงสร้างประชากรแบคทีเรียระหว่างกลุ่มปกติและเป็นโรคที่กระเพาะ และลำไส้ใหญ่ เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงภาวะความไม่สมดุลของจุลินทรีย์ (dysbiosis) ในสองอวัยวะนี้โดยอาจมีแบคทีเรียในสองกลุ่มนี้เป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากแบคทีเรียในกลุ่ม Tenericutes แม้จะพบความแตกต่าง ในเชิงปริมาณมาก แต่ไม่พบความแตกต่างในสองอวัยวะนี้ ซึ่งภาวะความไม่สมดุลของจุลินทรีย์นี้สามารถส่งผล ได้หลายประการรวมถึง

รบกวนและเปลี่ยนแปลงการสร้างมวลกระดูกและการดูดซึมสารอาหารได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Hernandez et al., 2016)

## สรุป

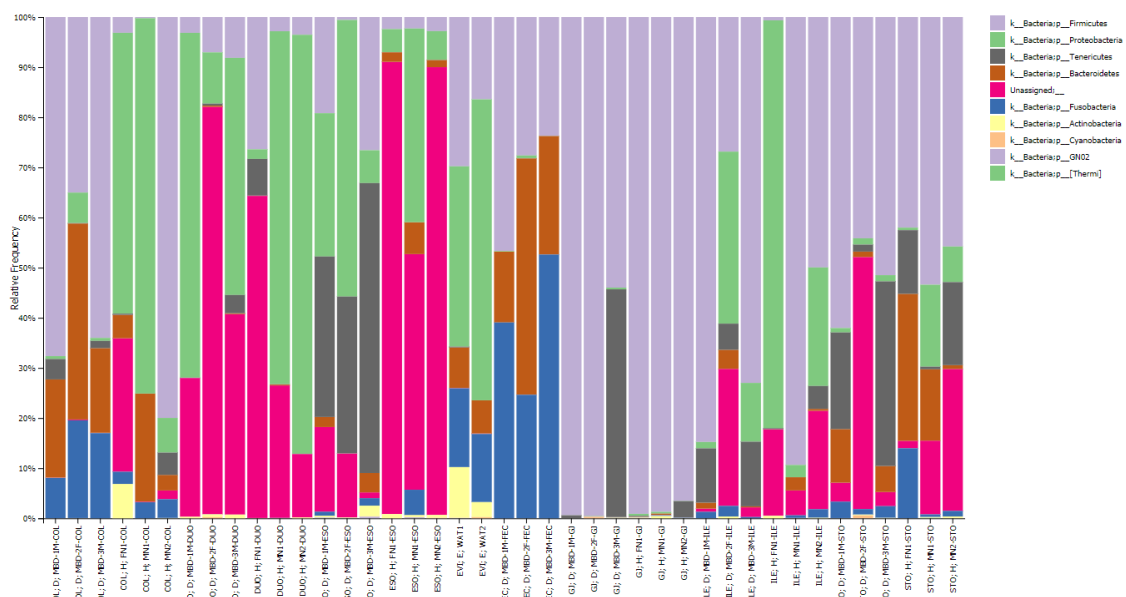
การวิจัยนี้เป็นครั้งแรกในการศึกษาไมโครไบโอมในระบบทางเดินอาหารของจระเข้ นำจัดสยามจากแหล่งเพาะเลี้ยง โดยแบคทีเรียที่คาดว่าอาจเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคกลุ่มภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก ในแหล่งเพาะเลี้ยงคือแบคทีเรียไฟลัม Tenericutes ในวงศ์ *Mycoplasmataceae* และไฟลัม Firmicutes วงศ์ *Clostridiaceae* รวมทั้งไฟลัม Proteobacteria ในชั้น Gammaproteobacteria ผ่านการส่งอิทธิพลหรือการติดเชื้อโดยตรง รวมทั้งอาจเกิดขึ้นจากภาวะความไม่สมดุลของจุลินทรีย์ในกระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่

## เอกสารอ้างอิง

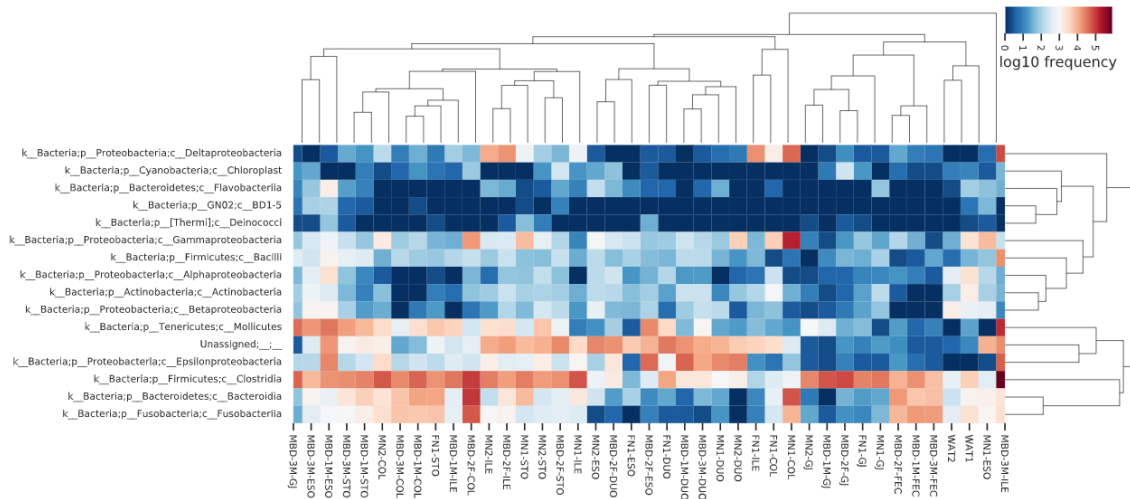
- Chernov, V. M., Chernova, O. A., Mouzykantov, A. A., Medvedeva, E. S., Baranova, N. B., Malygina, T. Y., Aminov, R. I. & Trushin, M. V. (2018). Antimicrobial resistance in mollicutes: known and newly emerging mechanisms. *FEMS microbiology letters*, 365(18), fny185.
- Heidari, B., & Roushan, M. R. H. (2012). Rheumatoid arthritis and osteoporosis. *Caspian journal of internal medicine*, 3(3), 445.
- Hernandez, C. J., Guss, J. D., Luna, M., & Goldring, S. R. (2016). Links between the microbiome and bone. *Journal of Bone and Mineral Research*, 31(9), 1638-1646.
- Huchzermeyer, F. W. (2002). Diseases of farmed crocodiles and ostriches. *Revue scientifique et technique-Office international des épizooties*, 21(1), 265-276.
- Klaphake, E. (2010). A fresh look at metabolic bone diseases in reptiles and amphibians. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 13(3), 375-392.
- Li, S., Yu, Y., Yue, Y., Zhang, Z., & Su, K. (2013). Microbial infection and rheumatoid arthritis. *Journal of clinical & cellular immunology*, 4(6).
- Rawski, M., Kieronczyk, B., Dlugosz, J., swiatkiewicz, S., & Jozefiak, D. (2016). Dietary probiotics affect gastrointestinal microbiota, histological structure and shell mineralization in turtles. *PLoS One*, 11(2).

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบไม่มีพารามิเตอร์ Kruskal-Wallis ANOVA ของความชุกสัมพันธ์แบคทีเรียในระดับไฟล์ัม ระหว่างกลุ่มจะเข้าปกติและแสดงอาการของโรครวมทั้งระบบทางเดินอาหาร พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในไฟล์ัม Tenericutes เพียงไฟล์ัมเดียว

ไฟล์ัม	H	df	p
Unassigned	3.0508	1	0.081
Actinobacteria	3.4606	1	0.063
Bacteroidetes	0.4018	1	0.526
Cyanobacteria	3.5458	1	0.060
Firmicutes	0.9722	1	0.324
Fusobacteria	1.1461	1	0.284
GN02	2.5686	1	0.109
Proteobacteria	2.5786	1	0.108
Tenericutes	4.3460	1	0.037 *
Deinococcus-Thermus	0.0282	1	0.867



รูปที่ 1 สัดส่วนปริมาณของแบคทีเรียในแต่ละไฟล์ล์ม ของตัวอย่างทั้งหมดแบ่งตามอวัยวะ (ESO = หลอดอาหาร, GJ = น้ำในกระเพาะอาหาร, STO = กระเพาะอาหาร, DUO = ลำไส้เล็กส่วนต้น, ILE = ลำไส้เล็กส่วนปลาย, COL = ลำไส้ใหญ่, FEC = อุจจาระ, WAT = ตัวอย่างน้ำบ่อเพาะเลี้ยง) กลุ่มสุขภาพ (H = สุขภาพดี, D = มีอาการของภาวะความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของกระดูก) และตัวอย่างจระเข้ (FN1,MN1,MN2,MBD-1M,MBD-2F,MBD-3M)



รูปที่ 2 Euclidean hierarchical clustering heatmap จากข้อมูลอนุกรมวิธานระดับชั้น (class) และปริมาณของแบคทีเรีย ไม่พบความแตกต่างชัดเจนระหว่าง 2 กลุ่มสุขภาพ (FN1,MN1,MN2 เทียบกับ MBD-1M, MBD-2F,MBD-3M) โดยโครงสร้างกลุ่มประชากร มีความใกล้เคียงกันตามแต่อวัยวะ ยกเว้นเพียงกระเพาะอาหาร (STO) และลำไส้ใหญ่ (COL) ที่มีความผันแปรกระจายตัวแตกต่างออกไป



# ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพเกล็ดขนมปังปลอดกลูเตนและการประยุกต์ในนั้กเก็ตไก่

## Some Factors Affecting the Qualities of Gluten-Free Bread Crumbs and Application in Chicken Nuggets

ฐิตาภา เหลือยเจริญ<sup>1</sup> และ ดวงใจ ธิธรรมถาวร<sup>1</sup>  
Titapa Leaujaroen<sup>1</sup> and Doungjai Thirathumthavorn<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

อาหารประเภทชุบทอดที่มีการเคลือบด้วยเกล็ดขนมปังได้รับความนิยมทั่วโลก แต่เกล็ดขนมปังโดยทั่วไปจะผลิตจากเนื้อในของขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีที่มีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งผู้ที่ป่วยเป็นโรคแพ้กลูเตน (Coeliac disease) จะไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของกลูเตน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังและเกล็ดขนมปังปลอดกลูเตน ได้แก่ ปริมาณนมผง น้ำตาล และยีสต์ รวมถึงการใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเจ้า จากการทดลองพบว่าปริมาณนมผงและน้ำตาลที่เหมาะสมช่วยทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มมากขึ้น การเติมยีสต์ในปริมาณที่มากเกินไปทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง การใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเจ้า ทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะมากกว่าสูตรที่เติมแป้งเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การตรวจสอบการกระจายของขนาดเกล็ดขนมปัง ความหนาแน่นเชิงกลุ่ม และร้อยละการเกาะติด ของเกล็ดขนมปังทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเมื่อนำไปประยุกต์ในนั้กเก็ตไก่ พบว่านั้กเก็ตที่เคลือบเกล็ดขนมปังสูตรที่มีนมผงและน้ำตาลปริมาณมากมีสีเข้มที่สุด

**คำสำคัญ :** เกล็ดขนมปัง อาหารปลอดกลูเตน นั้กเก็ตไก่

### Abstract

Deep-fried food with bread crumb coating is popular worldwide. Bread crumbs are made from the internal part of wheat bread that contain gluten. However, a person with celiac disease cannot consume gluten-containing food. The aim of this research is to investigate some factors (milk powder, sugar, yeast and the mixture of corn flour and rice flour) affecting the qualities of bread and bread crumbs. The results were found that the optimum amount of milk powder and sugar provided the higher specific volume of bread. The higher amount of yeast caused a lower specific volume. The specific volume of bread made from the mixture of corn flour and rice flour was higher than that of bread made from rice flour. All formulas of bread crumbs showed no significant difference in particle size distribution, bulk density and % pick up ( $p>0.05$ ). The application of bread crumbs prepared from bread containing high amount of milk powder and sugar for coating chicken nuggets showed the most brownish color.

**Keyword:** bread crumb, gluten-free food, chicken nuggets

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

อาหารหลายประเภท เช่น อาหารทะเล เนื้อสัตว์ และผัก สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ด้วยการเคลือบเกล็ดขนมปังทอด โดยเริ่มจากการนำชิ้นอาหารไปชุบด้วยแบตเตอร์ (batter coating) หรือการนำไปคลุกกับแป้งพรีดัสต์ (predust) แล้วจึงคลุกด้วยเกล็ดขนมปัง (bread crumbs หรือ breadier coating) แล้วทำการทอดหรืออบด้วยเตาอบ เกล็ดขนมปังสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งการให้ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ แก่อาหารที่นำมาเคลือบ อาหารประเภทที่มีการเคลือบด้วยเกล็ดขนมปังกำลังได้รับความนิยมในการบริโภคเป็นอย่างสูงทั้งต่างประเทศและภายในประเทศ โดยมีการจำหน่ายอยู่ในระบบฟู้ดเซอร์วิส ซึ่งได้แก่ ร้านอาหารฟาสต์ฟู้ดต่างๆ และจำหน่ายปลีกในรูปแบบของอาหารแช่เย็นหรือแช่แข็ง อย่างไรก็ตาม เกล็ดขนมปังโดยทั่วไปผลิตมาจากส่วนเนื้อใน (crumb) ของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวสาลี ซึ่งผู้ที่ป่วยเป็นโรคแพ้งลูเตน (Coeliac disease) จะไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gallagher, 2003) รวมถึงผู้บริโภคบางกลุ่มก็มีอาการแพ้แป้งสาลีเองด้วย จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกล็ดขนมปังแบบปลอดกลูเตน สำหรับผู้บริโภคเหล่านี้และผู้ผลิตเกล็ดขนมปังปลอดกลูเตนเชิงพาณิชย์ การไม่มีกลูเตนจึงทำให้ไม่สามารถสร้างร่างแหที่มีความยืดหยุ่นและกักน้ำที่ไม่สามารถอุ้มน้ำที่เย็นจัดสร้างชั้นระหว่างกระบวนการหมักไว้ได้ ขนมปังที่ได้จึงมักมีการขึ้นฟูน้อย ปริมาตรต่ำ เนื้อแน่นแข็ง ทำให้เมื่อนำไปทอดเป็นนึ่งกึ่งจะทำให้ผิวของนึ่งกึ่งแตกและแข็ง มีรายงานวิจัยศึกษาการใช้แป้งจากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น แป้งข้าว แป้งข้าวโพด (Wang, 2007) เพื่อผลิตขนมปังปลอดกลูเตน รวมถึงการนำไปปรับคุณภาพของขนมปังปลอดกลูเตน (Ziobro, 2016) แต่จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าเกล็ดขนมปังที่ได้มีสีเข้มเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในนึ่งกึ่งได้ จึงมีความจำเป็นต้องปรับลดนมผงและน้ำตาลที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Krupa-Kozak และคณะ, 2013) เพื่อให้ได้เกล็ดขนมปังที่มีสีเหลืองทองเมื่อนำไปทอดเป็นนึ่งกึ่ง และให้ความกรอบไม่แข็งจนเกินไป ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของเกล็ดขนมปัง รวมถึงต้องการศึกษาผลของยีสต์ จึงเป็นสาเหตุสำคัญในการศึกษาในครั้งนี้

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของปริมาณนมผง น้ำตาล และยีสต์ และอัตราส่วนแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพด ต่อคุณภาพของขนมปัง เกล็ดขนมปังปลอดกลูเตน และนึ่งกึ่งได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมขนมปังปลอดกลูเตน

เติมส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งในอ่างผสม ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า (ตรา ขนชม บริษัท วราวุธ อุตสาหกรรม จำกัด, ประเทศไทย) แป้งข้าวโพด (ตรากระต่าย บริษัท คิงส์ มิลลิ่ง จำกัด, ประเทศไทย) เกล็ด (ตรา ปรงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกล็ดบริสุทธ์, ประเทศไทย) นมผง (ตรา ฟาร์มนม บริษัท พีริเชิร์ฟฟู้ด สเปเชียลตี้ จำกัด, ประเทศไทย) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (METHOCEL K4M Food Grade, Vicchi Enterprise, Thailand) จากนั้นละลายยีสต์ผง (ตรา ซาฟ อินสแตนท์ บริษัท โซไซตี้ อินดัสเตรียล จำกัด, ประเทศฝรั่งเศส) และน้ำตาล (ตรา มิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย) ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เทผสมในอ่างผสมที่มีของแข็งอยู่ผสมให้เข้ากันเทน้ำมันปาล์ม (ตรา มรกต บริษัท ไชม่้ ดาร์บี้ ออยล์ มรกต จำกัด, ประเทศไทย) ผสมให้เข้ากัน และเทส่วนผสมลงในพิมพ์ขนมปังขนาด 8 นิ้ว ก่อนนำไปบ่ม

ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยผู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที นำออกจากพิมพ์ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นบนตะแกรง

การเตรียมเกล็ดขนมปังปลอดกลูเตน

นำขนมปังที่ผลิตได้มาพักจนเย็นลงที่อุณหภูมิห้องบรรจุในถุงพลาสติกใส่อากาศออกให้ถุงพลาสติกแนบผิวขนมปังและมัดปากถุงให้แน่น นำไปเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ 3-8 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง นำขนมปังออกจากตู้เย็นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนหายเย็นประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นตัดเปลือกขนมปังออกสไลด์ขนมปังหนา 1 นิ้ว และแบ่งออกเป็น 4 ส่วน นำไปบดด้วยเครื่องปั่นอาหารเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นอบเกล็ดขนมปังด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

การเตรียมนักเก็ตชุบเกล็ดขนมปังทอด

นำไปบดปรุงรสด้วยซอสปรุงรส เกลือและพริกไทย ผสมกับแป้งข้าวโพด นวดจนส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวและบรรจุใส่พิมพ์ซิลิโคน จากนั้นแช่ช่องแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อไก่คงรูป แล้วจึงนำคลุกกับแป้งข้าวโพดและชุบไข่ไก่ ก่อนนำไปคลุกเกล็ดขนมปังและนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำมัน 3 นาที บนตะแกรง

การวิเคราะห์คุณภาพขนมปัง

นำก้อนขนมปัง เกล็ดขนมปัง และนักเก็ตไก่ที่ได้มาทำการตรวจสอบดังต่อไปนี้ โดยแต่ละการทดสอบจะทำทั้งหมด 2 ซ้ำ

- ลักษณะปรากฏ โดยการพิจารณา สีเนื้อใน (crumb) ความเป็นรูพรุน โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Nikon D3200, Nikon Corporation, Japan)
- ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของก้อนขนมปังตามวิธี AACC 72-10 method โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา
- การวิเคราะห์ขนาดและปริมาณของรูพรุนภายในขนมปังใช้โปรแกรม ImageJ (ImageJ 1.42q, USA) จากภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล
- การตรวจสอบการกระจายขนาดของเกล็ดขนมปัง โดยนำเกล็ดขนมปังที่อบแห้งแล้วมาเขย่าด้วยเครื่องร่อนเขย่า (Retch AS200 basic, บริษัท ไฮแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด, ประเทศไทย) เริ่มด้วยการชั่งน้ำหนักตะแกรงร่อนทุกขนาด โดยเรียงตะแกรงร่อนให้ถูกต้องตามขนาดจากใหญ่ (ด้านบน) ไปเล็ก (ด้านล่าง) ดังนี้ ตะแกรงขนาด 5.6 mm (No. 3.5) ตะแกรงขนาด 3.35 mm (No. 6) ตะแกรงขนาด 2 mm (No. 10) ตะแกรงขนาด 1.4 mm (No. 14) ตะแกรงขนาด 850  $\mu$ m (No. 20) ตะแกรงขนาด 500  $\mu$ m (No. 35) แล้วบันทึกค่าน้ำหนักตะแกรง จากนั้นชั่งเกล็ดขนมปังอบแห้ง 150 กรัม ใส่ในชามสแตนเลสและเทลงในชุดตะแกรงร่อน โดยเรียงตะแกรงร่อนให้ถูกต้องตามขนาดจากใหญ่ (ด้านบน) ไปเล็ก (ด้านล่าง) จากนั้นทำการเขย่าเกล็ดขนมปังที่ amplitude 60 นาน 20 นาที บันทึกน้ำหนักเกล็ดขนมปังที่ค้างอยู่ในตะแกรงร่อนแต่ละชั้น
- ความหนาแน่นเชิงกลุ่ม (bulk density) โดยนำเกล็ดขนมปังอบแห้งใส่ในกระบอกตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่เกล็ดขนมปังให้พอดีที่ขีดระดับ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำเกล็ดขนมปังไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้

- ค่าร้อยละการเกาะติด ดัดแปลงจากวิธีของ ปราโมทย์ และ ทศพล (2553) โดยนำเนื้อไก่ที่ผ่านการอัดใส่พิมพ์ซิลิโคนและแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว มาชุบแป้งข้าวโพดแล้วชุบไข่ไก่ และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปคลุกเกล็ดขนมปังก่อนนำไปชั่งน้ำหนักและนำไปคำนวณหาค่าร้อยละการเกาะติด
- สีของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Color View (Color View, Gardner, USA)

การวิเคราะห์ทางสถิติผ่านการวิเคราะห์ ANOVA โดยมีแผนการทดลองทางสถิติแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทำโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18.0

## ผลและวิจารณ์

ขนมปังสูตร 1-5 มีลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพที่ 1 และเนื้อในของขนมปังดังแสดงในภาพที่ 2 ทุกสูตรมีรูพรุนขนาดใหญ่และมีจำนวนรูพรุนมาก แต่ขนมปังสูตรที่ 5 มีความสูงของขนมปังน้อยที่สุด

ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณรูพรุนของขนมปังสูตร 1-5 ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ขนมปังสูตรที่ 4 และสูตรที่ 2 มีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุด คือ 3.38 และ 3.21 ml/g ตามลำดับ รองลงมา คือ ขนมปังสูตรที่ 5 เมื่อพิจารณาขนาดและจำนวนรูพรุน พบว่าขนมปังสูตรที่ 4 มีขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขนมปังสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณรูพรุนมากที่สุด ส่วนขนมปังสูตรที่ 4 มีปริมาณรูพรุนน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากขนมปังสูตรที่ 4 มีการใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าว ในอัตราส่วน 1:1 แต่การใช้แป้งข้าวเพียงอย่างเดียว (สูตรที่ 3) จะมีปริมาตรจำเพาะต่ำ (2.43 ml/g) เนื่องจากการผสมแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวจะทำให้ความหนืดภายในโดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากการอบขนมปัง โดยการใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวทำให้ค่า final viscosity และค่า set back เพิ่มขึ้น (Kim และคณะ, 2015) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นจะช่วยกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ภายในโครงสร้างได้ดีและช่วยให้โครงสร้างของโดทนต่อการขยายตัวของแก๊สในช่วงแรกของการอบได้ (Bourekoua และคณะ, 2016) ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและการขึ้นฟูมาก รูพรุนมีขนาดใหญ่ แต่การใช้แป้งข้าวมีความหนืดต่ำกว่าจึงทำให้เก็บอากาศได้ไม่ดี ปริมาตรของขนมปังจึงต่ำ ส่วนขนมปังสูตรที่ 2 ที่มีการลดนมผงแต่การมีปริมาตรจำเพาะสูง (3.21 ml/g) เนื่องจากขนมปังสูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลที่เป็นอาหารของยีสต์เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการขึ้นฟูที่ดี ทำให้โปรตีนเคซีนและเวย์โปรตีนที่อยู่ในนมผง เมื่อได้รับความร้อนโครงสร้างตติยภูมิจะถูกทำลายทำให้โปรตีนคลัสสายออกและจับกับโปรตีนสายใหม่ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Erdogdu-Arnoczky และคณะ, 1996) ที่อาจเป็นโปรตีนนมด้วยกันเองหรือจับกับโปรตีนที่อยู่ในแป้งข้าวจึงทำหน้าที่เชื่อมโยงกับโครงสร้างต่างๆ ภายในขนมปัง (Krupa-Kozak และคณะ, 2013) และขนมปังสูตรที่ 2 มีปริมาตรจำเพาะมากกว่าสูตรที่ 1 ที่มีน้ำตาลเท่ากันแต่ปริมาณนมผงมากกว่า เนื่องจากในนมผงมีโปรตีนเคซีนที่มีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย (Krupa-Kozak และคณะ, 2013) ดังนั้นการเติมนมผงเพิ่มจะทำให้เคซีนเพิ่มขึ้นทำให้ละลายน้ำได้น้อยลงและความสามารถในการจับกับน้ำตาลลดลงก่อนโดจึงไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ (Erdogdu-Arnoczky และคณะ, 1996) ขนมปังจึงมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าส่วนสูตรที่ 3 ที่ลดทั้งนมผงและน้ำตาล ทำให้มีน้ำตาลไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของยีสต์และเกิดการขึ้นฟูที่ไม่ดี ส่วนสูตรที่ 5 ที่แม้จะมีการเติมยีสต์เพิ่มเพื่อช่วยในการขึ้นฟูแต่กลับมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าขนมปังสูตรที่ 4 เนื่องจากมียีสต์จำนวนมาก ยีสต์จะผลิตเอนไซม์อะไมเลสมาเพื่อย่อยแป้ง

(Struyf และคณะ 2017) ได้มากกว่าจำนวนมากทำให้โครงสร้างเกิดความอ่อนแอและเกิดการยุบตัวของขนมปัง ดังนั้นปริมาตรจำเพาะจึงต่ำ

ขนาดของเกล็ดขนมปังจะส่งผลโดยตรงกับค่าความหนาแน่นเชิงกลุ่มและร้อยละการเกาะติด โดยเกล็ดขนมปังที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวยึดเกาะกับชิ้นอาหารได้มาก ทำให้ความสามารถในการเกาะติดอาหาร ที่ผ่านการทอดสูงขึ้นและค่าร้อยละการเกาะติดสูง (ปราโมทย์ และ ทศพล, 2553) การกระจายขนาดของเกล็ดขนมปัง สูตรที่ 1-5 ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า มีขนาดอยู่ในช่วง 500-2,000 ไมโครเมตร และพบว่าทุกสูตรจะมีการกระจาย ขนาดที่ไม่แตกต่างกันในทุกขนาดของตะแกรงร่อน จากตารางที่ 3 พบว่าค่าความหนาแน่นเชิงกลุ่มและร้อยละ การเกาะติด ของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ค่าสีของขนมปัง เกล็ดขนมปัง และนักเก็ตไก่ของสูตรที่ 1-5 ดังแสดงในตารางที่ 4 ส่วนลักษณะปรากฏ ของนักเก็ตไก่แสดงในภาพที่ 5 พบว่า ขนมปังทุกสูตรมีค่าความสว่างมาก ( $L^*$ ) เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดแป้ง (สูตรที่ 3 และ 4) พบว่าสูตรที่มีการใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าว (สูตรที่ 4) จะมีค่าความสว่างน้อยกว่า และมีค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) มากกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวเพียงอย่างเดียว (สูตรที่ 4) อาจเนื่องจากแป้งข้าวโพดมีเม็ดสี เช่น แคโรทีนและสารประกอบโพลีฟีนอลิก มากกว่าแป้งข้าว ทำให้ขนมปังที่มีแป้งข้าวโพดผสมกับแป้งข้าวมีสีเหลือง มากกว่า (Ali และคณะ, 2016) และเมื่อนำไปผลิตเป็นเกล็ดขนมปัง พบว่า ทุกสูตรมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อนำเกล็ดขนมปังไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดสีปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เพิ่มขึ้นทุกสูตรจึงมีค่าสีเหลือง เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปผลิตเป็นนักเก็ตพบว่าทุกสูตรมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ( $b^*$ ) โดยนักเก็ตที่คลุกเกล็ดขนมปังสูตรที่ 1 มีค่าความสว่างน้อยที่สุด รองลงมา คือ นักเก็ตสูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากเมื่อนำไปทอดเป็นนักเก็ตซึ่งใช้อุณหภูมิสูงในการทอดจึงทำให้นักเก็ตสูตรที่ 1 ที่มีปริมาณนมผงและ น้ำตาลมากที่สุด สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไลซ์ที่ให้สีน้ำตาล (Krupa-Kozak และคณะ, 2013) ได้มาก ส่วนนักเก็ตสูตรที่ลดปริมาณนมผงและน้ำตาล (สูตรที่ 3-5) มีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้น้อยกว่า

## สรุป

ปริมาณนมผงและน้ำตาลที่เหมาะสม ร่วมกับการใช้แป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพ ขนมปังทำให้ปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณยีสต์ที่มากเกินไปส่งผลขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง ส่วนการตรวจสอบการกระจายของขนาดเกล็ดขนมปัง ความหนาแน่นเชิงกลุ่ม และร้อยละการเกาะติด ของเกล็ดขนมปังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่นักเก็ตไก่คลุกเกล็ดขนมปังจากสูตรที่มีนมผงและ น้ำตาลมากจะมีสีเข้ม

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเงินสนับสนุนจาก สำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

## เอกสารอ้างอิง

- ปราโมทย์ คูจิตจรจากรุ และ ทศพล สุทธาสิริทรัพย์. 2553. คุณสมบัติของเบรตเตอร์ที่เตรียมจากแป้งข้าว. วารสารวิจัย มช. 15(10), 965-972 หน้า.
- วิภาวัน จุลยา. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาเบเกอรี่. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตพระนครใต้.
- AACC. Approved methods of the ACC 10<sup>th</sup> ed. method 72-10. American association of cereal chemists, St. Paul, MN, USA (200).
- Ail, A., Wani, T.A., Wani, I.A. and Masooni, A. 2016. Comparative study of the physico-chemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 15, 75-82 pp.
- Bourekoua, H., Benatallah, L. and Zindoune, M. N. 2016. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *Food Science and Technology*. 73, 342-350 pp.
- Erdogdu-Arnoczky, N., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y. 1996. Functionality of whey and casein in fermentation and breadbaking by fixed and optimized procedures. *Cereal Chemistry*. 73(3), 309-316 pp.
- Gallagher, E., Gormley, T.R. and Arendt, E.K. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*. 56. 153–161 pp.
- Kim, M., Yun, Y. and Leong, Y. 2015. Effect of corn, potato and tapioca starches on quality of gluten-free rice bread. *Food Science Biotechnol*. 24(3), 913-919 pp.
- Krupa-Kozak, U., Baczek, N. and Rosell, C.M. 2013. Application of dairy as technological and nutrition improvers of calcium-supplement gluten-free bread. *Nutrients*. 5, 4503-4520 pp.
- Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S and Cortin, C.M. 2017. Investigating the impact of  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. *Journal of Cereal Science*. 75, 35-44 pp.
- Wang, K., LU, F., LI, Z., Zhao, L. and Han, C. 2017. Recent developments in gluten-free bread baking Approaches: a review. *Food Science and Technology*. 37(1): 1-9 pp.
- Ziobro, R., Juszczak, L. and Korus, J. 2016. Non-gluten protein as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*. 53(1), 571-580 pp.

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของขนมปังปลอกคอกุสเตน

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
แป้งข้าวเจ้า	100	100	100	50	50
แป้งข้าวโพด	-	-	-	50	50
เกลือ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำตาล	9	9	5	5	5
ยีสต์	2	2	2	2	3
น้ำ	84	84	84	84	84
น้ำมันพืช	8	8	8	8	8
HPMC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
นมผง	8	3.2	3.2	3.2	3.2

ที่มา : สูตรที่ 1 (วิภาวัน จุลยา และคณะ , 2549)

ตารางที่ 2 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ขนาด และปริมาณรูพรุนวิเคราะห์โดยโปรแกรม ImageJ

Formula	ปริมาตรจำเพาะ (ml/g)	Number of cells (Objects)	Mean cell area (mm <sup>2</sup> )	% cell area
สูตรที่ 1	2.40±0.09 <sup>a</sup>	241.17±47.32 <sup>c</sup>	1.31±0.24 <sup>a</sup>	19.20±2.58 <sup>a</sup>
สูตรที่ 2	3.21±0.04 <sup>c</sup>	214.17±40.18 <sup>bc</sup>	1.35±0.23 <sup>a</sup>	17.95±2.85 <sup>a</sup>
สูตรที่ 3	2.43±0.04 <sup>a</sup>	186.00±18.22 <sup>b</sup>	1.64±0.23 <sup>a</sup>	19.06±2.73 <sup>a</sup>
สูตรที่ 4	3.38±0.05 <sup>c</sup>	134.50±20.66 <sup>a</sup>	2.99±0.84 <sup>b</sup>	24.33±3.90 <sup>b</sup>
สูตรที่ 5	2.80±0.43 <sup>b</sup>	182.67±29.64 <sup>b</sup>	1.19±0.02 <sup>a</sup>	16.03±0.28 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : สัญลักษณ์<sup>a,b</sup> แสดงความแตกต่างกันตามคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 3 ค่าความหนาแน่นเชิงกลุ่มและร้อยละการเกาะติดของเกล็ดขนมปัง

formula	ความหนาแน่นเชิงกลุ่ม <sup>ns</sup> (g/ml)	ร้อยละการเกาะติด <sup>ns</sup>
สูตรที่ 1	0.4757±0.05	13.58±2.83
สูตรที่ 2	0.4976±0.08	12.91±1.77
สูตรที่ 3	0.5153±0.02	16.50±1.23
สูตรที่ 4	0.4517±0.03	15.84±3.03
สูตรที่ 5	0.4606±0.12	14.31±3.62

หมายเหตุ : สัญลักษณ์<sup>ns</sup> แสดงความไม่แตกต่างกันตามคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

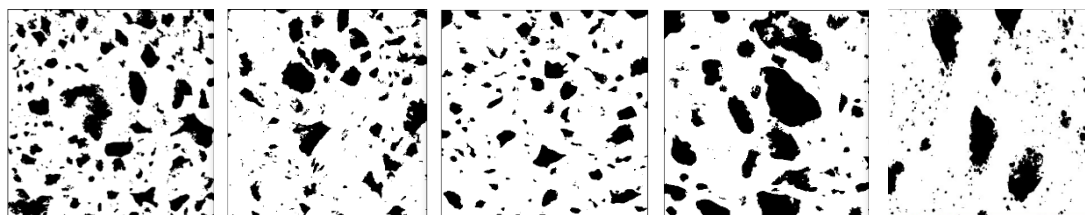
ตารางที่ 4 ค่าสีของเนื้อในขนมปัง เกล็ดขนมปัง และนักเก็ตไก่คั่วกลูกละเอียดขนมปังหลังทอด

ตัวอย่าง	สูตร	L*	a*	b*
ขนมปัง	สูตรที่ 1	86.29±0.55 <sup>c</sup>	6.52±0.49 <sup>ab</sup>	18.80±0.40 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 2	86.40±0.49 <sup>c</sup>	6.30±0.35 <sup>a</sup>	17.03±0.47 <sup>a</sup>
	สูตรที่ 3	85.82±0.69 <sup>c</sup>	6.87±0.50 <sup>b</sup>	18.68±0.33 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 4	82.85±1.35 <sup>b</sup>	7.71±0.12 <sup>c</sup>	19.16±0.72 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 5	80.25±1.92 <sup>a</sup>	9.19±0.25 <sup>d</sup>	20.43±0.75 <sup>c</sup>
เกล็ดขนมปัง	สูตรที่ 1	85.05±0.08 <sup>b</sup>	8.27±0.13 <sup>b</sup>	25.35±0.40 <sup>ab</sup>
	สูตรที่ 2	85.82±0.06 <sup>b</sup>	7.07±0.01 <sup>a</sup>	23.37±0.40 <sup>a</sup>
	สูตรที่ 3	84.45±0.42 <sup>ab</sup>	8.50±0.54 <sup>b</sup>	26.23±0.40 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 4	84.90±0.93 <sup>ab</sup>	8.74±0.17 <sup>bc</sup>	28.83±0.57 <sup>c</sup>
	สูตรที่ 5	83.37±0.05 <sup>a</sup>	9.31±0.30 <sup>c</sup>	26.75±1.60 <sup>bc</sup>
นักเก็ตไก่	สูตรที่ 1	42.61±0.21 <sup>a</sup>	22.60±0.40 <sup>a</sup>	25.35±0.89 <sup>a</sup>
	สูตรที่ 2	44.19±0.29 <sup>b</sup>	23.60±1.29 <sup>a</sup>	26.52±0.89 <sup>a</sup>
	สูตรที่ 3	51.27±0.11 <sup>d</sup>	23.04±2.24 <sup>a</sup>	32.40±0.66 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 4	49.50±0.19 <sup>c</sup>	24.54±1.00 <sup>a</sup>	30.58±0.47 <sup>b</sup>
	สูตรที่ 5	56.64±0.34 <sup>d</sup>	21.51±0.44 <sup>b</sup>	31.26±0.62 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : สัญลักษณ์<sup>a,b</sup> แสดงความแตกต่างกันตามคอลัมน์ในแต่ละผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

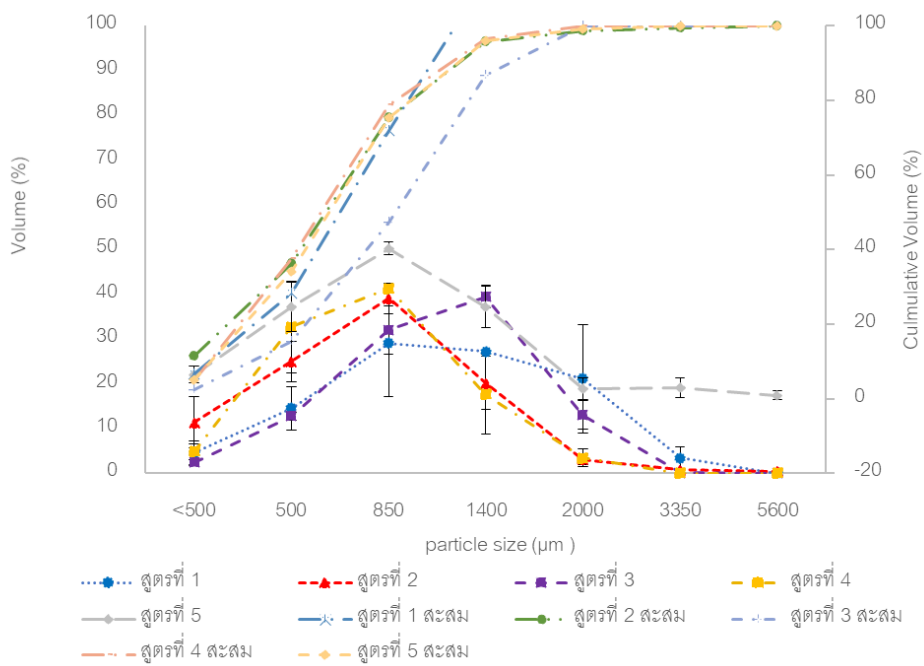


ภาพที่ 1 ขนมปังสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 ตามลำดับ

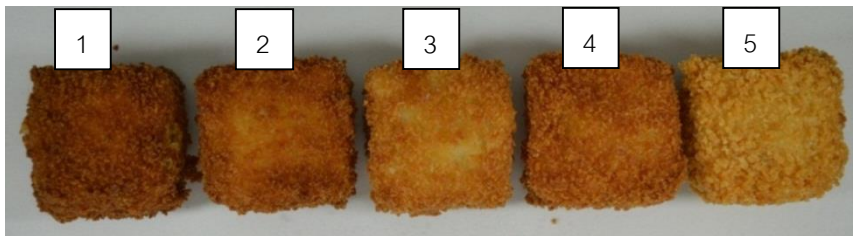


ภาพที่ 2 Binary image ของขนมปังสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 ตามลำดับ





ภาพที่ 3 การกระจายขนาดของเกล็ดขนมปัง



ภาพที่ 4 นักเก็ตไก่คูลูกเกล็ดขนมปังสูตรที่ 1-5

# กิจกรรมการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และการทนต่อระบบทางเดินอาหารจำลองของ *Bacillus coagulans* และ *Lactobacillus rhamnosus*

## Antimicrobial activities and the tolerance to *in vitro* simulated digestion of *Bacillus coagulans* and *Lactobacillus rhamnosus*

ณัฐชยา สาทวงศ์<sup>1</sup>, ศรัณย์ พรหมสาย<sup>1\*</sup>, เยาวนุช พรหมนวล<sup>1</sup> และ สุจินันท์ มีไฉ่<sup>2</sup>

Natchaya Satwong<sup>1</sup>, Saran Promsai<sup>1</sup>, Yaowanoot Promnuan<sup>1</sup>, Sujinan Meelai<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณสมบัติของโพรไบโอติก 2 ชนิดคือ *Bacillus coagulans* KPS-TF02 และ *Lactobacillus rhamnosus* KPS-VE9 โดยทำการตรวจสอบคุณสมบัติโพรไบโอติกเบื้องต้นได้แก่ ความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคและความสามารถในการทนต่อระบบทางเดินอาหารจำลอง ผลการศึกษาพบว่า *L. rhamnosus* KPS-VE9 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ 8 ชนิด ในขณะที่ *B. coagulans* KPS-TF02 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้เพียง *Vibrio parahaemolyticus* เมื่อสิ้นสุดการจำลองกระเพาะอาหารจำลองพบว่า *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีอัตราการรอดชีวิต 90.55% และ 99.41% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีเพียง *B. coagulans* KPS-TF02 ที่สามารถรอดชีวิตเมื่อสิ้นสุดการจำลองลำไส้เล็ก โดยมีอัตราการรอดชีวิต 86.16%

**คำสำคัญ :** โพรไบโอติก อาหารฟังก์ชัน *Bacillus coagulans* และ *Lactobacillus rhamnosus*

### Abstract

The aims of this study were to evaluate properties of two probiotics which were *Bacillus coagulans* KPS-TF02 and *Lactobacillus rhamnosus* KPS-VE9. Two probiotics were investigated for preliminary probiotic properties i.e. antimicrobial activities and the tolerance to the *in vitro* simulated digestion. The results showed that *L. rhamnosus* KPS-VE9 could effectively inhibit the growth of eight pathogenic bacteria, while *B. coagulans* KPS-TF02 could inhibit only *Vibrio parahaemolyticus*. When the simulated gastric finished, *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 showed the survival rate 90.55% and 99.41% respective. However, only *B. coagulans* KPS-TF02 could survive in simulated intestinal tract, with survival rate 86.16%.

**Keywords:** probiotic, functional food, *Bacillus coagulans* and *Lactobacillus rhamnosus*

<sup>1</sup> โครงการจัดตั้งภาควิชาจุลชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Microbiology, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

<sup>2</sup> ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จ. นครปฐม 73000

Department of Microbiology, Faculty of Science, Silpakorn University - Sanam Chandra Palace Campus, Nakhon Pathom 73000

## บทนำ

โพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญทางโภชนาการของมนุษย์ โพรไบโอติกเหล่านี้ช่วยส่งเสริมสุขภาพของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี โดยปรับปรุงระบบทางเดินอาหาร ระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินหายใจ ทำให้ภายในกระเพาะอาหารและลำไส้มีความสมดุล

เกณฑ์การคัดเลือกจุลินทรีย์โพรไบโอติกนั้นไม่มีหลักเกณฑ์ที่ตายตัว แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยหรือผลข้างเคียงที่จะเกิดขึ้นนอกเหนือจากจะใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์โพรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจะนำจุลินทรีย์กลุ่มใดมาเป็นโพรไบโอติก จะต้องมีการศึกษาและทดสอบทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ทราบข้อมูลเรื่องคุณสมบัติ ประสิทธิภาพต่อสุขภาพและความปลอดภัยหรือได้รับรองจากสถาบันที่น่าเชื่อถือ โดยแนวทางหลักๆที่ใช้ในการคัดเลือกโพรไบโอติก คือสามารถอาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์หรือสัตว์ชนิดนั้นๆได้ ทนต่อกรดและเกลือแร่ได้ดี เกาะติดเซลล์ผนังลำไส้ผลิตสารต้านจุลินทรีย์ก่อโรค ประเมินทางคลินิกและผ่านการรับรองคุณภาพ ปลอดภัยเมื่อใช้ในทางอาหารและทางคลินิก และมีปริมาณเพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพประมาณ  $10^7$ - $10^9$  CFU/ml

*Bacillus coagulans* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน มีเอนโดสปอร์ไม่ก่อโรคและไม่สร้างสารพิษ สปอร์ของ *B. coagulans* สามารถทนกรดในกระเพาะอาหารได้ดีและใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในออกของสปอร์ในลำไส้ เนื่องจาก metabolism ของเชื้อเกิดได้ดีในสภาวะ facultative ในลำไส้ สามารถผลิต L+ lactic acid ซึ่งเป็น primary product ในกระบวนการหมักซึ่งกรดที่ผลิตขึ้นนั้นจะไปขัดขวางการเจริญของเชื้อก่อโรค และผลิต coagulin ซึ่งเป็น bacteriocin ชนิดหนึ่งที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแกรมบวกและแกรมลบได้ *Lactobacillus rhamnosus* เป็นโพรไบโอติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน มีการเรียงตัวแบบทั้งเป็นสายโซ่ และเดี่ยว จัดอยู่ในกลุ่ม facultative heterofermentative bacterium สามารถผลิตกรดแลคติก ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแกรมบวกและแกรมลบได้ โดยมีการศึกษาทางคลินิกจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือการรักษาโรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร

การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งทดสอบคุณสมบัติการเป็นโพรไบโอติกเบื้องต้นของแบคทีเรียสองสายพันธุ์ที่คัดแยกมาจากแหล่งอาหารธรรมชาติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกชนิดใหม่ที่มี วัตถุประสงค์ในประเทศเป็นส่วนประกอบต่อไป

## วัตถุประสงค์

ทดสอบคุณสมบัติการเป็นโพรไบโอติกของ *Bacillus coagulans* KPS-TF02 และ *Lactobacillus rhamnosus* KPS-VE9

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. วัตถุประสงค์หลักและสายพันธุ์จุลินทรีย์

เตรียม simulated gastric juice โดยนำ pepsin (P-7000, Sigma, UK) ผสมกับ 0.5% NaCl ที่ปราศจากเชื้อ ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 3 g/L และปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ  $2.0 \pm 0.01$  ด้วย conc. HCl สำหรับการเตรียม simulated small intestinal juice นำ pancreatin (P-1500, Sigma, UK) ผสมกับ 0.5% NaCl ที่ปราศจากเชื้อ

ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 1 g/L จากนั้นเติม 0.45% bile salt และปรับให้มี pH เท่ากับ  $8 \pm 0.01$  ด้วย 0.1M NaOH (Savetboworn & Wanchaitanawong, 2015) เมื่อเตรียม simulated gastric juice และ simulated small intestinal juice จากนั้นทำให้ปราศจากเชื้อโดยการกรองด้วย syringe filter ที่มีขนาดรูพรุนแผ่นกรองเท่ากับ 0.45 ไมครอน

เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. coagulans* KPS-TF02 ที่แยกได้จากชาหมักพื้นบ้าน (ณัฐชยา และคณะ, 2562) ถูกเลี้ยงในอาหาร Nutrient agar (NB, Merck, Germany) ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 ที่แยกได้จากผักดองในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ถูกเลี้ยงในอาหาร de Man Rogosa and Sharpe agar (MRS, Merck, Germany) ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกทั้งสองชนิดถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

เชื้อก่อโรค 9 ชนิด ได้แก่ *Aeromonas hydrophila*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescens*, *Salmonella typhimurium*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Bacillus cereus* ถูกเลี้ยงลงในอาหาร NA บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

## 2. การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร

นำเชื้อโพรไบโอติก *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 โดยมี *L. amylovorus* TISTR1110 เป็นเชื้ออ้างอิงเปรียบเทียบ โดยเลี้ยงในอาหารเหลว NB และ MRS ปริมาตร 5 mL ตามลำดับ บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C สำหรับ *B. coagulans* KPS-TF02 บ่มเป็นเวลา 36-48 ชั่วโมง ในขณะที่ *L. rhamnosus* KPS-VE9 และ *L. amylovorus* TISTR1110 บ่มเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกทั้ง 2 ชนิดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 0.5 เพื่อใช้เป็นเชื้อตั้งต้น จากนั้นถ่ายเชื้อ *B. coagulans* KPS-TF02, *L. rhamnosus* KPS-VE9 และ *L. amylovorus* TISTR1110 ลงในอาหาร NB และ MRS ตามลำดับ ให้ได้ความเข้มข้นของเชื้อ 5% จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C สำหรับ *B. coagulans* KPS-TF02 บ่มเป็นเวลา 96 ชั่วโมง ในขณะที่ *L. rhamnosus* KPS-VE9 บ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 7,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที จะได้ส่วนใส (supernatant)

นำแบคทีเรียก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร 9 ชนิด มาเลี้ยงในอาหารเหลว NB บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 540 nm ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 0.5 จากนั้นเกลี่ยน้ำเลี้ยงเชื้อลงบนอาหารแข็ง Brain Heart Infusion agar (BHI, Merck, Germany) ด้วยไม้พินสำลีปราศจากเชื้อ เจาะหลุมขนาด 8 mm ด้วย Cork borer

หยดส่วนใสที่ได้จากเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. coagulans* KPS-TF02, *L. rhamnosus* KPS-VE9 และ *L. amylovorus* TISTR1110 ลงไปในหลุมที่ เจาะไว้ ปริมาตร 100  $\mu$ L บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยใช้อาหารเหลว NB และ MRS เป็น negative control ใช้ Streptomycin ความเข้มข้น 0.1 mg/mL เป็น positive control ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยวัดโซนใสรวมเส้นผ่านศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเป็นหน่วยมิลลิเมตร

### 3. การทดสอบความสามารถในการทนต่อสภาวะทางเดินอาหารจำลอง (ดัดแปลงจากวิธีของ (Sayedboworn & Wanchaitanawong, 2015))

นำเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 มาเลี้ยงในอาหารเหลว NB และ MRS ปริมาตร 5 mL ตามลำดับจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C สำหรับ *B. coagulans* KPS-TF02 บ่มเป็นเวลา 36-48 ชั่วโมง ในขณะที่ *L. rhamnosus* KPS-VE9 บ่มเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก ทั้ง 2 ชนิดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 0.5 ซึ่งจะมีจำนวนเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติกประมาณ  $10^9$  CFU/mL จากนั้นทำการถ่ายเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก แต่ละชนิดปริมาตร 0.1 mL ลงในสารละลาย 0.85% NaCl ปริมาตร 0.9 mL บั่นผสมกันด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex) จากนั้นนำ 0.2 mL ผสมกับ 0.5% NaCl 0.3 ml จากนั้นเติม simulated gastric juice หรือ simulated small intestinal juice ปริมาตร 1 mL และผสมให้เข้ากัน ตรวจสอบความสามารถในการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 โดยการนับจำนวนเชื้อด้วยวิธี dilution plate count ด้วย 0.5%NaCl บนอาหาร NA และ MRS ตามลำดับ โดยทำการนับปริมาณเชื้อที่เวลา 0, 30, 60, 90, 180 และ 240 นาที และนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดสอบ 3 ซ้ำจากนั้นคำนวณอัตราการรอดชีวิต (ร้อยละ) ดังสมการที่ดัดแปลงจาก (Bao et al., 2010)

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{LogCFU } N_1}{\text{LogCFU } N_0} \times 100$$

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ one way Anova กำหนดค่า P-Values (P= 0.05) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

## ผลและวิจารณ์

### 1. การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร

จากการทดสอบความสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคทั้ง 9 ชนิด (ตารางที่1) พบว่า *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีคุณสมบัติในการเป็นโพรไบโอติกที่ดี โดยพบว่า *L. rhamnosus* KPS-VE9 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ 8 ชนิด นอกจากนี้ มีงานวิจัยหลายงานวิจัยรองรับเช่น งานวิจัยของ (Cao et al., 2020) พบว่า ส่วนใหญ่ของ *L. rhamnosus* LMG 23522 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรค *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *Sal. Typhimurium* และ *Yer. Enterocolitica* (Kamal, Alnakip, Abd El Aal, & Bayoumi, 2018) และเป็นที่รู้กันดีอยู่แล้วว่าแบคทีเรียกลุ่ม Lactic acid แบคทีเรียสามารถผลิตกรดแลคติก (Axelsson, 2004) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถที่จะยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (Alakomi et al., 2000; Fayol-Messaoudi et al., 2005; Keersmaecker et al., 2006) ถึงแม้ว่าในการทดลอง *B. coagulans* KPS-TF02 จะสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคคือ *Vibrio parahaemolyticus* ได้เพียงชนิดเดียว แต่พบว่ามีงานวิจัยบางงานวิจัยที่ยืนยันว่า *B. coagulans* อาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการผลิตสารต้านจุลชีพ ซึ่งขัดขวางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและสร้างสมดุลของประชากรจุลินทรีย์ (Honda et al., 2011) *B. coagulans* I4 เป็นสายพันธุ์แรกของ *B. coagulans* ที่พบว่าผลิตสาร bacteriocin-like inhibitory substance (BLIS)

ชื่อว่า coagulin (Hyronimus, Marrec, & Urdaci, 1998) กลไกของ bacteriocins คือ จะไปทำลายผนังเซลล์ของ เชื้อก่อโรค จึงทำให้กรดอะมิโนและเกลืออนินทรีย์รั่วไหลออกจากมา ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคได้

**ตารางที่ 1** การยับยั้งเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารโดยส่วนใสของแบคทีเรียโพรไบโอติก

เชื้อก่อโรค	ขนาดโซนใส ± SD (มิลลิเมตร)			
	Positive control	TISTR1110	KPS-VE9	KPS-TF02
<i>Escherichia coli</i>	20.67 ± 0.58 <sup>a</sup>	13.33 ± 0.29 <sup>c</sup>	15.17 ± 0.76 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>d</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	20.83 ± 0.76 <sup>a</sup>	15.83 ± 0.76 <sup>b</sup>	15.5 ± 1.5 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>c</sup>
<i>Candida albicans</i>	12.5 ± 0.86 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>b</sup>
<i>Serratia marcescens</i>	14 ± 0.5 <sup>b</sup>	13.83 ± 1.76 <sup>b</sup>	16 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>c</sup>
<i>Salmonella typhimurium</i>	17.33 ± 0.58 <sup>a</sup>	14.83 ± 0.76 <sup>b</sup>	12.33 ± 0.58 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>d</sup>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13.83 ± 0.29 <sup>a</sup>	13.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	14.17 ± 1.04 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>b</sup>
<i>Aeromonas hydrophila</i>	18 ± 0 <sup>a</sup>	14.33 ± 0.58 <sup>b</sup>	14.83 ± 1.26 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>c</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	17.67 ± 0.29 <sup>a</sup>	15 ± 1.32 <sup>b</sup>	14 ± 1.73 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>c</sup>
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	14.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>c</sup>	10 ± 0 <sup>b</sup>	14 ± 1.73 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันระหว่างแถว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(Riazi et al., 2009) นอกจาก bacteriocins แล้ว *B. coagulans* ยังสามารถหลั่งสารต้านจุลชีพอื่น ๆ เช่นกรดแลคติกและกรดอะซิติก กรดแลคติกเป็นสารต้านจุลชีพที่สำคัญ (Cao et al., 2020)

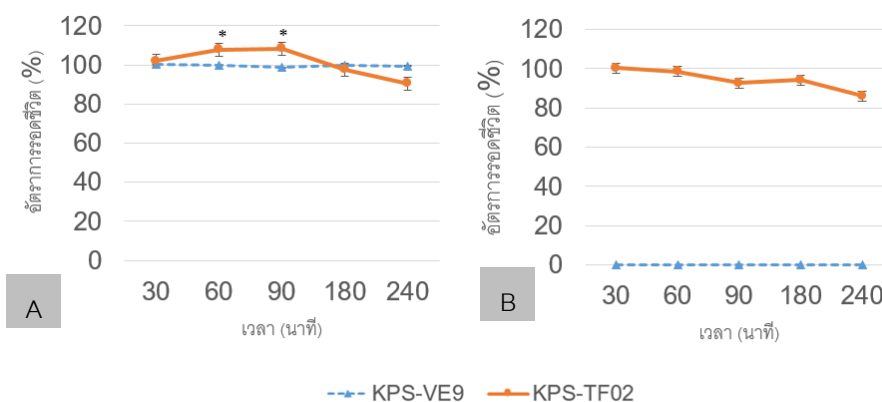
อย่างไรก็ตาม โพรไบโอติกทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรค *Candida albican* ได้เมื่อใช้ agar well เป็นอาหาร BHI แต่ถ้าเปลี่ยนอาหารหลุมเป็น NA จะพบว่า *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Candida albican* ได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโซนใสเท่ากับ 18.67 ± 0.58 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Song & Lee, 2017) ที่พบว่าเชื้อ *L. rhamnosus* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อและยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มใน *C. albicans* ได้ แสดงให้เห็นว่า *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 อาจมีการผลิตสารเช่น กรดแลคติก, สารปฏิชีวนะ, โปรตีน, bioactive metabolite (Inturri et al., 2019), แอลกอฮอล์ เป็นต้น ออกมา จึงเป็นเหตุให้สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ จึงถือได้ว่า *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารได้ดี

## 2. การทดสอบความสามารถในการทนต่อสภาวะทางเดินอาหารจำลอง

การทดสอบความสามารถในการทนต่อสภาวะกระเพาะอาหารจำลองพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 240 นาที *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตเท่ากับ 9.195±0.05 log(CFU/mL) หรือเทียบกับมีอัตราการรอดชีวิต 99.41%±0.54 (รูปที่1A)เมื่อเทียบกับนาที่ที่ 0 ที่มีปริมาณเชื้อ 9.25±0.08 log(CFU/mL) พบว่ามีอัตราการรอดชีวิตไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เนื่องจากแบคทีเรียตระกูล *Lactobacillus* สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ที่ค่าความเป็นกรดต่ำ ในขณะที่ *B. coagulans* KPS-TF02 พบว่าเมื่อเริ่มต้นสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง (นาที่ที่0)

พบปริมาณเชื้อเหลืออยู่เพียง  $4.18 \pm 0.68 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  ในช่วง 60-90 นาที พบว่ามีปริมาณเชื้อของ *B. coagulans* KPS-TF02  $4.26 \pm 0.44 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  ( $107.78\% \pm 7.95$ ) และ  $4.51 \pm 0.33 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  ( $108.25\% \pm 0.17$ ) ตามลำดับ แสดงว่า *B. coagulans* KPS-TF02 สามารถเจริญได้ที่สภาวะระบบกระเพาะอาหารจำลองช่วงหนึ่งโดยสังเกตจากการมีอัตราการรอดชีวิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามเมื่อการจำลองผ่านไประยะเวลา 240 นาทีพบว่ามีอัตราการรอดชีวิต  $90.55\% \pm 2.53$  ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับนาทีที่ 0

จากการทดลองในสภาวะลำไส้เล็กจำลอง (รูปที่ 1B) พบว่ามีเพียง *B. coagulans* KPS-TF02 เท่านั้นที่สามารถรอดชีวิตได้ เมื่อเริ่มต้นสภาวะลำไส้เล็กจำลอง (นาทีที่ 0) พบปริมาณเชื้อเหลืออยู่  $5.78 \pm 0.47 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 240 นาที มีปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตเท่ากับ  $4.98 \pm 0.45 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  หรือมีอัตราการรอดชีวิต  $86.16\% \pm 7.83$  (รูปที่ 1 B) เมื่อเทียบกับนาทีที่ 0 พบว่ามีอัตราการรอดชีวิตไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ตรงกันข้ามกับ *L. rhamnosus* KPS-VE9 พบว่าเมื่อเริ่มสภาวะลำไส้เล็กจำลอง (นาทีที่ 0) ไม่สามารถมีชีวิตรอดได้เลย จากงานวิจัยของ (Ng et al., 2015) ได้แยก *L. rhamnosus* 0504 จากผล bambangan เมื่อสภาวะความเข้มข้นของเกลือ น้ำดี เท่ากับ 0.3% จะทำให้ *L. rhamnosus* 0504 เหลือเพียง  $0.33 \pm 0.01 \log(\text{CFU}/\text{mL})$  โดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นในการทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นเกลือ น้ำดี 0.45% จึงอาจเป็นสาเหตุของ *L. rhamnosus* KPS-VE9 ที่ไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ จากการทดลองจะพบว่า *B. coagulans* KPS-TF02 สามารถรอดชีวิตอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้ เนื่องจากเป็นโพรไบโอติกที่สามารถสร้างสปอร์จึงทนต่อสภาวะต่างๆที่ไม่เหมาะสมได้ ซึ่งสอดคล้องกับ (Shinde et al., 2019) พบว่า *B. coagulans* MTCC 5856 มีอัตราการรอดชีวิตในระบบทางเดินอาหารจำลองได้ 92.4% และสอดคล้องกับ (Majeed et al., 2016) สปอร์ของ *B. coagulans* MTCC 5856 สามารถรอดชีวิตได้กรดสูง pH เท่ากับ 1.5 และ 3 และเจริญในอาหารที่มีเกลือ น้ำดีเข้มข้น 0.3% และ 0.5% w/v อย่างไรก็ตาม โพรไบโอติกจะมีประโยชน์ก็ต่อเมื่อมีปริมาณเพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพประมาณ  $10^7$ - $10^9$  CFU/ml



**รูปที่ 1** แสดงอัตราการรอดชีวิตของ *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 ในสภาวะ (A) กระเพาะอาหารจำลอง (B) ลำไส้เล็กจำลอง ที่เวลา 30, 60, 90, 180 และ 240 นาที ที่ระดับนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

## สรุปผล

*L. rhamnosus* KPS-VE9 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ 8 ชนิด ในขณะที่ *B. coagulans* KPS-TF02 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้เพียง *V. parahaemolyticus* เมื่อสิ้นสุดการจำลองกระเพาะอาหารจำลองพบว่า *B. coagulans* KPS-TF02 และ *L. rhamnosus* KPS-VE9 มีอัตราการรอดชีวิตไม่เปลี่ยนแปลงจากนาที่ที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม มีเพียง *B. coagulans* KPS-TF02 เท่านั้นที่สามารถรอดชีวิตในการจำลองลำไส้เล็ก โดยพบว่า มีอัตราการรอดชีวิตไม่เปลี่ยนแปลงจากนาที่ที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นหากมีการนำโพรไบโอติกทั้งสองไปใช้ในทางอุตสาหกรรมจะต้องเลือกวิธีการที่ทำให้เชื้อโพรไบโอติกทั้งสองมีปริมาณการรอดชีวิตมากขึ้น

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) และ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)



## เอกสารอ้างอิง

- ณัฐชยา สาทวงศ์, ศรัณย์ พรหมสาย, เยาวนุช พรหมนวล, & สุจินันท์ มีไธส. (2562). การประเมินคุณสมบัติของแบคทีเรีย โพรไบโอติก *Bacillus coagulans* KPS-TF02 และ *Lactobacillus rhamnosus* KPS-VE9. Paper presented at the การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ศูนย์อาคารเรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
- Alakomi, H.-L., Skyttä, E., Saarela, M., Mattila-Sandholm, T., Latva-Kala, K., & Helander, I. M. (2000). Lactic Acid Permeabilizes Gram-Negative Bacteria by Disrupting the Outer Membrane. *Appl Environ Microb*, 66, 2001-2005.
- Axelsson, L. (2004). Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. In S. Salminen, A. V. Wright, & A. Ouwehand (Eds.), *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects* (3 ed., pp. 1-67). New York: Marcel Dekker.
- Bao, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, S., Dong, X., . . . Zhang, H. (2010). Screening of potential probiotic properties of *Lactobacillus fermentum* isolated from traditional dairy products. *Food Control*, 21(5), 695-701.
- Cao, J., Yu, Z., Liu, W., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Probiotic characteristics of *Bacillus coagulans* and associated implications for human health and diseases. *J Funct Foods*, 64.
- Fayol-Messaoudi, D., Berger, C. N., Coconnier-Polter, M.-H., Liévin-Le Moal, V., & Servin, A. L. (2005). pH-, Lactic Acid-, and Non-Lactic Acid-Dependent Activities of Probiotic *Lactobacilli* against *Salmonella enterica* Serovar *Typhimurium*. *Appl Environ Microb*, 71(10), 6008-6013.
- Honda, H., Gibson, G. R., Farmer, S., Keller, D., & McCartney, A. L. (2011). Use of a continuous culture fermentation system to investigate the effect of GanedenBC30 (*Bacillus coagulans* GBI-30, 6086) supplementation on pathogen survival in the human gut microbiota. *Anaerobe*, 17(1), 36-42.
- Hyronimus, Marrec, L., & Urdaci. (1998). Coagulin, a bacteriocin-like inhibitory substance produced by *Bacillus coagulans* I4. *J Appl Microbiol*, 85(1), 42-50.
- Inturri, R., Trovato, L., Volti, G. L., Oliveri, S., & Blandino, G. (2019). In vitro inhibitory activity of *Bifidobacterium longum* BB536 and *Lactobacillus rhamnosus* HN001 alone or in combination against bacterial and *Candida* reference strains and clinical isolates. *Heliyon*, 5(11), e02891. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02891
- Kamal, R. M., Alnakip, M. E., Abd El Aal, S. F., & Bayoumi, M. A. (2018). Bio-controlling capability of probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* against some common foodborne pathogens in yoghurt. *Int Dairy J*, 85, 1-7.

- Keersmaecker, S., Verhoeven, T., Desair, J., Marchal, K., Vanderleyden, J., & Nagy, I. (2006). Strong antimicrobial activity of *Lactobacillus rhamnosus* GG against *Salmonella Typhimurium* is due to accumulation of lactic acid. *FEMS Microbiol Lett*, 259, 89-96.
- Majeed, M., Nagabhushanam, K., Natarajan, S., Sivakumar, A., Ali, F., Pande, A., . . . Karri, S. K. (2016). *Bacillus coagulans* MTCC 5856 supplementation in the management of diarrhea predominant Irritable Bowel Syndrome: a double blind randomized placebo controlled pilot clinical study. *Nutr J*, 15, 21.
- Ng, S. Y., Koon, S. S., Padam, B. S., & Chye, F. Y. (2015). Evaluation of probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from traditional Malaysian fermented Bambang (*Mangifera pajang*). *CyTA - J Food*, 1-10.
- Riazi, S., Wirawan, R. E., Badmaev, V., & Chikindas, M. (2009). Characterization of lactosporin, a novel antimicrobial protein produced by *Bacillus coagulans* ATCC 7050. *J Appl Microbiol*, 106, 1370-1377.
- Savedboworn, W., & Wanchaitanawong, P. (2015). Viability and probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 in spray-dried fermented cereal extracts. *Maejo Int. J. Sci. Technol*, 9, 382-393.
- Shinde, T., Vemuri, R., Shastri, M. D., Perera, A. P., Tristram, S., Stanley, R., & Eri, R. (2019). Probiotic *Bacillus coagulans* MTCC 5856 spores exhibit excellent in-vitro functional efficacy in simulated gastric survival, mucosal adhesion and immunomodulation. *J Funct Foods*, 52, 100-108.
- Song, Y.-G., & Lee, S.-H. (2017). Inhibitory effects of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus casei* on *Candida* biofilm of denture surface. *Arch Oral Biol*, 76, 1-6.

# การเปรียบเทียบผลของสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันฝรั่งต่อคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

Comparison of Tapioca Starch and Potato Starch on the Qualities of Gluten-Free Instant Noodles Made from Brown Rice Flour Mixed with Rice flour.

ขวัญแก้ว สวณครำมดี<sup>1</sup> และ ดวงใจ ธีรธรรมถาวร<sup>1</sup>

Khuankaew Suankramdee<sup>1</sup> and Doungjai Thirathumthavorn<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สตาร์ชธรรมชาติ (สตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) และสตาร์ชมันฝรั่ง (PS)) และสตาร์ชดัดแปร (สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS) และสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร (PMS)) ในการผสมสำหรับผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า โดยวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ช สมบัติการหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัส ผลการวิจัย พบว่า สตาร์ชดัดแปรมีความหนืดสูงสุด สูงกว่าสตาร์ชธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์ชดัดแปร ใช้เวลาในการต้มบะหมี่ให้สุกน้อยกว่าสูตรที่ใช้สตาร์ชธรรมชาติ บะหมี่สูตรที่ใช้ TS และ TMS มีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของสุกกว่า และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าสูตรที่ใช้ PS และ PMS ลักษณะเนื้อสัมผัสของสูตรที่ใช้ TMS หรือ PMS มีค่า Springiness และ Cohesiveness สูงกว่าสูตรที่ใช้ TS หรือ PS จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้ TS ได้คะแนนการประเมินคุณภาพด้านความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเติม TS ช่วยปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

**คำสำคัญ :** บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตน แป้งข้าวกล้อง สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร

## Abstract

The aim of this study was to study the effect of native starches (tapioca starch (TS) and potato starch (PS)) and modified starches (tapioca modified starch (TMS) and potato modified starch (PMS)) on the qualities of gluten-free instant noodles made from brown rice flour mixed with rice flour. Pasting properties, cooking properties, texture profile and sensory evaluation were evaluated. The results were found that peak viscosity of modified starches was higher than its native starches significantly ( $p < 0.05$ ). Optimum cooking time of noodles samples containing modified starches was shorter than that of samples containing native starches. The samples containing TS and TMS had higher cooking yield and lower

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

cooking loss than those containing PS and PMS. The noodles with TMS or PMS had springiness and cohesiveness higher than the samples containing TS or PS. The highest elasticity and overall acceptability scores of gluten-free instant noodles were found in the sample containing TS. In conclusion, the addition of TS could improve the quality of gluten-free instant noodles made from brown rice flour mixed with rice flour.

**Keywords:** Gluten-free instant noodles, Brown rice flour, Tapioca starch, Modified tapioca starch, Potato starch, Modified potato starch

## บทนำ

โรคแพ้กลูเตน (Celiac Disease) เกิดจากภูมิคุ้มกันของร่างกายทำลายเยื่อลำไส้เล็ก จัดอยู่ในกลุ่มโรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเอง สาเหตุมาจากการบริโภคอาหารที่มีโปรตีนกลูเตน เมื่อกลูเตนเข้าไปถึงผนังลำไส้เล็ก ร่างกายคิดว่าเป็นสิ่งแปลกปลอม จะมีการสร้างแอนติบอดีเพื่อมาทำลายกลูเตน แต่ในขณะเดียวกันจะส่งผลข้างเคียง คือ วิถีชีวิตที่ผนังลำไส้เล็กจะถูกทำลายไปด้วย ทำให้ลำไส้อักเสบ และดูดซึมอาหารได้น้อยลง ผู้ป่วยที่เป็นโรคแพ้กลูเตน จะไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีกลูเตนเป็นส่วนประกอบได้ (Jnawali และคณะ, 2016) จากงานวิจัยของ Singh และคณะ (2018) สำรวจจำนวนผู้ป่วยโรคแพ้กลูเตน ทั่วโลกพบว่ามีประมาณ 1.4% โดยพบผู้ป่วยเพศหญิงมากกว่าเพศชาย และพบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารปลอดกลูเตน จึงเป็นทางเลือกให้กับผู้ป่วยหรือผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงอาหารที่มีกลูเตนซึ่งเป็นสารก่อภูมิแพ้

ปัจจุบันบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารที่ได้รับความนิยม เนื่องจากขั้นตอนในการปรุงง่าย ราคาไม่แพง และอายุการเก็บรักษานาน (Jeong และคณะ, 2017) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คือ แป้งสาลี ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ คือ กลูเตน โดยกลูเตนมีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงข่ายที่เป็นโครงสร้างของโด ทำให้โดยมีสมบัติวิสโคเอลาสติก เช่น ความยืดหยุ่น ความสามารถในการยืดออก ความต้านทานต่อการยืด ทนต่อการกวนผสม และความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ขึ้นรูปหรือรีดเป็นแผ่นได้ (มานพ, 2560) ดังนั้น ถ้าต้องการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตน จึงต้องใช้แป้งที่ไม่มีกลูเตน เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น ทั้งนี้มีงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่มีกลูเตนจำนวนมาก แต่การบริโภคแป้งข้าวเจ้าส่งผลต่อระดับของกลูโคสในเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น และการบริโภคผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้าในระยะยาวอาจทำให้ผู้ป่วยโรคเป็นโรคในกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ (Sumczynski และคณะ, 2016) จึงเริ่มมีงานวิจัยศึกษาการใช้แป้งข้าวกล้องในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากแป้งข้าวกล้องมีคุณค่าทางอาหาร และเป็นแหล่งของใยอาหาร

อย่างไรก็ตามการใช้แป้งข้าวกล้องในการผลิตอาหารปลอดกลูเตนส่งผลต่อกระบวนการผลิตอาหารปลอดกลูเตน และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารปลอดกลูเตน เนื่องจากแป้งข้าวกล้องไม่มีกลูเตน และมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (Kraithong และคณะ, 2019) ซึ่งมีผลต่อการขึ้นรูปหรือรีดเป็นแผ่น ถ้านำมาใช้ในการผลิตเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทำให้เส้นบะหมี่มีลักษณะที่ขาดง่าย ขาดความเหนียวและความยืดหยุ่น การผสมสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชมันฝรั่ง และสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรโดยวิธีทางเคมี

(Hydroxypropyl distarch phosphate : E1442) จากแหล่งดังกล่าว อาจช่วยปรับปรุงสมบัติของบะหมี่ปลอดกลูเตน จากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นเหน็ดแป้งและสตาร์ชชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร สตาร์ชมันฝรั่ง และ สตาร์ชมันฝรั่งตัดแปร ต่อคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

สูตรสำหรับผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าในงานวิจัย ได้จากการทดลองเบื้องต้น ในการกำหนดสัดส่วนของแป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวเจ้า และสตาร์ชทดลอง (TS, TMS, PS และ PMS) เท่ากับ 50 : 30 : 20 และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด ได้ดังนี้ แป้งข้าวกล้อง 25.7% แป้งข้าวเจ้า 15.4% สตาร์ช (TS, TMS, PS และ PMS) 10.3% โปรตีนถั่วเหลืองสกัด 5.1% กัวร์กัม 0.8% และแซนแทนกัม 0.8% น้ำ 41.2% เกลือ 0.5% โซเดียมคาร์บอเนต 0.1% ผสมโดยใช้เครื่องผสมแป้ง (KMX84, Kenwood) พักโด จากนั้นรีดโดแป้งโดยใช้เครื่องทำพาสต้า (Atlas 150, Marcato) เบอร์ 0 ถึง 5 ตามลำดับ นำแผ่นแป้งที่รีด ตัดเป็นเส้นบะหมี่ ขนาดเส้นกว้าง 1.5 มิลลิเมตร หนึ่งเป็นเวลา 10 นาที แล้วจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วินาที และนำไปทอดในกระทะทอดไฟฟ้า (WFT-4L, Wise) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.10 นาที

2. การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นเหน็ด (Pasting properties) ของแป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวเจ้าและสตาร์ช (TS, TMS, PS และ PMS)

ทดสอบโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA, Newport scientific) ในการทดสอบ โดยกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบ ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C คงที่นาน 1 นาที อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 50-95 °C ในเวลา 3.8 นาที อุณหภูมิที่ 95 °C นาน 2.4 นาที อุณหภูมิลดลงจาก 95-50 °C ในเวลา 3.8 นาที อุณหภูมิสุดท้ายที่ 50 °C คงที่นาน 2 นาที

3. คุณภาพด้านการหุงต้ม

การศึกษาคุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก (Optimum cooking time) ร้อยละน้ำหนักรที่ได้อหลังการต้ม (% Cooking yield) และ ร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม (% Cooking loss) ตามวิธีการของ AACCI (2000)

4. สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

ลักษณะด้านเนื้อสัมผัสวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro System™, England) ตัดแปลงตามวิธีการของ Choy และคณะ (2012) เตรียมตัวอย่างโดยต้มตัวอย่างตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก แล้วแช่ตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 17 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างอย่างไปสะเด็ดน้ำด้วยเครื่องสลัดน้ำ แล้วเก็บรักษาในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสีย ซึ่งเส้นบะหมี่ประมาณ 0.5-0.6 กรัม แบ่งเส้นเป็น 6 ส่วน วางขนานกันในแนวตั้งบนฐานวัด และอยู่ภายใต้หัววัด วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีแบบ TPA (Texture Profile Analysis) ใช้ compression mode ตั้งค่า pre-test, test และ post-test speed 2.00 mm/s และ

strain 75% ใช้หัววัดแบบ cylinder probe ขนาด 50 mm (p/50) เพื่อวัดค่า hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness และ chewiness

#### 5. สมบัติทางด้านประสาทสัมผัส

ทดสอบโดยดมเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในน้ำซุปร้อนตามเวลาที่เหมาะสม และเสิร์ฟโดยเติมน้ำซุปร้อน และทำการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค 51 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 คะแนน (9-Point Hedonic Scale) ในด้านความเรียบเนียนของผิวเส้นบะหมี่ สี ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวม

#### 6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

สำหรับผลการทดลองพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืด (Pasting properties) ของสารละลายแป้งและสตาร์ชที่เปรียบเทียบความแตกต่าง 2 ตัวอย่าง ใช้ T-test สำหรับผลการทดลองที่เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่างที่มากกว่า 2 ตัวอย่าง ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test ( $P < 0.05$ ) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 16.0

### ผลและวิจารณ์

#### 1. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืด (Pasting properties) ของแป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวเจ้า และสตาร์ช (TS, TMS, PS และ PMS)

จากตารางที่ 1 พบว่าสตาร์ชมันฝรั่ง (PS) มีความหนืดมากที่สุด จึงต้องทดสอบที่ความเข้มข้น 5% รองลงมาเป็นสตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) ซึ่งทดสอบที่ความเข้มข้น 8% และ แป้งข้าวกล้อง (BRF) และแป้งข้าวเจ้า (RF) ทดสอบที่ความเข้มข้น 10% การทดสอบตัวอย่างแป้ง หรือสตาร์ช ทดสอบที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชดัดแปรจากแหล่งเดียวกัน และเปรียบเทียบแป้งข้าวกล้องกับแป้งข้าวเจ้าได้อย่างชัดเจน

การเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่างสตาร์ชที่มาจากธรรมชาติ (สตาร์ชมันสำปะหลัง, สตาร์ชมันฝรั่ง) และสตาร์ชดัดแปร (สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS), สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร (PMS)) พบว่า สตาร์ชดัดแปรมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) สูงกว่าสตาร์ชจากธรรมชาติ เนื่องจากสตาร์ชดัดแปรผ่านการดัดแปรโดยการเติมฟังก์ชัน ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ เมื่อน้ำเข้าไปยังเม็ดสตาร์ชจะไปจับกับหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวได้ง่ายมากขึ้น (Wurzburg, 1986) เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่างแป้งข้าวกล้อง และแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งข้าวกล้องมีค่า Peak viscosity สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากแป้งข้าวกล้องที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมจากข้าวหอมมะลิซึ่งมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอะไมโลเพคตินมีความสามารถในการจับโมเลกุลของน้ำสูง ต้องการพลังงานน้อยในการทำให้เม็ดแป้งสุก และเม็ดแป้งแตกหักง่าย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า Breakdown สูง (Kraithong และคณะ, 2018)

#### ตารางที่ 1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืด (Pasting properties) ของแป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวเจ้า และสตาร์ช (TS, TMS, PS และ PMS)

พารามิเตอร์	ตัวอย่าง <sup>1/</sup>					
	PS	PMS	TS	TMS	BRF	RF
Peak (RVU)	225.3 ± 2.8 <sup>a,2/</sup>	291.5 ± 3.9 <sup>b</sup>	198.3 ± 2.5 <sup>a</sup>	316.7 ± 8.1 <sup>b</sup>	260.8 ± 11.2 <sup>b</sup>	211.5 ± 5.4 <sup>a</sup>
Trough (RVU)	105.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	273.4 ± 3.9 <sup>b</sup>	81.8 ± 1.3 <sup>a</sup>	205.2 ± 5.0 <sup>b</sup>	177.0 ± 2.8 <sup>b</sup>	164.8 ± 4.8 <sup>a</sup>
Breakdown (RVU)	120.3 ± 2.9 <sup>b</sup>	18.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	116.4 ± 1.2 <sup>a</sup>	111.5 ± 3.1 <sup>a</sup>	83.8 ± 8.3 <sup>b</sup>	46.6 ± 0.5 <sup>a</sup>
Final Viscosity (RVU)	119.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	404.0 ± 7.9 <sup>b</sup>	125.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	297.1 ± 0.6 <sup>b</sup>	344.1 ± 7.7 <sup>b</sup>	303.0 ± 5.7 <sup>a</sup>
Setback (RVU)	14.1 ± 0.3 <sup>a</sup>	130.6 ± 4.0 <sup>b</sup>	43.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	91.8 ± 4.3 <sup>b</sup>	167.1 ± 4.9 <sup>b</sup>	138.1 ± 0.8 <sup>a</sup>
Pasting Temperature (°C)	70.23 ± 0.04 <sup>b</sup>	66.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	73.1 ± 0.6 <sup>b</sup>	61.8 ± 0.0 <sup>a</sup>	87.5 ± 0.6 <sup>a</sup>	90.8 ± 0.4 <sup>b</sup>

หมายเหตุ 1/ ความชื้นเหน็ดของสตาร์ชมันฝรั่ง (PS) และสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร (PMS) ทดสอบที่ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักแห้ง, สตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS) ทดสอบที่ความเข้มข้น 8% โดยน้ำหนักแห้ง แป้งข้าวกล้อง และแป้งข้าวเจ้า ทดสอบที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักแห้ง

2/ ตัวอักษรที่ต่างกันแถวของตัวอย่างแป้ง หรือสตาร์ชจากแหล่งเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

## 2. สมบัติการหุงต้ม

จากผลการตรวจสอบคุณภาพด้านการต้มบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สตาร์ชชนิดต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 2 พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์ชดัดแปร (TMS และ PMS) ใช้เวลาในการต้มบะหมี่ให้สุกน้อยกว่าสูตรที่ใช้สตาร์ชธรรมชาติ (TS และ PS) โดยเวลาที่ใช้ในการต้มเส้นบะหมี่ให้สุกสอดคล้องกับพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นเหน็ดของสตาร์ช ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่เกิดความเหน็ดสูงสุด ของสตาร์ชดัดแปรต่ำกว่าสตาร์ชธรรมชาติ จึงทำให้เม็ดสตาร์ชดัดแปรพองตัวและสุกเร็วกว่าสูตรที่ผสมสตาร์ชธรรมชาติ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร (PMS) มีค่าน้ำหนักที่ได้หลังการต้มต่ำกว่าสูตรที่ใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS) และปริมาณของแข็งที่สูงูยเสียระหว่างการต้มสูงกว่าสูตรที่ใช้ สตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS) และสตาร์ชมันฝรั่ง (PS) อาจเนื่องจากสตาร์ชที่ผลิตจากมันฝรั่งมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าสตาร์ชที่ผลิตจากมันสำปะหลัง เมื่อนำเส้นบะหมี่ไปต้มให้ความร้อนส่วนของอะไมโลสสามารถออกจากโครงสร้างของเส้นบะหมี่ได้ง่าย ประกอบกับการนำสตาร์ชมันฝรั่งไปผ่านการดัดแปรทางเคมี โดยการเติมหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความชอบน้ำ ทำให้โครงสร้างของเส้นสามารถจับโมเลกุลของน้ำได้เร็วมากขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวได้เร็ว และปลดปล่อยอะไมโลสจากโครงสร้างได้ง่าย

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านการหุงต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่าง	คุณภาพการหุงต้ม		
	Cooking time (sec.)	Cooking yield (%)	Cooking loss (%)
BRF : RF : TS	253 ± 5.77 <sup>c</sup>	312.36 ± 7.03 <sup>b</sup>	11.69 ± 1.60 <sup>a</sup>
BRF : RF : TMS	213 ± 5.77 <sup>a</sup>	316.60 ± 13.81 <sup>b</sup>	13.36 ± 1.73 <sup>ab</sup>

BRF : RF : PS	263 ± 5.77 <sup>c</sup>	294.24 ± 2.99 <sup>a</sup>	14.96 ± 0.57 <sup>b</sup>
BRF : RF : PMS	237 ± 5.77 <sup>b</sup>	293.67 ± 2.78 <sup>a</sup>	18.07 ± 1.42 <sup>c</sup>

หมายเหตุ abc ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

### 3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สตาร์ชชนิดต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องสูตรที่ผสมสตาร์ชมันฝรั่ง (PS) และสตาร์ช มันฝรั่งดัดแปร (PMS) มีค่า Hardness และ Chewiness มากกว่าสูตรที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร (TMS) เนื่องจากสตาร์ชที่ผลิตจากมันฝรั่ง มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าสตาร์ชที่ผลิตจากมันสำปะหลัง (Zhang และคณะ, 2017) ซึ่งสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงส่งผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นผลึกได้ง่ายขึ้น ค่า Adhesiveness ของสูตรที่ผสมสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร (PMS) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสูตรสตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) ส่วนค่า Springiness และค่า Cohesiveness ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ผสมสตาร์ชดัดแปร (TMS และ PMS) มีค่ามากกว่าสูตรสตาร์ชธรรมชาติ (TS และ PS)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปลดคอเลสเตอรอลจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า

Texture profile	ตัวอย่าง			
	BRF : RF : TS (50 : 30 : 20)	BRF : RF : TMS (50 : 30 : 20)	BRF : RF : PS (50 : 30 : 20)	BRF : RF : PMS (50 : 30 : 20)
Hardness (N)	22.61 ± 2.37 <sup>b</sup>	9.95 ± 0.56 <sup>a</sup>	25.95 ± 1.05 <sup>c</sup>	25.88 ± 2.48 <sup>c</sup>
Adhesiveness (N.sec)	-1.58 ± 0.24 <sup>b</sup>	-1.39 ± 0.17 <sup>a</sup>	-1.33 ± 0.14 <sup>a</sup>	-2.05 ± 0.25 <sup>c</sup>
Springiness	0.80 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.82 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.01 <sup>c</sup>
Cohesiveness	0.49 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.54 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.57 ± 0.01 <sup>c</sup>
Chewiness	8.98 ± 1.28 <sup>b</sup>	5.75 ± 0.25 <sup>a</sup>	11.34 ± 0.68 <sup>c</sup>	13.60 ± 0.94 <sup>d</sup>



หมายเหตุ abc ตัวอักษรที่ต่างกันแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4. การประเมินทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4 พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สตาร์ชนิดต่างๆ มีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบเนียนของผิวเส้นบะหมี่ สี และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์จากมันสำปะหลัง (TMS และ TS) ได้คะแนนการประเมินคุณภาพด้านความยืดหยุ่นของเส้นบะหมี่ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.6 คะแนน และ 7.0 คะแนน ตามลำดับ จากคะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์จากมันฝรั่ง (PMS และ PS) ได้คะแนนต่ำกว่าสตาร์จากมันสำปะหลัง (TMS และ TS) อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติด้านการหุงต้มของบะหมี่สูตรที่ผลิตจากสตาร์มันฝรั่ง (PMS และ PS) ที่พบว่ามีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มเส้นบะหมี่ต่ำ และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสูง

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าที่เตรียมในน้ำซุปล

ตัวอย่าง	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	ความเรียบเนียนของผิวเส้นบะหมี่ <sup>ns</sup>	สีของเส้นบะหมี่ <sup>ns</sup>	ความแน่นเนื้อ <sup>ns</sup>	ความยืดหยุ่น	ความชอบโดยรวม
BRF : RF : TS	7.3 ± 1.1	7.0 ± 1.1	6.3 ± 1.4	6.6 ± 1.0 <sup>c</sup>	7.0 ± 1.0 <sup>b</sup>
BRF : RF : TMS	7.3 ± 1.0	7.0 ± 1.2	6.2 ± 1.4	6.2 ± 1.6 <sup>bc</sup>	6.6 ± 1.2 <sup>ab</sup>
BRF : RF : PS	7.3 ± 1.0	6.9 ± 1.2	6.1 ± 1.5	5.9 ± 1.5 <sup>ab</sup>	6.5 ± 1.3 <sup>ab</sup>
BRF : RF : PMS	7.2 ± 1.0	7.0 ± 1.1	5.7 ± 1.4	5.6 ± 1.4 <sup>a</sup>	6.1 ± 1.4 <sup>a</sup>

หมายเหตุ abc ตัวอักษรที่ต่างกันคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### สรุป

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ใช้สตาร์ดัดแปร ช่วยทำให้เวลาที่ใช้ในการต้มบะหมี่ให้สุกน้อยลง โดยบะหมี่สูตรที่ใช้สตาร์มันสำปะหลังทั้งสตาร์ธรรมชาติ และสตาร์ดัดแปร มีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มสูง และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าสูตรที่ใช้ PS และ PMS บะหมี่สูตรที่ใช้ TS ได้คะแนนการประเมินคุณภาพด้านความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นการเติม TS เพื่อผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งข้าวกล้องผสมแป้งข้าวเจ้า ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสมบัติการหุงต้ม และเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ในการประเมินทางประสาทสัมผัส ดีกว่าสูตรที่ผสม TMS PS และ PSM

#### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเงินสนับสนุนจาก ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

## เอกสารอ้างอิง

- มานพ สุพรรณธริกา. (2560). *วิทยาการกระแส Rheology การประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหาร Applications in the Food Industry*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Choy, A.L., May, B.K., Small, D.M. (2012). The effects of acetylated potato starch and sodium carboxymethyl cellulose on the quality of instant fried noodles. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 2-8. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.02.001
- Jeong, S., Kim, M., Yoon, M., Lee, S. (2017). Preparation and characterization of gluten-free sheeted doughs and noodles with zein and rice flour containing different amylose contents. *Journal of Cereal Science*, 75, 138-142. doi:10.1016/j.jcs.2017.03.022
- Jnawali, P., Kumar, V., Tanwar, B., (2016). Celiac disease: Overview and considerations for development of gluten-free foods. *Food Science and Human Wellness*, 5, 169-176. doi:10.1016/j.fshw.2016.09.003
- Kraithong, S., Lee, S., Rawdkuen, S. (2018). Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 259-266. doi:10.1016/j.jcs.2017.10.015
- Kraithong, S., Lee, S., Rawdkuen, S. (2019). The influence of hydrocolloids on the properties organic red jasmine rice noodles, namely on antioxidant activity, cooking, texture, and sensory properties. *Starch*, 71, 1-9. doi:10.1002/star.2018.00.145
- Singh, P., Arora, A., Strand, T.A., Leffler, D.A., Catassi, C., Green, P.H., Kelly, C.P., Ahuja, V., Makharia, G. K., (2018). Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 16(6), 823-836. doi:10.1016/j.cgh.2017.06.037
- Sumczynski, D., Kota skova, E., Druz bi kova, H., Mlc ek J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*. 211, 339-346. doi:10.1016/j.foodchem.2016.05.081
- Wurzburg, O. B. (1986). *Modified Starches : properties and uses*. Boca Raton, Florida : CRC Press.

# การศึกษาการขยายตัวของแฮดลีย์เซลล์จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง

## A study of the expansion of Hadley cells from high cloud cover data

วันเฉลิม ชนะเลิศ<sup>1</sup> สุมามาลย์ บรรเทิง<sup>1</sup> และ เสริม จันทร์ฉาย<sup>1</sup>  
Wanchalerm Chanalet<sup>1</sup> Sumaman Buntoung<sup>1</sup> and Serm Janjai<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงที่ได้จากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) ของเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ในปี ค.ศ. 1979 ถึง ปี ค.ศ. 2018 มาวิเคราะห์เพื่อหาขอบของแฮดลีย์เซลล์ซึ่งเป็นการหมุนเวียนของอากาศในแถบเขตร้อนของโลก เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้ ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบขอบของแฮดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงกับที่ได้จากการคำนวณค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวล (mass stream function) ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดี จากนั้นทำการหาขนาดของการขยายตัวของแฮดลีย์เซลล์โดยวิเคราะห์จากกราฟแนวโน้มอนุกรมเวลาของขอบแฮดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง พบว่าการขยายตัวของเขตร้อนเท่ากับ 6.13 องศาละติจูดในซีกโลกเหนือและ 1.15 องศาละติจูดในซีกโลกใต้

**คำสำคัญ:** ปริมาณเมฆชั้นสูง, แฮดลีย์เซลล์, การขยายตัวของเขตร้อน

### Abstract

In this work, high cloud cover data from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (from December to February in 1979 to 2018) were used to investigate the expansion of the Hadley cells, which are the tropical circulation. To verify the result, the edges of Hadley cells obtained from the high cloud cover data were compared with those calculated from the mass stream function. The comparison results show a reasonable agreement. Afterward, the expansion of the edge of the Hadley cells were analyzed using time series of the edge of the Hadley cells from high cloud data. The tropical expansion was found to be 6.13 degree latitude in northern hemisphere and 1.15 degree latitude in southern hemisphere.

**Keyword:** High cloud cover, Hadley cells, Tropical expansion

---

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

## บทนำ

แฮดลีย์เซลล์เป็นการหมุนเวียนของอากาศแถบเขตร้อนของโลก ซึ่งมีขอบเขตระหว่างศูนย์สูตร (equator) ถึงบริเวณกึ่งเขตร้อน (subtropical zone) ทั้งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ แฮดลีย์เซลล์เกิดจากการยกตัวของอากาศบริเวณศูนย์สูตรจนถึงระดับความสูงประมาณ 15 กิโลเมตร อากาศนี้จะแยกตัวเคลื่อนที่ไปทางซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้และไปจมตัวลงในบริเวณกึ่งเขตร้อนของโลก (ละติจูดประมาณ 30 องศา) จากนั้นอากาศนี้จะไหลเวียนมาตามพื้นผิวโลกกลับมาถึงบริเวณศูนย์สูตร ผลจากการไหลเวียนของแฮดลีย์เซลล์จะทำให้บริเวณศูนย์สูตรมีเมฆความชื้นและฝนหนาแน่น ในทางตรงกันข้ามบริเวณกึ่งเขตร้อนของโลกจะมีความแห้งแล้งมาก

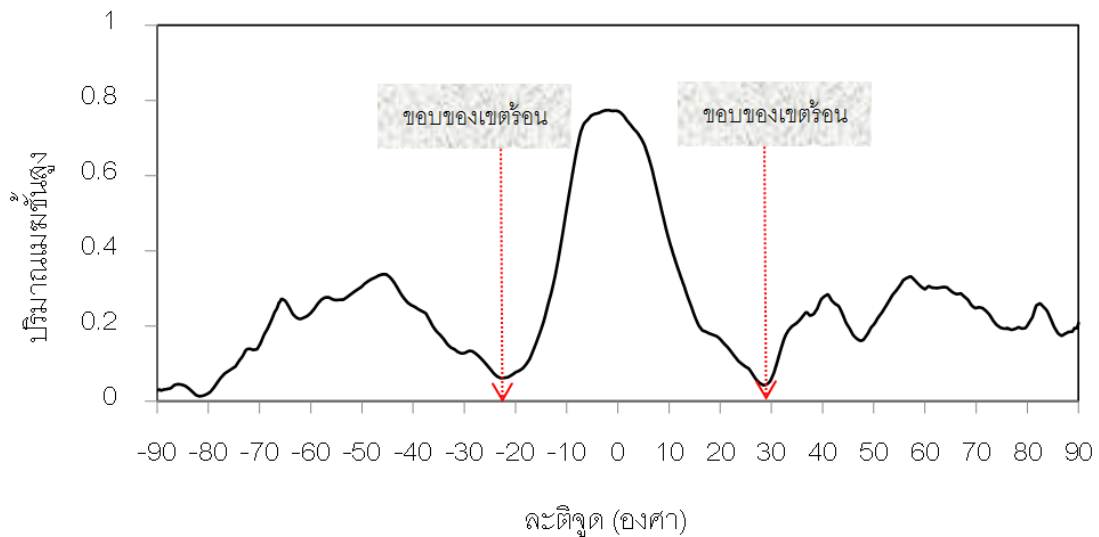
จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Hu and Fu, 2007; Isaac and Turton, 2009; Hu et al., 2011; Heffernan, 2016) พบว่ามีการขยายตัวของแฮดลีย์เซลล์ซึ่งอาจมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดย Davis และ Birner (2013) ได้ทำการศึกษาการขยายตัวของแฮดลีย์เซลล์จากฟังก์ชันกระแสเชิงมวล (mass stream function) และชี้ให้เห็นว่าแฮดลีย์เซลล์มีการขยายตัวตั้งแต่นั้นปี ค.ศ. 1979 ซึ่งการขยายตัวดังกล่าวส่งผลให้เขตร้อนของโลกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากการคำนวณฟังก์ชันกระแสเชิงมวลมีความยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเสนอการใช้ข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงซึ่งเป็นตัวแปรทางบรรยากาศเพื่อบ่งบอกการขยายตัวของแถบเขตร้อน ในช่วงลองจิจูด  $90^{\circ}\text{E}$ - $110^{\circ}\text{E}$  ซึ่งครอบคลุมบริเวณอนุภูมิภาคุ่มแม่น้ำโขง (Greater Mekong Subregion, GMS) ที่เป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

## วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอวิธีการหาขนาดของการขยายตัวของเขตร้อนโดยใช้ข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง

## ข้อมูลและวิธีการ

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงจากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) ในชุดข้อมูล ERA-Interim (Dee et al., 2011) ซึ่งทำการดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/levtype=sfc/> เป็นข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 ถึงปี ค.ศ. 2018 รวม 40 ปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวในซีกโลกเหนือและเป็นฤดูร้อนในซีกโลกใต้ โดยข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงที่ใช้จะมีขนาดความละเอียด  $0.25$  องศาละติจูด  $\times$   $0.25$  องศาลองจิจูด ครอบคลุมพื้นที่ลองจิจูดตั้งแต่  $90$  องศาตะวันออก ถึง  $110$  องศาตะวันออก ของทั้งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงจะแปรค่าอยู่ในช่วง  $0$ - $1$  ซึ่งค่า  $0$  บ่งบอกถึงท้องฟ้าปราศจากเมฆและค่า  $1$  บ่งบอกว่ามีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า โดยจะทำการเฉลี่ยข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงในแต่ละเดือนตามแนวละติจูด (zonal mean) เมื่อนำข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงที่เฉลี่ยแล้วมาเขียนเป็นกราฟเทียบกับละติจูด จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



**รูปที่ 1** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นสูงเฉลี่ยกับละติจูดและตำแหน่งขอบของเขตร้อน

จากรูปที่ 1 ละติจูดที่ปริมาณเมฆชั้นสูงเฉลี่ยมีค่าสูงสุดสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีอากาศชื้นใกล้กับศูนย์สูตร ในขณะที่บริเวณที่มีปริมาณเมฆชั้นสูงปกคลุมน้อยสุดสอดคล้องกับบริเวณกึ่งเขตร้อน (ประมาณละติจูดที่ 30 องศา) ที่มีความแห้งแล้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ละติจูดที่ปริมาณเมฆชั้นสูงเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดเป็นดัชนีที่บ่งบอกขอบของแอตลันติกเซลล์

สำหรับการคำนวณค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวล (mass stream function,  $\psi$ ) จะใช้ข้อมูลความเร็วลมในแนวตั้งรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจาก ERA-Interim ครอบคลุมพื้นที่เดียวกับข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง มาคำนวณตามสมการ (Holton, 1994)

$$\psi(\theta, p) = \frac{2\pi a \cos \theta}{g} \int_0^p \bar{V}(\theta, p) \cdot dp$$

โดยที่  $a$  คือรัศมีของโลก เท่ากับ 6,371 กิโลเมตร

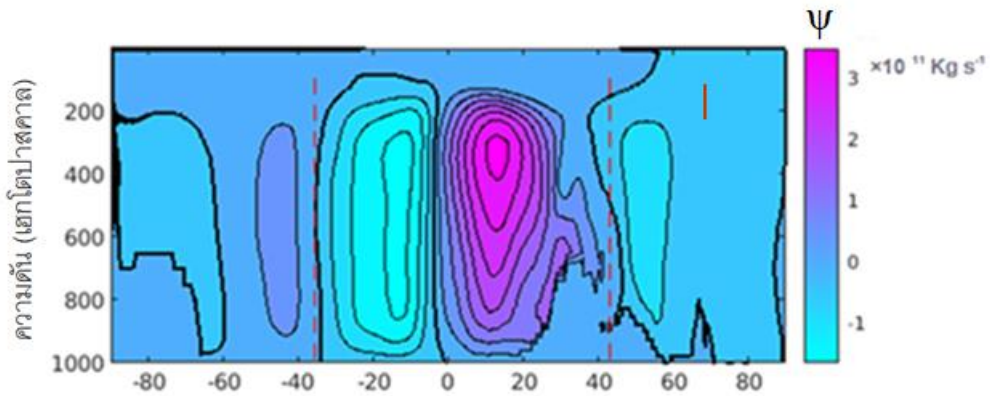
$g$  คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.81 เมตร/(วินาที)<sup>2</sup>

$\bar{V}$  คือค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในแนวตั้ง (เมตร/วินาที)

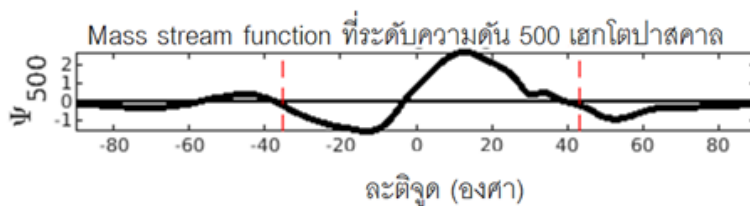
$p$  คือระดับความดัน (เฮกโตปาสกาล)

$\theta$  คือละติจูด (องศา)

จากนั้นจะหาขอบของแถบเขตร้อนหรือขอบของแอตลันติกเซลล์ได้จากละติจูดที่ค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวลที่ระดับความดัน 500 เฮกโตปาสกาลมีค่าเป็นศูนย์ในบริเวณกึ่งเขตร้อนของโลก ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก)



(ข)

**รูปที่ 2** (ก) ค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวล ( $\psi$ ) ที่ระดับความดันและละติจูดต่างๆ และ (ข) ค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวลที่ระดับความดัน 500 เฮกโตปาสคาลที่ละติจูดต่างๆ (เส้นประสีแดงคือ ขอบของแถบเขตร้อน)

จากนั้นทำการเปรียบเทียบขอบของแอสดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงกับที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชันกระแสเชิงมวลแล้วหาขนาดของการขยายตัวของแอสดลีย์เซลล์โดยการวิเคราะห์จากกราฟแนวโน้มอนุกรมเวลาของขอบแอสดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูง

### ผลและวิจารณ์

ค่าขอบของแอสดลีย์เซลล์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงและที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชันกระแสเชิงมวลพบว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดี โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $r$ ) ดังแสดงในตารางที่ 1

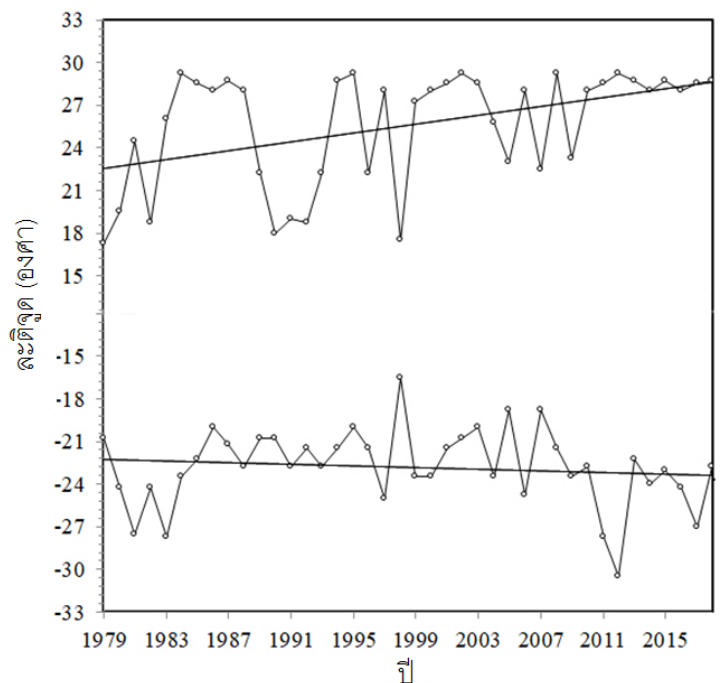
**ตารางที่ 1** ค่าความสัมพันธ์ระหว่างขอบของแอสดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงกับที่ได้จากการคำนวณจากฟังก์ชันกระแสเชิงมวล

ตำแหน่ง	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ขอบซีกโลกเหนือ	0.334
ขอบซีกโลกใต้	0.514

ความกว้างของแฮดลีย์เซลล์	0.519
--------------------------	-------

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งเป็นตัวเลขที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของสองตัวแปร โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่า +1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ ค่า 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน (Hair et al., 2010) จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าขอบของแฮดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงและที่คำนวณได้จากค่าฟังก์ชันกระแสเชิงมวลมีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี โดยขอบทางซีกโลกเหนือ  $r=0.334$  ขอบทางซีกโลกใต้  $r=0.514$  และความกว้างของแฮดลีย์เซลล์ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างขอบของซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้  $r=0.519$  แสดงให้เห็นว่าข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงสามารถนำมาชี้วัดการขยายตัวของแถบเขตร้อนได้

ผลจากการเขียนกราฟอนุกรมเวลาของขอบแฮดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงในแต่ละปี ดังรูปที่ 3 เส้นแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าขอบของแฮดลีย์เซลล์ทั้งสองซีกโลกมีการขยายตัวไปทางขั้วโลก โดยพบว่าการขยายตัวของแถบเขตร้อนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979-2018 มีขนาดเท่ากับ 6.13 องศาละติจูดในซีกโลกเหนือ และ 1.15 องศาละติจูดในซีกโลกใต้หรือคิดเป็นระยะประมาณ 680 กิโลเมตรในซีกโลกเหนือ และ 128 กิโลเมตรในซีกโลกใต้ (ระยะห่างระหว่างเส้นละติจูด 1 องศา คิดเป็นระยะทางบนผิวพิภพประมาณ 111 กิโลเมตร) ซึ่งการขยายตัวนี้อาจมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่แห้งแล้งของโลก



รูปที่ 3 อนุกรมเวลาของขอบแฮดลีย์เซลล์ที่ได้จากข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979-2018 และเส้นแนวโน้มของขอบแฮดลีย์เซลล์ของซีกโลกทั้งสอง

### บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณเมฆชั้นสูงเป็นดัชนีในการบอกตำแหน่งของขอบแอสตีร์เชลล์ และได้ทำการหาขนาดของการขยายตัวของแอสตีร์เชลล์ พบว่าการขยายตัวของแถบเขตร้อนมีขนาดเท่ากับ 6.13 องศาละติจูดในซีกโลกเหนือและ 1.15 องศาละติจูดในซีกโลกใต้ ซึ่งผลจากการค้นพบนี้จะเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการชะลอหรือยับยั้งการขยายตัวของพื้นที่เขตร้อนของโลก

### คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นายวันเฉลิม ชนะเลิศ (สัญญาเลขที่ PHD/0201/2559)

### เอกสารอ้างอิง

- Davis, N. A., & Birner, T. (2013). Seasonal to multidecadal variability of the width of the tropical belt. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(14), 7773-7787.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Adrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., & Bauer, P. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597.
- Heffernan, O. (2016). The mystery of the expanding tropics. *Nature*, 530(7588), 20.
- Holton, J.R. (1994). An introduction to dynamic meteorology. *Academic Press, New York*.
- Hu, Y., & Fu, Q. (2007). Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(19), 5229-5236.
- Hu, Y., Zhou, C., & Liu, J. (2011). Observational evidence for poleward expansion of the Hadley circulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28(1), 33-44.
- Isaac, J., & Turton, S. (2009). Expansion of the tropics: Evidence and implications. 16pp. *James Cook University, Townsville, Australia*. 435-447.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis*. 7<sup>th</sup> edition, *Pearson*, 156-157.



# การวิเคราะห์การขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน *CYP21A2* จากการครอสโอเวอร์ไม่ตรงกัน ในผู้ป่วยชาวไทยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส

Large gene deletion analysis of the *CYP21A2* gene via unequal crossover  
in Thai patients with steroid 21-hydroxylase deficiency

นายนิธิพัฒน์ ตันศิริภักดิ์

## บทคัดย่อ

โรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิด เป็นโรคทางพันธุกรรมที่พบได้บ่อยในกลุ่มโรคต่อมหมวกไตชั้นนอก และมากกว่าร้อยละ 90 ของผู้ป่วยโรคนี้มีสาเหตุจากภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส โดยถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบยีนด้อย เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีน *CYP21A2* ที่มีหน้าที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ในกระบวนการสเตียรอยโดเจเนซิสของฮอร์โมนคอร์ติซอล หากผู้ป่วยที่มีภาวะดังกล่าวไม่ได้รับการตรวจรักษาจะมีความผิดปกติและเสียชีวิตได้ ยีน *CYP21A2* เป็นยีนจริงอยู่บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมแท่งที่ 6 (6p21.3) บริเวณ HLA class III ซึ่งเป็นกลุ่มยีนที่มีโครงสร้างซับซ้อน เนื่องจากยีน *CYP21A2* มีลำดับนิวคลีโอไทด์เกือบทั้งหมดเหมือนกับยีน *CYP21A1P* ซึ่งเป็นยีนเทียมที่ไม่มีการแสดงออก ทำให้เกิดการครอสโอเวอร์ไม่ตรงกันระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส โครมาทิดหนึ่งจึงประกอบด้วยยีน *CYP21A2* ที่ทำงานปกติ กับยีนเทียม *CYP21A1P* และยีนลูกผสม *CYP21A2/CYP21A1P* อีกโครมาทิดหนึ่งประกอบด้วยยีนลูกผสม *CYP21A1P/CYP21A2* (มีการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน *CYP21A2*) การกลายพันธุ์นี้จึงมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิด การศึกษานี้ใช้การเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส เพื่อตรวจสอบการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน ผู้ศึกษาตรวจสอบอัลลีลจากผู้ป่วย จำนวน 49 ราย พบ 23 อัลลีลมีการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน *CYP21A2* คิดเป็นร้อยละ 23.5 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยีน *CYP21A2* และยีนเทียม *CYP21A1P* จึงเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับความผิดปกติทางพันธุกรรมในผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลสในประเทศไทย และวิธีการทางอณูพันธุศาสตร์นี้ช่วยให้แพทย์มีการวินิจฉัยโรคที่ชัดเจน เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่เหมาะสมตั้งแต่แรกวินิจฉัย รวมถึงการให้คำปรึกษาทางพันธุศาสตร์ที่เหมาะสมแก่ผู้ป่วยได้

**คำสำคัญ:** โรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิด ภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส ยีน *CYP21A2* การขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน การเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส

## Abstract

Congenital adrenal hyperplasia (CAH) is one of the most common inherited adrenal disorders. More than 90% of the cases are 21-hydroxylase deficiency (21-OHD), an enzyme encoded by the *CYP21A2* gene. CAH includes a group of autosomal recessive disorders caused by the mutations in the genes encoding for steroidogenic enzymes that involve in cortisol synthesis. Without diagnosed and untreated, it can lead a significant morbidity and mortality in affected patients. The *CYP21A2* gene is located in the HLA class III region on the short arm of the chromosome 6p21.3. It is a part of a complicated structure which has high degree of sequence homology between the functional *CYP21A2* gene and the non-functional *CYP21A1P* pseudogene, leading to a high recombination rate of this locus during meiosis and subsequent unequal crossover of sister chromatids. The possible consequences include a chromatid with one *CYP21A2* copy, one *CYP21A1P* copy, and a *CYP21A2/CYP21A1P* chimera and another chromatid with a *CYP21A1P/CYP21A2* chimera (large gene deletion). These mutations are associated with the pathogenesis of CAH. In this study, large gene deletion was investigated by locus-specific PCR. We successfully detected *CYP21A1P/CYP21A2* allele from 49 patients. Twenty-three alleles with large gene deletion were identified (23.5%). The study of *CYP21A2* and related pseudogene would expand our understanding about the genetic defects of 21-OHD patients in Thailand. This molecular method facilitates the definite diagnosis, early initiation of appropriate therapy as well as proper genetic counseling.

**Keywords:** Congenital adrenal hyperplasia, 21-hydroxylase deficiency, *CYP21A2* gene, Large gene deletion, Locus-specific PCR

## บทนำ

โรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิดอยู่ในกลุ่มโรคต่อมหมวกไตที่พบบ่อย โดยกว่าร้อยละ 90 ของผู้ป่วยโรคนี้มีสาเหตุมาจากภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส โรคนี้มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบยีนด้อยบนออโตโซม (autosomal recessive inheritance) (White & Speiser, 2000) เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีน *CYP21A2* มีหน้าที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม cytochrome ชนิด P450c21 ที่สำคัญต่อกระบวนการไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) (Higashi, Yoshioka, Yamane, Gotoh, & Fujii-Kuriyama, 1986) เอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสร้างฮอร์โมนคอร์ติซอล (cortisol hormone) และฮอร์โมนแอลโดสเตอโรน (aldosterone hormone) ของต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex) (Miller & Auchus, 2011) ภาวะพร่องเอนไซม์ 21-hydroxylase จึงทำให้ผู้ป่วยขาดฮอร์โมนคอร์ติซอลและฮอร์โมนแอลโดสเตอโรน (Speiser et al., 2018) และเกิดการคั่งของฮอร์โมน 17-ไฮดรอกซีโพรเจสเตอโรน (17-hydroxyprogesterone) ที่นำไปสู่กระบวนการสร้างฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen) ของต่อมหมวกไต ทำให้มีการสร้างฮอร์โมนแอนโดรเจนเพิ่มขึ้นกว่าปกติ (Miller & Auchus, 2011; Speiser et al., 2018;

Speiser et al., 2010) ยีน *CYP21A2* อยู่ใน RCCX module ของกลุ่มยีน HLA major histocompatibility complex (MHC) class III บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมแท่งที่ 6 ตำแหน่ง 21.3 (6p21.3) ที่โครงสร้างมีความซับซ้อน (Lee, 2005) เนื่องด้วยยีน *CYP21A2* ซึ่งเป็นยีนจริงที่ทำงานได้ (genuine gene) มีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกัน (sequence homology) กับยีน *CYP21A1P* ซึ่งเป็นยีนเทียม (pseudogene) สูงถึงร้อยละ 98 ในส่วนเอ็กซอน และร้อยละ 96 ในส่วนอินทอน (Yang, Mendoza, Welch, Zipf, & Yu, 1999) การมีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกันเกือบทั้งยีน ทำให้เกิดการเข้าคู่และถ่ายโอนลำดับนิวคลีโอไทด์กันระหว่างยีนจริงและยีนเทียมในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Balsamo, Baldazzi, Menabo, & Cicognani, 2010) ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ที่ไม่ตรงกัน (unequal crossover) ทำให้เกิดยีนลูกผสม *CYP21A2/CYP21A1P* และยีนลูกผสม *CYP21A1P/CYP21A2* ที่มีการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน (large gene deletion) (Narasimhan & Khattab, 2019) (รูปที่ 1) เซาเทิร์นบลอตไฮบริไดเซชัน (southern blot hybridization) เป็นวิธีดั้งเดิมที่นิยมนำมาใช้ตรวจหาการกลายพันธุ์แบบขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน แต่มีข้อจำกัดมาก เช่น ใช้เวลานาน อาศัยทักษะทางปฏิบัติการและต้องใช้สารพันธุกรรมปริมาณมาก และข้อจำกัดในการตรวจหายีนลูกผสม *CYP21A1P/CYP21A2* (Lee, Lee, & Chao, 2010) ต่อมามีการนำวิธีเอ็มแอลพีเอ (multiplex ligation-dependent probe amplification, MLPA) มาใช้ ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดข้างต้น (Concolino et al., 2009; Sorensen et al., 2008) สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ปัจจุบันวิธีการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัสได้รับการพัฒนาในลำดับต่อมา เพื่อตรวจหาการกลายพันธุ์แบบขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน (Ma et al., 2014) ที่มีความจำเพาะกับยีนโดยตรง ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือ ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงใช้วิธีการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส เพื่อตรวจหาการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีนในผู้ป่วยโรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิด ที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิลเลส ในประเทศไทย จำนวน 49 ราย วิธีการทางอณูพันธุศาสตร์นี้ช่วยให้แพทย์มีการวินิจฉัยโรคที่ชัดเจน เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่เหมาะสมตั้งแต่แรกวินิจฉัย รวมถึงการให้คำปรึกษาทางพันธุศาสตร์ที่เหมาะสมแก่ผู้ป่วยได้

## วัตถุประสงค์

วิเคราะห์การขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน *CYP21A2* ในผู้ป่วยไทยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิลเลส

## อุปกรณ์และวิธีการ

ลักษณะทางคลินิกและเก็บตัวอย่างเลือดผู้ป่วย

ศึกษาผู้ป่วยที่มีลักษณะทางคลินิก เข้าได้กับโรคต่อมหมวกไตชั้นนอกโตผิดปกติตั้งแต่กำเนิดที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิลเลสจำนวน 49 คน ซึ่งได้รับการซักประวัติ ตรวจร่างกาย ตรวจระดับสารอิเล็กโทรไลต์และข้อมูลฮอโมน จากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญแผนกต่อมไร้ท่อ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

เก็บตัวอย่างเลือดผู้ป่วยตัวอย่างละ 3 ถึง 5 มิลลิลิตร ในหลอดที่มีสารกันเลือดแข็งชนิด EDTA พร้อมทั้งขอคำยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย ซึ่งได้รับการรับรองจากที่ประชุมคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รหัสอนุมัติ IRB no. 954/2016

สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดและวัดความเข้มข้นดีเอ็นเอ

สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดตามวิธีการของ Puregene Blood Kit (Qiagen, Hilden, Germany) วัดความเข้มข้นดีเอ็นเอจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร และความบริสุทธิ์ดีเอ็นเอจากอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตรต่อ 280 นาโนเมตร โดยเครื่อง NanoDrop 1000 spectrophotometry (Thermo Fisher Scientific, MA, USA)

เพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยวิธีการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส (Locus-specific PCR)

เพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมในหลอดทดลองจากดีเอ็นเอ ด้วยวิธีการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส โดยใช้เอนไซม์ LA *Taq* DNA polymerase (TaKaRa, Dalian, China) ตามวิธีของ Ma et al., 2014 ด้วยไพรเมอร์ที่จำเพาะกับยีน (ตารางที่ 2) โดยใช้ไพรเมอร์เป็นคู่ที่แตกต่างกัน 4 คู่ เพื่อตรวจสอบการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีนจาก 4 แอมพลิคอน (รูปที่ 2) แต่ละปฏิกิริยามีปริมาตรสุทธิ 50 ไมโครลิตร ประกอบด้วยดีเอ็นเอตั้งต้นปริมาณ 100 นาโนกรัม บัฟเฟอร์เข้มข้น 1 เท่า dNTP 0.4 มิลลิโมลาร์ ไพรเมอร์อย่างละ 0.4 ไมโครโมลาร์ และ LA *Taq* DNA polymerase 2.5 หน่วย และเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที จำนวน 1 รอบ ตามด้วย อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วินาที และอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาที จำนวน 35 รอบ และอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที จำนวน 1 รอบเป็นรอบสุดท้าย

วิเคราะห์ขนาดสารพันธุกรรมเป้าหมายด้วยเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (gel electrophoresis)

วิเคราะห์ขนาดสารพันธุกรรมเป้าหมายด้วยเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ด้วยเจล agarose เข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ใช้ไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 80 โวลต์ ระยะเวลา 60 นาที

## ผลและวิจารณ์

การเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัสในผู้ป่วยชาวไทยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส จำนวน 49 ราย จากการศึกษาร่วมแอมพลิคอนที่ 1 จำนวน 43 ราย แอมพลิคอนที่ 2 จำนวน 49 ราย แอมพลิคอนที่ 3 จำนวน 16 ราย และแอมพลิคอนที่ 4 จำนวน 3 ราย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แอมพลิคอนที่ 3 ยีนลูกผสม *CYP21A1P/CYP21A2* จำนวน 16 อัลลีล จาก 98 อัลลีล มีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.204 (ร้อยละ 20.4 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด) และแอมพลิคอนที่ 4 ยีนลูกผสม *CYP21A2/CYP21A1P* จำนวน 3 อัลลีล จาก 98 อัลลีล มีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.031 (ร้อยละ 3.1 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด) และมีรูปแบบจีโนไทป์ทั้งหมด 6 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 *CYP21A2* ทั้งสองอัลลีล จำนวน 31 ราย รูปแบบที่ 2 *CYP21A2* กับ *CYP21A1P/CYP21A2* จำนวน 11 ราย รูปแบบที่ 3 ไม่พบ *CYP21A2* กับ *CYP21A1P/CYP21A2* จำนวน 4 ราย รูปแบบที่ 4 *CYP21A2* กับ *CYP21A2/CYP21A1P* จำนวน 1 ราย รูปแบบที่ 5 ไม่พบ *CYP21A2* กับ *CYP21A2/CYP21A1P* จำนวน 1 ราย และรูปแบบที่ 6 *CYP21A1P/CYP21A2* กับ *CYP21A2/CYP21A1P* และไม่พบ *CYP21A2* จำนวน 1 ราย ดังตารางที่ 1 ซึ่งในผู้ป่วยทั้งหมดนี้ อัลลีล *CYP21A1P/CYP21A2* และอัลลีลที่ไม่พบ *CYP21A2* เป็นอัลลีลที่มีการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน *CYP21A2* พบจำนวน 23 อัลลีล จาก 98 อัลลีล มีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.235 (ร้อยละ 23.5 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด) สูงกว่าอีกกลุ่มประชากรที่มีรายงานก่อนหน้านี้ (ร้อยละ 15 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด (Ma et al., 2014),

ร้อยละ 8 ของอัลลีลผู้ป่วยทั้งหมด (Wilson et al., 2007)) การเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัสโดยใช้ไพรเมอร์ที่มีความจำเพาะ (specificity) ต่อยีนโลคัสนั้น ๆ ซึ่งผ่านการยืนยันความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพรเมอร์ต่างคู่ที่มีความจำเพาะต่างโลคัสกันด้วยการวิเคราะห์ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ วิธีนี้จึงมีความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ ผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส ต้องมีการกลายพันธุ์ของยีน CYP21A2 ทั้งสองอัลลีล เนื่องจากโรคนี้มีการถ่ายทอดแบบยีนด้อย ดังนั้น ผู้ป่วยที่มีจีโนไทป์เป็นฮอโมไซกัส (homozygous) ของ CYP21A2 ทั้งสองอัลลีล และผู้ป่วยที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) หรือเฮมิไซกัส (hemizygous) ของ CYP21A2 เพียงหนึ่งอัลลีล อาจจะมีการกลายพันธุ์แบบอื่นในยีน CYP21A2 ได้แก่ การกลายพันธุ์เฉพาะจุด (point mutation) การแทนที่ (substitution) การขาดหายไปขนาดเล็ก (small deletion) การสอดแทรก (insertion) หรือ ไมโครคอนเวอร์ชัน (microconversion) เป็นต้น ซึ่งต้องใช้วิธีการอื่นในการช่วยวิเคราะห์เพื่อระบุการกลายพันธุ์ เช่น วิธีเอ็มแอลพีเอ การหาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยหลักการของแซงเกอร์ (Sanger sequencing) หรือการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ยุคใหม่ (next-generation sequencing, NGS) แบบสายยาว (long-read) เป็นต้น การศึกษานี้ช่วยให้มีแพทย์มีการวินิจฉัยโรคที่ชัดเจน เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาและได้รับคำปรึกษาทางพันธุศาสตร์ที่เหมาะสมตั้งแต่วินิจฉัยได้

## สรุป

พบยีนลูกผสม CYP21A1P/CYP21A2 ที่มีการขาดหายไปขนาดใหญ่ของยีน CYP21A2 ด้วยวิธีการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัสในผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส ในประเทศไทย

## คำขอบคุณ

ขอบคุณผู้ป่วยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างและเข้าร่วมการศึกษา ขอขอบคุณทุนการศึกษาจากวิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยตามโครงการ “สร้างเสริมพลังสุขภาพ ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## เอกสารอ้างอิง

- Balsamo, A., Baldazzi, L., Menabo, S., & Cicognani, A. (2010). Impact of molecular genetics on congenital adrenal hyperplasia management. *Sex Dev*, 4(4-5), 233-248. doi:10.1159/000315959
- Concolino, P., Mello, E., Toscano, V., Ameglio, F., Zuppi, C., & Capoluongo, E. (2009). Multiplex ligation-dependent probe amplification (MLPA) assay for the detection of CYP21A2 gene deletions/duplications in congenital adrenal hyperplasia: first technical report. *Clin Chim Acta*, 402(1-2), 164-170. doi:10.1016/j.cca.2009.01.008
- Higashi, Y., Yoshioka, H., Yamane, M., Gotoh, O., & Fujii-Kuriyama, Y. (1986). Complete nucleotide sequence of two steroid 21-hydroxylase genes tandemly arranged in human chromosome: a pseudogene and a genuine gene. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 83(9), 2841-2845. doi:10.1073/pnas.83.9.2841

- Lee, H. H. (2005). Chimeric CYP21P/CYP21 and TNXA/TNXB genes in the RCCX module. *Mol Genet Metab*, 84(1), 4-8. doi:10.1016/j.ymgme.2004.09.009
- Lee, H. H., Lee, Y. J., & Chao, M. C. (2010). Comparing the Southern blot method and polymerase chain reaction product analysis for chimeric RCCX detection in CYP21A2 deficiency. *Anal Biochem*, 399(2), 293-298. doi:10.1016/j.ab.2009.11.037
- Ma, D., Chen, Y., Sun, Y., Yang, B., Cheng, J., Huang, M., . . . Xu, Z. (2014). Molecular analysis of the CYP21A2 gene in Chinese patients with steroid 21-hydroxylase deficiency. *Clin Biochem*, 47(6), 455-463. doi:10.1016/j.clinbiochem.2014.01.019
- Miller, W. L., & Auchus, R. J. (2011). The molecular biology, biochemistry, and physiology of human steroidogenesis and its disorders. *Endocr Rev*, 32(1), 81-151. doi:10.1210/er.2010-0013
- Narasimhan, M. L., & Khattab, A. (2019). Genetics of congenital adrenal hyperplasia and genotype-phenotype correlation. *Fertil Steril*, 111(1), 24-29. doi:10.1016/j.fertnstert.2018.11.007
- Sorensen, K. M., Andersen, P. S., Larsen, L. A., Schwartz, M., Schouten, J. P., & Nygren, A. O. (2008). Multiplex ligation-dependent probe amplification technique for copy number analysis on small amounts of DNA material. *Anal Chem*, 80(23), 9363-9368. doi:10.1021/ac801688c
- Speiser, P. W., Arlt, W., Auchus, R. J., Baskin, L. S., Conway, G. S., Merke, D. P., . . . White, P. C. (2018). Congenital Adrenal Hyperplasia Due to Steroid 21-Hydroxylase Deficiency: An Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *J Clin Endocrinol Metab*, 103(11), 4043-4088. doi:10.1210/jc.2018-01865
- Speiser, P. W., Azziz, R., Baskin, L. S., Ghizzoni, L., Hensle, T. W., Merke, D. P., . . . Endocrine, S. (2010). Congenital adrenal hyperplasia due to steroid 21-hydroxylase deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*, 95(9), 4133-4160. doi:10.1210/jc.2009-2631
- White, P. C., & Speiser, P. W. (2000). Congenital adrenal hyperplasia due to 21-hydroxylase deficiency. *Endocr Rev*, 21(3), 245-291. doi:10.1210/edrv.21.3.0398
- Wilson, R. C., Nimkarn, S., Dumic, M., Obeid, J., Azar, M. R., Najmabadi, H., . . . New, M. I. (2007). Ethnic-specific distribution of mutations in 716 patients with congenital adrenal hyperplasia owing to 21-hydroxylase deficiency. *Mol Genet Metab*, 90(4), 414-421. doi:10.1016/j.ymgme.2006.12.005
- Yang, Z., Mendoza, A. R., Welch, T. R., Zipf, W. B., & Yu, C. Y. (1999). Modular variations of the human major histocompatibility complex class III genes for serine/threonine kinase RP, complement component C4, steroid 21-hydroxylase CYP21, and tenascin TNX (the RCCX module). A mechanism for gene deletions and disease associations. *J Biol Chem*, 274(17), 12147-12156. doi:10.1074/jbc.274.17.12147

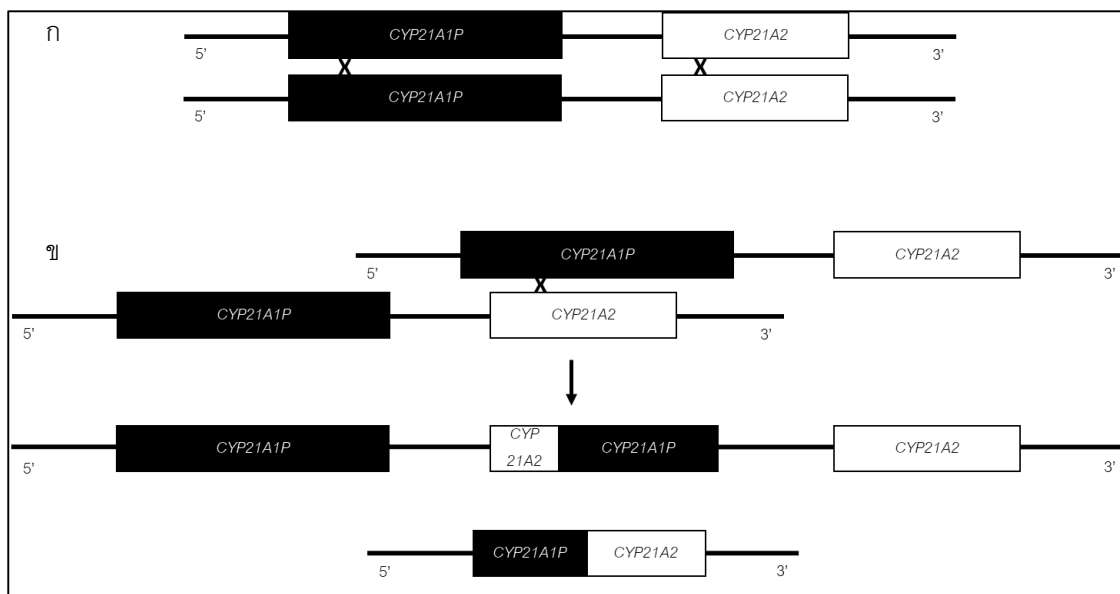
ตารางที่ 1 ข้อมูลจีโนไทป์ในผู้ป่วยไทยที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ 21-ไฮดรอกซิเลส จำนวน 49 ราย

ผู้ป่วย	เพศ	การเพิ่มปริมาณฮีนแบบจำเพาะไลค์ส์ (แอมพลิคอนที่)				จีโนไทป์	
		1	2	3	4	อัลลีลที่ 1	อัลลีลที่ 2
1	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
2	ชาย	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
3	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
4	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
5	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
6	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
7	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
8	หญิง	-	+	+	-	ไม่พบ CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
9	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
10	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
11	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
12	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
13	ชาย	-	+	+	-	ไม่พบ CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
14	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
15	หญิง	+	+	-	+	CYP21A2	CYP21A2/CYP21A1P
16	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
17	ชาย	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
18	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
19	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
20	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
21	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
22	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
23	หญิง	-	+	+	-	ไม่พบ CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
24	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
25	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
26	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
27	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
28	ชาย	-	+	-	+	ไม่พบ CYP21A2	CYP21A2/CYP21A1P
29	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
30	ชาย	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
31	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
32	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
33	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
34	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
35	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
36	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
37	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
38	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
39	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
40	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
41	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
42	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
43	หญิง	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
44	หญิง	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
45	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
46	ชาย	+	+	-	-	CYP21A2	CYP21A2
47	ชาย	+	+	+	-	CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
48	หญิง	-	+	+	-	ไม่พบ CYP21A2	CYP21A1P/CYP21A2
49	หญิง	-	+	+	+	CYP21A1P/CYP21A2	CYP21A2/CYP21A1P

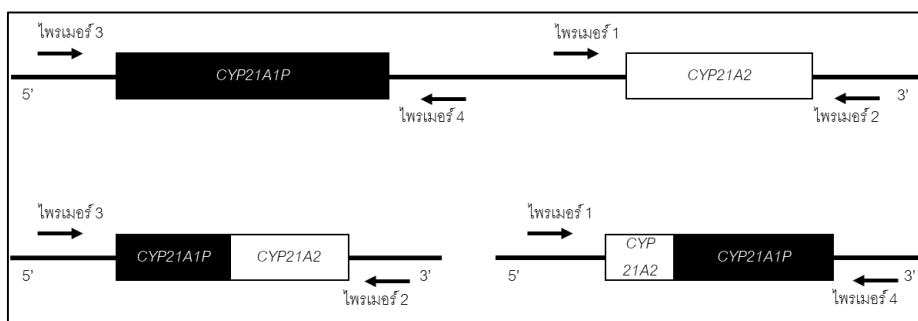
แอมพลิคอนที่ 1 ยีนจริง CYP21A2, แอมพลิคอนที่ 2 ยีนเทียม CYP21A1P, แอมพลิคอนที่ 3 ยีนลูกผสม CYP21A1P/CYP21A2, แอมพลิคอนที่ 4 ยีนลูกผสม CYP21A2/CYP21A1P, + พบแอมพลิคอน, - ไม่พบแอมพลิคอน

ตารางที่ 2 ข้อมูลไพรเมอร์สำหรับการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส (Ma et al., 2014)

ไพรเมอร์	ลำดับโอลิโกนิวคลีโอไทด์	บริเวณจำเพาะของไพรเมอร์
ไพรเมอร์ 1	5'-GCTTCTTGATGGGTGATCAAT-3'	ยีนจริง <i>CYP21A2</i>
ไพรเมอร์ 2	5'-CCTCAATCCTCTGCAGCG-3'	ยีนจริง <i>CYP21A2</i>
ไพรเมอร์ 3	5'-TCCCCAATCCTTACTTTTTGTC-3'	ยีนเทียม <i>CYP21A1P</i>
ไพรเมอร์ 4	5'-CCTCAATCCTCTGCGGCA-3'	ยีนเทียม <i>CYP21A1P</i>



รูปที่ 1 โครงสร้างยีน *CYP21A2* และการเกิดครอสโอเวอร์  
(ก) การเกิดครอสโอเวอร์ตรงกัน (ข) การเกิดครอสโอเวอร์ไม่ตรงกัน



รูปที่ 2 ตำแหน่งและทิศทางของไพรเมอร์สำหรับการเพิ่มปริมาณยีนแบบจำเพาะโลคัส



## ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองใน กรุงเทพมหานคร

Factors Related to The Practice of Antibiotic Use for Common Cold in Children Among Parents in Bangkok.

ชนิตา ธีระนันท์กุล<sup>1</sup> และ น้ำฝน ศรีบัณฑิต<sup>2</sup>

Chanita Teeranantakul<sup>1</sup> and Namfon Sribundit<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองในกรุงเทพมหานคร การศึกษานี้ใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุสมผล บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก ความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก พฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดและเก็บข้อมูลในช่วง พ.ย. 2562 – มี.ค. 2563 ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่าง 335 คน เป็นเพศหญิง ร้อยละ 68 เป็นบิดามารดาของเด็กหรือร้อยละ 70.4 ระดับการศึกษาปริญญาตรี ร้อยละ 35.5 อายุเฉลี่ยบุตร  $3.7 \pm 1.0$  ปี พฤติกรรมที่ปฏิบัติบ่อยครั้ง 3 ลำดับแรก คือ ผู้ปกครองจะดูแลเรื่องการรับประทานยาปฏิชีวนะของบุตรหลานตามคำแนะนำของแพทย์และเภสัชกร ( $4.2 \pm 0.7$  คะแนน) หากแพทย์ไม่สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้ผู้ปกครองจะพาบุตรหลานไปพบแพทย์ที่อื่นหรือซื้อยาให้รับประทาน ( $3.6 \pm 0.8$  คะแนน) และเมื่อบุตรหลานเป็นหวัด มีไข้ ไอ จะรีบนำยาปฏิชีวนะให้รับประทานทันที เพื่อให้อาการดังกล่าวหายเร็วขึ้น ( $3.6 \pm 0.7$  คะแนน) ผู้ปกครองมีทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุสมผลในระดับเห็นด้วยปานกลาง บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะอยู่ในระดับปานกลาง การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอยู่ในระดับสูง หากบุตรหลานเป็นหวัดผู้ปกครองมีความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอยู่ในระดับปานกลาง ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก พบว่าทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุสมผลมีความสัมพันธ์ในระดับสูงต่อความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $-0.759$  ( $p\text{-value} < 0.001$ ) และความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในระดับสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $0.877$  ( $p\text{-value} < 0.001$ )

**คำสำคัญ :** ยาปฏิชีวนะ , โรคหวัด , เด็ก , ผู้ปกครอง , พฤติกรรม , ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน

<sup>1</sup> ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร2 ถนนมิตรไมตรี เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

Bangkok Metropolitan Administration2, Mitrmaitri Road, Din Daeng District, Bangkok 10400, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาเภสัชกรรมชุมชน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Community Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Silpakom University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

## Abstract

The objective was to study factors related to the practice of antibiotic use for common cold in children among parents in Bangkok. The study uses questionnaires about attitudes towards rational antibiotics use, norms for using antibiotics, perceived control antibiotic behavior in children, intention to take antibiotics in children and behavior of antibiotics in colds and collected data during Nov 2019 - Mar 2020. The study found that 335 samples were female 68%, parents 70.4%, bachelor's degree 35.5%, average age of children  $3.7 \pm 1.0$  years. The first 3 behaviors were parents will use antibiotics on the advice of doctors and pharmacists ( $4.2 \pm 0.7$  points), the parent will take child to see a doctor elsewhere or buy medicine ( $3.6 \pm 0.8$  points). And when the child has a cold, fever, cough, will take antibiotics immediately, so the symptoms get better ( $3.6 \pm 0.7$  points). Parents have attitudes towards antibiotics at a moderate level. Norms for using antibiotics at a medium level. The Perceived control antibiotic behavior was high. If child has a cold, the parent has intention to take antibiotics in the child at a moderate level. In analyzing factors related to antibiotic use behavior in children, it is found that attitudes towards antibiotics have a high correlation with intention of antibiotics. With the correlation coefficient  $-0.759$  ( $p$ -value  $<0.001$ ). And intention to use antibiotics in children has a high level of correlation with behavior of antibiotics. With the correlation coefficient  $0.877$  ( $p$ -value  $<0.001$ ).

Keyword: Antibiotics, Colds, Children, Parents, Behavior, Theory of Planned Behavior

## บทนำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการใช้ยาปฏิชีวนะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงมีพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่สมเหตุสมผล (คณะทำงานขับเคลื่อนการพัฒนาระบบการผลิตและพัฒนากำลังคนด้านสุขภาพเพื่อการใช้อย่างสมเหตุผล, 2560) โรคที่พบบ่อยในเด็ก อายุระหว่าง 0-6 ปี คืออาการไข้หวัด ไซนัสอักเสบ มักเกิดขึ้นจากเชื้อไวรัสและสาเหตุอื่นๆ มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะ มีเพียงส่วนน้อยเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่มีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย แพทย์มักจะสั่งจ่ายยาปฏิชีวนะในโรคติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบนในเด็กตามความคาดหวังในการรักษาของผู้ปกครอง และผู้ปกครองก็มักจะขอให้แพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะที่ให้กับเด็ก ดังนั้นความคาดหวังที่จะได้รับยาปฏิชีวนะของผู้ปกครองเป็นสาเหตุหลักของการใช้ยาปฏิชีวนะที่มากเกินไป (Chan & Tang, 2004; Palmer & Bauchner, 1997; Panagakou et al., 2011; Smith, McGlynn & Elliott, 2001)

จากการทบทวนวรรณกรรมในประเทศไทยและต่างประเทศพบว่าเมื่อผู้ปกครองพานุตรหลานไปพบแพทย์ด้วยโรคติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน ผู้ปกครองจะมีความคาดหวังว่าแพทย์จะจ่ายยาปฏิชีวนะให้แก่บุตรหลาน ตั้งแต่ร้อยละ 27.1-74 (พนพัฒนและกรองแก้ว, 2559; Panagakou et al., 2011; Smith, McGlynn & Elliott, 2001; Vinker, Ron & Kitai, 2003) โดยผู้ปกครองถึงร้อยละ 28-71 จะขอให้แพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้และร้อยละ 61 จะขอให้แพทย์จ่ายยาปฏิชีวนะชนิดอื่นที่ต่างกับที่แพทย์ต้องการจ่าย นอกจากนี้การที่ผู้ปกครองขอให้แพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้บุตรหลานแล้ว ผู้ปกครองร้อยละ 18-62 ยังมีการหายาปฏิชีวนะให้บุตรหลานรับประทานเองอีกด้วย

การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

ซึ่งอาจเป็นการใช้ยาปฏิชีวนะที่มีเหลืออยู่ที่บ้าน หรือการไปซื้อยาจากร้านขายยา เป็นต้น (Chan & Tang, 2006; Palmer & Bauchner, 1997; Zyoud, Taha & Araj, 2015)

แนวคิดและทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior) (Ajzen, 1991) สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะของผู้ปกครองในเด็กว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีส่งผลต่อการกระทำพฤติกรรม ปัจจัยเหล่านั้นสะท้อนให้เห็นได้ว่าพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะของผู้ปกครองในเด็กนั้นมิได้เกิดจากเหตุบังเอิญ หากแต่ได้มีการไตร่ตรองอย่างเป็นเหตุเป็นผลโดยปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรม จะประกอบด้วยทัศนคติ บรรทัดฐาน การรับรู้ความสามารถในการควบคุม เจตนาเชิงพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในการตัดสินใจกระทำพฤติกรรม

ในการแก้ไขปัญหาการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่สมเหตุผลอย่างยั่งยืน ควรสร้างความตระหนักรู้ต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลในผู้ใช้งานในกลุ่มผู้ปกครอง โดยเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครอง และโดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครอง ผลการศึกษาที่ได้จะให้เป็นข้อมูลนำเข้าไปปรับปรุงระบบและกิจกรรมของสำนักอนามัยที่จะดำเนินการในประชาชน ในกรุงเทพมหานคร ที่สนับสนุนให้เกิดความตระหนักรู้และมีพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลในผู้ปกครองของผู้ป่วยเด็ก ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยเด็กได้รับการดูแลรักษาต้านยาที่ถูกต้อง เหมาะสม ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และลดปัญหาการใช้ยาไม่สมเหตุผลในกรุงเทพมหานคร

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครองของเด็กอายุ 0 - 6 ปี ในกรุงเทพมหานคร

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบการสำรวจภาคตัดขวาง ผู้เข้าร่วมการวิจัย คือ ผู้ปกครองของเด็กอายุ 0 - 6 ปี ในกรุงเทพมหานคร การศึกษานี้จะคำนวณกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สูตรการคำนวณกลุ่มตัวอย่างของ W.G. Cochran ดังนี้ (ศิริลักษณ์, 2538) โดยกำหนดสัดส่วนของสัดส่วนของผู้ปกครองที่ต้องการใช้ยาปฏิชีวนะกับบุตรหลานในประเทศไทย จากการศึกษาความคาดหวังของผู้ปกครองของเด็กที่มาพบแพทย์ด้วยอาการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน ณ คลินิกเวชปฏิบัติครอบครัว โรงพยาบาลหาดใหญ่ ที่มีความคาดหวังว่าจะได้รับยาปฏิชีวนะร้อยละ 27.1 (พนพัฒน และกรองแก้ว, 2559) และกำหนดค่ามาตรฐาน (Z) เท่ากับ 1.96 และ สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ร้อยละ 5 และเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมร้อยละ 10 เพื่อแบบสอบถามที่ไม่สมบูรณ์ การศึกษานี้จะกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องเก็บข้อมูล คือ 335 ราย การรวบรวมข้อมูลจะสุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนของจำนวนเขตในแต่ละพื้นที่ ประกอบด้วยเขตกรุงเทพมหานครชั้นในจำนวน 140 ราย เขตกรุงเทพมหานครชั้นกลางจำนวน 121 ราย และเขตกรุงเทพมหานครชั้นนอกจำนวน 74 ราย ทำการเก็บข้อมูลในเดือน พ.ย. 2562 - มี.ค. 2563 และแจกแบบสอบถามให้ผู้ปกครองที่โรงเรียนรัฐบาลและเอกชน และสถาบันเสริมทักษะสำหรับเด็กเล็ก

เครื่องมือวิจัยจะเป็นลักษณะของแบบสอบถาม ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัย เช่น เพศ อายุ การศึกษา จำนวนและอายุของบุตรหลาน ความถี่ในการเจ็บป่วยในโรคหัด โรคประจำตัวของเด็ก ประสิทธิภาพการเคยได้รับยาปฏิชีวนะในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา และข้อมูลตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ได้แก่ทัศนคติต่อการให้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล บรรทัดฐานในการให้ยาปฏิชีวนะในเด็ก การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก ความตั้งใจที่จะให้ยาปฏิชีวนะในเด็ก และพฤติกรรม การใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหัดของผู้ปกครอง โดยแบบสอบถามในส่วนดังกล่าวจะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

หลังจากที่ผู้วิจัยพัฒนาแบบสอบถามแล้วจะมีการประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน หลังจากนั้นทำการทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มย่อย (Pilot Study) โดยนำแบบสอบถามมาทดสอบกับกลุ่มทดลอง คือ ผู้ปกครองที่จังหวัดนนทบุรี จำนวน 30 ราย เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient)

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้สถิติเชิงพรรณนา สำหรับข้อมูลทั่วไปจะใช้ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage)

สำหรับทัศนคติต่อการให้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล บรรทัดฐานในการให้ยาปฏิชีวนะในเด็ก การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก ความตั้งใจที่จะให้ยาปฏิชีวนะในเด็กและพฤติกรรมในการให้ยาปฏิชีวนะในโรคหัดของผู้ปกครอง จะวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยการแปลผลค่าระดับ

ผู้วิจัยจะใช้การคำนวณหาความกว้างอันตรภาคชั้น เพื่อแปลผลคะแนนในแต่ละช่วง โดยการใช้สูตร ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} &= \frac{\text{ข้อมูลที่มีค่าสูงสุด} - \text{ข้อมูลที่มีค่าต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} \\ &= \frac{5 - 1}{5} = 0.80 \end{aligned}$$

โดยการแปลผลค่าเฉลี่ยระดับคะแนนของแต่ละตัวแปร แสดงได้ดังตารางที่ 1

สำหรับปัจจัยที่สัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหัดในเด็กของผู้ปกครอง ตามแนวคิดพฤติกรรมตามแผน จะวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson Correlation หรือ Spearman Correlation สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปที่สัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหัดในเด็กของผู้ปกครอง จะใช้สถิติ Chi square หรือ Fisher exacts test ผู้วิจัยใช้ โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 0.7.9 ในการวิเคราะห์ที่กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

## ผลการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมด 335 ราย เป็นเพศหญิงร้อยละ 68.1 อายุเฉลี่ยอยู่ที่  $35.4 \pm 9.8$  ปี เป็นบิดามารดา ร้อยละ 70.4 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่คือระดับปริญญาตรี ร้อยละ 35.5 จำนวนบุตรเฉลี่ย  $1.49 \pm 0.7$  คน อายุเฉลี่ยของบุตร  $3.7 \pm 1.0$  ปี ความถี่ในการป่วยของบุตรหลาน  $4.7 \pm 1.7$  ครั้งต่อปี โรคที่บุตรหลานมักป่วยบ่อย ร้อยละ 94.9 คือโรคหวัด เจ็บคอ คออักเสบ ผู้ปกครองร้อยละ 46.6 มีการซื้อยาปฏิชีวนะให้บุตรหลานในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา 1 - 4 ครั้ง เคยได้รับคำแนะนำจากแพทย์และเภสัชกรเกี่ยวกับการใช้ยาปฏิชีวนะร้อยละ 73.1 ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการศึกษาในส่วนของพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครอง พบว่าพฤติกรรมที่ปฏิบัติบ่อย ครั้ง 3 ลำดับแรก คือ ผู้ปกครองจะดูแลเรื่องการรับประทานยาปฏิชีวนะของบุตรหลานตามคำแนะนำของแพทย์และเภสัชกร ( $4.2 \pm 0.7$  คะแนน) หากแพทย์ไม่สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้ผู้ปกครองจะพบุตรหลานไปพบแพทย์ที่อื่นหรือซื้อยาให้รับประทาน ( $3.6 \pm 0.8$  คะแนน) เมื่อบุตรหลานเป็นหวัด มีไข้ ไอ มีน้ำมูกจะรับนำยาปฏิชีวนะให้รับประทานทันทีเพื่อให้อาการดังกล่าวหายเร็วขึ้น ( $3.6 \pm 0.7$  คะแนน) ดังแสดงได้ในตารางที่ 3

ระดับคะแนนทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลเฉลี่ยเท่ากับ  $2.9 \pm 0.5$  คะแนน แสดงว่า ผู้ปกครองมีทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลอยู่ในระดับเห็นด้วยปานกลาง บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะได้รับอิทธิพลจากหน้าที่ในการดูแลบุตรในระดับสูง ( $3.8 \pm 0.8$  คะแนน) และอิทธิพลจากแพทย์ ( $2.6 \pm 1.0$  คะแนน) คู่สมรส ( $2.6 \pm 1.0$  คะแนน) ญาติ ( $2.6 \pm 1.0$  คะแนน) เพื่อน ( $2.6 \pm 1.0$  คะแนน) แสดงว่าบรรทัดฐานต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอยู่ในระดับมีอิทธิพลปานกลาง ผู้ปกครองรับรู้ความสามารถในการควบคุมการตัดสินใจใช้และซื้อยาปฏิชีวนะ ในระดับค่อนข้างควบคุมได้ สำหรับการขอให้เภสัชกรจ่ายยาปฏิชีวนะ ( $3.8 \pm 0.8$  คะแนน) การหาซื้อยาปฏิชีวนะ ( $3.8 \pm 0.9$  คะแนน) และการตัดสินใจจะให้บุตรหลานได้รับยาปฏิชีวนะ ( $3.7 \pm 0.7$  คะแนน) การรับรู้ความสามารถในส่วนการขอให้บุคลากรการแพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้อยู่ในระดับควบคุมได้ปานกลาง ( $3.1 \pm 0.7$  คะแนน) ในด้านความตั้งใจที่จะทำพฤติกรรม หากบุตรหลานเป็นหวัดผู้ปกครองมีความตั้งใจว่าจะพบุตรหลานไปพบแพทย์และขอให้แพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้และมีความตั้งใจที่จะพาไปพบแพทย์ที่อื่น ( $3.5 \pm 0.8$  คะแนน) หรือซื้อยาปฏิชีวนะให้รับประทานหากแพทย์ไม่สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะ ( $3.5 \pm 0.9$  คะแนน) และเมื่อบุตรหลานไม่สบาย ผู้ปกครองมีความตั้งใจปานกลางที่จะให้นอนพักผ่อนมากและดื่มน้ำมากๆโดยรับประทานตามอาการโดยไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะ ( $2.8 \pm 1.0$  คะแนน) ดังแสดงได้ในตารางที่ 4

ในการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครอง ตามแนวคิดพฤติกรรมตามแผน พบว่า ทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผลมีความสัมพันธ์ต่อความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $-0.759$  ( $p\text{-value} < 0.001$ ) แสดงถึงผู้ปกครองที่มีทัศนคติเห็นด้วยต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลจะมีความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กที่น้อย และความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองในระดับสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $0.877$  ( $p\text{-value} < 0.001$ ) แสดงถึง ผู้ปกครองที่มีความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กที่มาก ก็จะมีพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กที่มากด้วย ส่วนบรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กและการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กไม่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม

การใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กก็ไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

ในการศึกษาข้อมูลทั่วไปที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครอง พบว่าเพศมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในด้านการดูแลการรับประทานยาปฏิชีวนะของบุตรหลานตามคำแนะนำของแพทย์และเภสัชกร ( $p\text{-value} = 0.007$ ) ประสพการณ์การซื้อยาปฏิชีวนะให้บุตรหลานในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมาที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะจากร้านขายยาให้บุตรหลานรับประทาน โดยระบุชื่อยาที่ต้องการ ( $p\text{-value} < 0.001$ ) และพฤติกรรมการเก็บยาที่เหลือไว้ใช้เมื่อเป็นหวัดในครั้งต่อไปเมื่อบุตรหลานหายจากหวัดแล้ว ( $p\text{-value} < 0.001$ ) และประสพการณ์การได้รับคำแนะนำในการใช้ยาปฏิชีวนะจากแพทย์หรือเภสัชกรมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อยาปฏิชีวนะจากร้านขายยาให้บุตรหลานโดยระบุชื่อยาที่ต้องการ ( $p\text{-value} = 0.002$ )

### สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครอง คือ ทศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผลมีความสัมพันธ์กับความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กในระดับสูง และความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครองในระดับสูงมาก ข้อมูลทั่วไปที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กของผู้ปกครองพบว่าเพศมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในด้านการดูแลการรับประทานยาปฏิชีวนะของบุตรหลานตามคำแนะนำของแพทย์และเภสัชกร ประสพการณ์การซื้อยาปฏิชีวนะให้บุตรหลานในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมาที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะจากร้านขายยาให้บุตรหลานรับประทาน โดยระบุชื่อยาที่ต้องการและพฤติกรรมการเก็บยาที่เหลือไว้ใช้เมื่อเป็นหวัดในครั้งต่อไปเมื่อบุตรหลานหายจากหวัดแล้ว และประสพการณ์การได้รับคำแนะนำในการใช้ยาปฏิชีวนะจากแพทย์หรือเภสัชกร มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อยาปฏิชีวนะจากร้านขายยาให้บุตรหลานโดยระบุชื่อยาที่ต้องการ

### วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กตามแนวคิดพฤติกรรมตามแผน คือ ทศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับความตั้งใจ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $-0.759$  ( $p\text{-value} < 0.001$ ) โดยหากผู้ปกครองที่มีทัศนคติเห็นด้วยต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล จะมีความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กที่น้อย แต่หากผู้ปกครองมีทัศนคติที่ไม่เห็นด้วยต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล เมื่อบุตรหลานไม่สบาย ผู้ปกครองก็จะไม่คำนึงถึงความสมเหตุผลในการใช้ยา ดังนั้นผู้ปกครองจะมีความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กในระดับสูง และความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กในระดับสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $0.877$  ( $p\text{-value} < 0.001$ ) โดยหากผู้ปกครองมีความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กที่มากก็จะมีพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กที่มากด้วย แต่หากผู้ปกครองมีความตั้งใจจะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กที่น้อย เมื่อบุตรหลานไม่สบาย ผู้ปกครองก็จะมีการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดในเด็กที่น้อย โดยจะให้รับประทานยาตามอาการ โดยไม่ใช้ยาปฏิชีวนะ ซึ่งการนำทฤษฎี

พฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior) มาใช้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก ในมุมมองของผู้ใช้ยาปฏิชีวนะ (Demand side) ซึ่งในปัจจุบันการศึกษาในส่วนนี้ยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย ส่วนมากจะเป็น การศึกษาในมุมมองของผู้สั่งใช้ยา (Supply side) เมื่อเปรียบเทียบผลกับการศึกษาอื่นๆ ที่ทำการศึกษาปัจจัย ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะ ในอาการเจ็บคอ บาดแผลสะอาด ท้องร่วง ของอาสาสมัคร สาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผลการศึกษาพบว่าทัศนคติในการใช้ยาปฏิชีวนะ อายุ และปัจจัยเสริมในการใช้ ยาปฏิชีวนะ เป็นปัจจัยที่สามารถทำนายพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะได้ถึงร้อยละ 45.6 ซึ่งแสดงว่าทัศนคติต่อการ ใช้ ยาปฏิชีวนะในเด็กมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะ (นุชราพร และนิทรา, 2561) การศึกษาปัจจัย ทำนายพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในจังหวัดปทุมธานี พบว่าทัศนคติ ในการใช้ยาปฏิชีวนะ รายได้ เพศหญิง และความรู้เรื่องการให้ยาและสรรพคุณของยาปฏิชีวนะสามารถร่วมทำนาย พฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะได้ถึงร้อยละ 18 ( $F=4.109$ ,  $p=0.044$ ) (พัชรสถนธน์, 2560) พบว่าผลการศึกษาเป็นไป ในแนวทางเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาประเมินการกระจายแนวคิดและบรรทัดฐานของสังคม เกี่ยวกับการใช้ ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของบรรทัดฐานของสังคมเกี่ยวกับการใช้ ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล กับ การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล มีความสัมพันธ์กัน ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $r = .468$ ;  $p < 0.001$ ) (สมหญิง, พัชร และกัญญาดา, 2556)

ซึ่งจะนำผลการวิจัยไปวางแผนปรับปรุงระบบและกิจกรรมของสำนักอนามัย ที่จะดำเนินการในประชาชนใน กรุงเทพมหานคร โดยจัดกิจกรรมที่มุ่งเน้นการลดพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะที่ไม่สมเหตุผลในผู้ปกครองของเด็ก ใน ด้านที่ผู้ปกครองจะพานุตรหลานไปพบแพทย์ที่อื่นหรือซื้อยาให้บุตรหลานรับประทาน เมื่อพานุตรหลานไปพบแพทย์ แล้วแพทย์ไม่สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้ และพฤติกรรมน่ายาปฏิชีวนะให้บุตรหลานรับประทานทันที เพื่อให้อาการหวัด มีไข้ ไอ มีน้ำมูกหายเร็วขึ้น โดยทัศนคติที่ดีต่อการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผลส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะ ในเด็กและความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กจะส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กของผู้ปกครอง ทำให้ เด็กได้รับการดูแลรักษาด้านยาที่ถูกต้อง เหมาะสม ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

คณะทำงานขับเคลื่อนการพัฒนาระบบการผลิตและพัฒนากำลังคนด้านสุขภาพเพื่อการใช้ยาอย่างสมเหตุผล. (2560).

*คู่มือการเรียนการสอนเพื่อการใช้ยาอย่างสมเหตุผล. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวง สาธารณสุข, นนทบุรี.*

นุชราพร แซ่ตั้ง, และนิทรา กิจธีระวุฒิมังคี. (2561). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะ ในอาการ เจ็บคอ บาดแผลสะอาด ท้องร่วง ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน. *วารสารพยาบาลทหารบก*, (19)166-174

พนพัฒน์ โตเจริญวานิช, และกรองแก้ว ร่มสงฆ์. (2559). ความคาดหวังของผู้ปกครองของเด็กที่มาพบแพทย์ด้วย อาการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน ณ คลินิกเวชปฏิบัติครอบครัว โรงพยาบาลหาดใหญ่. *สงขลานครินทร์ เวชสาร*, 24(2),117-126.

พัชรสถนธน์ อ่วมเกิด. (2560). *การศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำ*

หมู่บ้านในจังหวัดปทุมธานี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,  
กรุงเทพมหานคร.

ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. (2538). *ทฤษฎีและเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

สมหญิง พุ่มทอง, พัชรี ดวงจันทร์, และ กัญญาดา อุนวงศ์. (2556). *การประเมินการกระจายแนวคิดและบรรทัดฐาน  
ของสังคม เกี่ยวกับการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างสมเหตุผล*. กรุงเทพมหานคร: คณะเภสัชศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*,  
50, 179-211.

Chan, G. C., & Tang, S. F. (2006). Parental knowledge, attitudes and antibiotic use for acute upper  
respiratory tract infection in children attending a primary healthcare clinic in  
Malaysia. *Singapore Med J*, 4, 266-70.

Palmer, D. A., & Bauchner, H. (1997). Parents' and Physicians' Views on Antibiotics. *Pediatrics*, 6, 99-100.

Panagakou, S. G., Spyridis, N., Papaevangelou, V., Theodoridou, Kalliopi. M., Goutziana, G. P.,  
Theodoridou, Maria. N., Syrogiannopoulos, G. A., & Hadjichristodoulou, C. S. (2011). Antibiotic  
use for upper respiratory tract infections in children: A cross-sectional survey of knowledge,  
attitudes, and practices (KAP) of parents in Greece. *BMC Pediatr*, 33-4.

Smith, Ri. M., McGlynn, E. A., & Elliott, M. N. (2001). Parent Expectations for Antibiotics, Physician - Parent  
Communication, and Satisfaction. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 155(7), 800-6.

Vinker, S., Ron, A., & Kitai, E. (2003). The knowledge and expectations of parents about the role of antibiotic  
treatment in upper respiratory tract infection – a survey among parents attending the primary  
physician with their sick child. *BMC Fam Pract*, 105(4), 410-6.

Zyoud, S. H., Taha, A. a., & Araj, K. F. (2015). Parental knowledge, attitudes and practices regarding  
antibiotic use for acute upper respiratory tract infection in children: a cross sectional study in  
Palestine. *BMC Pediatr*, 15:176.

ตารางที่ 1 แสดงการแปลผลค่าเฉลี่ยระดับทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล บรรทัดฐาน  
ในการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก ความตั้งใจที่จะ  
ใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กและพฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครอง



ค่าเฉลี่ยคะแนน	ทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล	บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก	การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก	ความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก	พฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครอง
4.21 – 5.00	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	มีอิทธิพลอย่างยิ่ง	ควบคุมได้	ตั้งใจว่าจะทำแน่นอน	ปฏิบัติไม่เหมาะสมมากที่สุด
3.41 – 4.20	ค่อนข้างเห็นด้วย	ค่อนข้างมีอิทธิพล	ค่อนข้างควบคุมได้	ตั้งใจว่าจะทำ	ปฏิบัติไม่เหมาะสมมาก
2.61 – 3.40	เห็นด้วยปานกลาง	มีอิทธิพลปานกลาง	ควบคุมได้ปานกลาง	ตั้งใจปานกลาง	ปฏิบัติเหมาะสมปานกลาง
1.81 – 2.60	ค่อนข้างไม่เห็นด้วย	มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อย	ควบคุมได้เพียงเล็กน้อย	ตั้งใจว่าจะไม่ทำ	ปฏิบัติเหมาะสมมาก
1.00 – 1.80	ไม่เห็นด้วย	ไม่มีอิทธิพล	ควบคุมไม่ได้	ตั้งใจว่าจะไม่ทำแน่นอน	ปฏิบัติเหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัย

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (ร้อยละ)
เพศ		
ชาย		107 (31.9)
หญิง		228 (68.1)
อายุผู้ปกครอง (ปี)	(Mean ± SD.)	35.4 ± 9.8
ความสัมพันธ์กับเด็ก		
บิดามารดา		236 (70.4)
ลุงป้า น้าอา		56 (16.7)
ปู่ย่าตายาย		33 (9.9)
อื่นๆ		10 (3.0)
ระดับการศึกษา		
ปริญญาตรี		119 (35.5)
อนุปริญญา/ปวส.		98 (29.3)
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.		79 (23.6)
อื่นๆ		39 (11.6)
อายุเฉลี่ยของบุตรหลาน (ปี)	(Mean ± SD.)	3.7 ± 1.0
ความถี่ในการป่วยของบุตรหลานต่อปี (ครั้ง)	(Mean ± SD.)	4.7 ± 1.7
โรคที่บุตรหลานมักป่วยบ่อย		

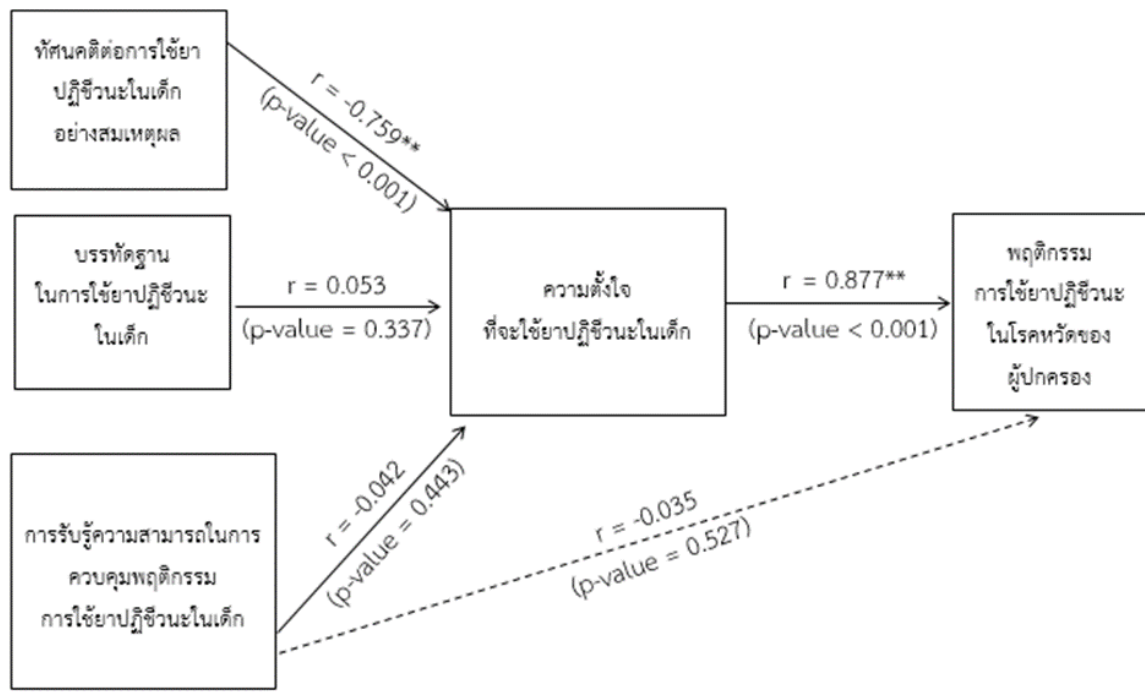
ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (ร้อยละ)
หวัด(มีไข้ ไอ น้ำมูก) เจ็บคอ คออักเสบ	318 (94.9)
ภูมิแพ้	135 (40.3)
ผื่น	120 (35.8)
อื่นๆ	163 (47.2)
ประสบการณ์การซื้อยาปฏิชีวนะให้บุตรหลานในรอบ6เดือนที่ผ่านมา	
ไม่เคยซื้อ	171 (51.0)
1 – 4 ครั้ง	156 (46.6)
5 – 10 ครั้ง	8 (2.4)

ตารางที่ 3 พฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะในโรคหวัดของผู้ปกครอง

พฤติกรรมในการใช้ยาปฏิชีวนะ	Mean ± SD.	แปลผล
ท่านดูแลเรื่องการรับประทานยาปฏิชีวนะของบุตรหลาน ตามคำแนะนำของแพทย์และเภสัชกร	4.2 ± 0.7	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
หากแพทย์ไม่สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้ ท่านพบุตรหลานไปพบแพทย์ที่อื่นหรือซื้อยาให้รับประทาน	3.6 ± 0.8	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
เมื่อบุตรหลานเป็นหวัด มีไข้ ไอ มีน้ำมูก ท่านรีบนำยาปฏิชีวนะให้ทานทันที เพื่อให้อาการดังกล่าวหายเร็วขึ้น	3.6 ± 0.7	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
เมื่อบุตรหลานเป็นหวัด มีไข้ ไอ มีน้ำมูก ท่านจะไปซื้อยาปฏิชีวนะจากร้านขายยา มาให้บุตรหลานรับประทานทันที โดยไม่ไปพบแพทย์	3.6 ± 0.6	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
เมื่อแพทย์แจ้งว่าโรคที่บุตรหลานเป็นไม่จำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะ ท่านจะไปซื้อยาปฏิชีวนะที่ร้านขายยา	3.5 ± 0.9	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
ผู้ปกครองเคยขอให้แพทย์สั่งจ่ายยาปฏิชีวนะให้แก่บุตรหลาน	3.5 ± 0.7	ปฏิบัติบ่อยครั้ง
เมื่อบุตรหลานไม่สบาย ท่านให้บุตรหลานนอนพักผ่อนและดื่มน้ำมากๆโดยรับประทานยาตามอาการ	2.7 ± 1.0	ปฏิบัติปานกลาง
ท่านเคยซื้อยาปฏิชีวนะจากร้านขายยาให้บุตรหลานรับประทาน โดยระบุชื่อยาที่ต้องการ	1.7 ± 0.7	ไม่เคยปฏิบัติ
เมื่อบุตรหลานหายจากหวัดแล้ว ท่านเก็บยาที่เหลือไว้ใช้เมื่อเป็นหวัดในครั้งต่อไป	1.5 ± 0.6	ไม่เคยปฏิบัติ
รวมเฉลี่ย	3.1 ± 0.5	ปฏิบัติปานกลาง

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการใช้ยาปฏิชีวนะ และความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็ก

ตัวแปรตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน	Mean ± SD.	แปลผล
ทัศนคติต่อการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กอย่างสมเหตุผล รวมเฉลี่ย	2.9 ± 0.5	เห็นด้วยปานกลาง
บรรทัดฐานในการใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กรวมเฉลี่ย	2.7 ± 0.9	มีอิทธิพลปานกลาง
การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมรวมเฉลี่ย	3.5 ± 0.7	ค่อนข้างควบคุมได้
ความตั้งใจที่จะใช้ยาปฏิชีวนะในเด็กรวมเฉลี่ย	3.3 ± 0.8	ตั้งใจปานกลาง



รูปที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของตัวแปรตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน

# ผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้ง และคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงสุกอบแห้ง

## Effects of Low Pressure Hot Air Drying on Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Dried Ripe Mangoes

สิริกัญญา กระต่ายทอง<sup>1</sup> และ รัชพงษ์ ชูศรี<sup>1</sup>

Sirikanya Krataitong<sup>1</sup> and Touchpong Choosri<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ เป็นกระบวนการทำแห้งที่พัฒนาขึ้น โดยการนำข้อดีของการทำแห้งด้วยลมร้อนมาผสมผสานกับข้อดีของการทำแห้งแบบสุญญากาศ เพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งลง และมีค่าใช้จ่ายไม่แพงมากนัก งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความดัน 6, 8 และ 10 kPa ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้ง และสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัว และการคืนตัวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกอบแห้ง ผลการศึกษา พบว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ( $D_{eff}$ ) และการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ความดันบรรยากาศขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำมีการอัตราการคืนตัวสูง ทั้งยังมีอัตราการหดตัวและค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมต่ำกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ความดันบรรยากาศ

**คำสำคัญ :** การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ จลนพลศาสตร์การทำแห้ง มะม่วงสุกอบแห้ง

### Abstract

The Low Pressure Hot Air Drying (LPHAD) is an innovative drying process that combines advantages of hot air drying and vacuum drying. This drying is capable to produce dried fruits with high quality product, low operational cost and reduced processing time. The aims of this work were to study the effect of LPHAD on drying kinetics and physicochemical properties of dried ripe mangoes. The mangoes were dried at air temperatures of 50, 60 and 70°C and pressure at 6, 8 and 10 kPa. The results found that the samples dried by LPHAD with high temperature and low pressure provided a higher effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) than Hot Air Drying at atmospheric pressure. The LPHAD also provided more rehydration ratio and lower %shrinkage of the sample than Hot Air Drying. The sample color changes of the LPHAD were lower than that of atmospheric Hot Air Drying.

**Keyword :** Low pressure hot air drying, Drying kinetics, Physicochemical Properties, Dried Ripe mango

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (*Mangifera indica* Linn.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก จัดเป็นผลไม้ในกลุ่มไคลแมคเทอริก (climacteric fruit) เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น หากไม่ได้รับการเก็บรักษาที่ถูกต้องจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสูญเสียคุณภาพได้ จึงได้มีการนำมะม่วงสุกมาผ่านกระบวนการทำแห้ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาไว้ให้นานขึ้น โดยการลดค่าแอกติวิตีของน้ำให้ต่ำกว่า 0.65 (Maisnam et al., 2017)

วิธีการทำแห้งด้วยลมร้อนได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากทำง่าย และมีต้นทุนต่ำ (Sabarez, 2016) โดยใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนกับน้ำในชิ้นอาหาร และดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารจนกระทั่งอาหารแห้ง แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารจะได้รับการสัมผัสกับความชื้นเป็นเวลานาน การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการสนใจ เนื่องจากสภาวะสุญญากาศช่วยให้กำจัดน้ำออกจากชิ้นอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ความดันบรรยากาศ จึงช่วยลดความร้อนที่ผลิตภัณฑ์อาหารได้รับ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งวิธีนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงสีและการหดตัวต่ำ (Orikasa et al., 2014) แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการแปรูปนาน เนื่องจากกลไกในการถ่ายโอนมวล และความร้อนมีประสิทธิภาพต่ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากระบวนการทำแห้งแบบใหม่ภายใต้แนวคิดจากการใช้ตัวกลางในการทำแห้ง 2 ชนิด คือ ลมร้อน และสุญญากาศ โดยใช้สภาวะของลมร้อนที่ความดันต่ำในการทำแห้งมะม่วงสุก เพื่อลดความร้อนที่ผลิตภัณฑ์จะได้รับ และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น รวมทั้งเพิ่มอัตราเร็วในการทำแห้งให้สูงขึ้น

## วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการทำแห้งด้วยวิธีการใช้ลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความดัน 6, 8 และ 10 kPa ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้ง และศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัว และการคืนตัวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกอบแห้ง

## อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการวิจัยการทำแห้งมะม่วงสุก

ในงานวิจัยนี้ใช้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกที่มีระดับความแก่อ่อนเท่ากัน โดยคัดเลือกจากขนาดและสี มีความสม่ำเสมอ มีความแน่นเนื้อ เท่ากับ  $12.77 \pm 2.52$  N มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) เท่ากับ  $18.32 \pm 1.03$  °Brix และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) เท่ากับ  $0.032 \pm 0.58$  g/100g sample จากนั้นนำมะม่วงที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นตามแนวขนานกับเส้นใยให้มีขนาดเท่า ๆ กัน คือ  $1 \times 1 \times 1.5$  เซนติเมตร

การทำแห้งมะม่วงสุกด้วยเครื่องทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ

นำชิ้นตัวอย่างจำนวน 9 ชิ้น (ปริมาณ 25 กรัม) มาวางเรียงกันบนตะแกรงวางตัวอย่าง ก่อนจะนำไปใส่ภายในเครื่องทำแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีสภาวะที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

การศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งของมะม่วงสุก

ในขณะที่ทำการทำแห้งมะม่วงสุกมีการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ทุก ๆ 1 นาที เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ตัวอย่างซ้ำละ 9 ชิ้น

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงสุกอบแห้ง

ทำการวิเคราะห์คุณภาพ โดยแต่ละการทดลองทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ตัวอย่างซ้ำละ 9 ชิ้น

- การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่าง ตรวจสอบค่าสีของตัวอย่างในระบบ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ด้วยระบบการติดตามจากภาพถ่ายในระหว่างกระบวนการทำแห้ง โดยจะถ่ายภาพทุก ๆ 1 นาที จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (image processing)

- การหัดตัวของตัวอย่าง ตรวจสอบการหดตัวจากขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่าง โดยทำการถ่ายภาพทุก ๆ 1 นาที จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าการหดตัวด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ

- การคืนตัว ศึกษาโดยการนำตัวอย่างแห้งมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอัตราการคืนตัวสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตัวอย่างหลังการคืนตัวต่อน้ำหนักของตัวอย่างแห้งเริ่มต้น

การวิเคราะห์ทางสถิติ ทำโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18.0

## ผลและวิจารณ์

การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของมะม่วงสุก พบว่า ในทุกสภาวะการทำแห้ง ขณะเริ่มต้นของการทำแห้งมะม่วงสุกจะมีอัตราการทำแห้งที่คงที่ และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากปริมาณน้ำอิสระที่มีน้อยลง เห็นได้ว่า เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้มีอัตราการทำแห้งที่สูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้อากาศมีความชื้นต่ำ เมื่ออากาศมีความชื้นต่ำก็จะทำให้อากาศรับไอน้ำได้มากขึ้น น้ำในตัวอย่างจึงระเหยออกมาได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังภาพที่ 2 โดยการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิสูง และความดันต่ำ ส่งผลให้ใช้เวลาในการทำแห้ง น้อยลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ López et al. (2010); Vega-Gálvez et al. (2012); Tzempelikos et al. (2014) พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ใช้เวลาการทำแห้งสั้นกว่า และมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และ งานวิจัยของ Luampon et al. (2016) พบว่า การทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิสูงและใช้ความดันในการทำแห้งต่ำจะส่งผลให้มีอัตราการทำแห้งสูง และใช้เวลาในการทำแห้งน้อยลง โดยความดันที่ใช้มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้งมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง ในการศึกษาครั้งนี้ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นตัวแปรการทำแห้งสำคัญที่ใช้ในการอธิบายลักษณะการทำแห้งของชิ้นมะม่วงที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 2 พบว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและความดัน 6 kPa มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงที่สุด เท่ากับ  $10.03 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง และความดันต่ำจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงสุกอบแห้ง จากภาพที่ 3 จะเห็นว่า ชิ้นมะม่วงสุกที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมต่ำกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และเห็นได้ชัดว่าการเพิ่มอุณหภูมิและการลดความดันที่ใช้ในการทำแห้งลง ส่งผลให้ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมให้มีค่าลดลงได้

เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นต่ำ เมื่อขึ้นตัวอย่างสัมผัสกับความชื้นเป็นระยะเวลาสั้น จึงทำให้มีความคล้าของขึ้นตัวอย่างมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ (Argyropoulos and Müllera, 2011)

การศึกษาการหดตัวของมะม่วงสุกอบแห้ง พบว่า ขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำมีอัตราการหดตัวต่ำกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง จะส่งผลให้ขึ้นตัวอย่างมีการหดตัวต่ำลง เนื่องจากการทำแห้งที่ความดันต่ำอาจจะทำให้โครงสร้างของขึ้นตัวอย่างถูกทำลาย จึงเกิดการหดตัวได้ง่ายกว่าการทำแห้งที่ความดันสูง (Nguyen et al., 2018)

การศึกษาการหดตัวของมะม่วงสุกอบแห้ง จากภาพที่ 5 จะเห็นว่า อัตราการคืนตัวจะเพิ่มขึ้นในตอนแรก และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระดับที่ช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป ขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำมีอัตราการคืนตัวที่สูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน โดยการเพิ่มอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทำแห้งขึ้น จะส่งผลให้ขึ้นตัวอย่างมีอัตราการคืนตัวสูงมากขึ้น เนื่องจากในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำจะทำให้ขึ้นตัวอย่างมีการหดตัวน้อยกว่า และมีรูพรุนมากกว่า โครงสร้างจึงไม่ได้ถูกทำลายเท่าที่หดตัวมาก ทำให้มีอัตราการคืนตัวได้มากกว่า (Krokida and Marinos-Kouris, 2003)

## สรุป

การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ (Low Pressure Hot Air Drying, LPHAD) เป็นวิธีการทำแห้งที่ช่วยเพิ่มคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ และลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งลง จากการศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความดัน 6, 8 และ 10 kPa ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้ง และสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัว และการคืนตัว ของมะม่วงสุกอบแห้ง สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิและลดความดันที่ใช้ในการทำแห้งช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นให้มีค่าสูงขึ้น โดยการทำแห้งที่สภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันสูงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมให้มีค่าต่ำลง นอกจากนี้ การทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิและความดันสูงยังส่งผลให้ขึ้นตัวอย่างมีการหดตัวต่ำลง และมีการคืนตัวที่สูงขึ้นอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- ARGYROPOULOS, D. & MÜLLERA, J. 2011. Effect of Convective Drying on Quality of Lemon Balm (Melissa Officinalis L.). *Procedia Food Science*. 1, 1932-1939 pp.
- KROKIDA, M. K. & MARINOS-KOURIS, D. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*. 57, 1-7 pp.
- LUAMPON, R., SUPAKARN, S., THEERAKULPISUT, D. S., & ARTNASEAW, D. A. 2016. Heat and Moisture Transfer Equations for a Vacuum Drying. *KKU RESEARCH JOURNAL (GRADUATE STUDIES)*. 16, 1-14 pp.

- LÓPEZ, J., URIBE, E., VEGA-GALVEZ, A., MIRANDA, M., VERGARA, J., GONZALEZ, E. & DI SCALA, K. 2010. Effect of Air Temperature on Drying Kinetics, Vitamin C, Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Non-enzymatic Browning and Firmness of Blueberries Variety O'Neil. *Food and Bioprocess Technology*. 3, 772-777 pp.
- MAISNAM, D., RASANE, P., DEY, A., KAUR, S. & SARMA, C. 2017. Recent advances in conventional drying of foods: a review. *Journal of Food Technology and Preservation*. 1, 24-34 pp.
- NGUYEN, T. K., MONDOR, M., & RATTI, C. 2018. Shrinkage of cellular food during air drying. *Journal of Food Engineering*. 230, 8-17pp.
- ORIKASA, T., KOIDE, S., OKAMOTO, S., IMAIZUMI, T., MURAMATSU, Y., TAKEDA, J.-I., SHIINA, T. TAGAWA, A. 2014. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*. 125, 51-58 pp.
- SABAREZ, H. T. 2016. 14 - Airborne Ultrasound for Convective Drying Intensification. In: KNOERZER, K., JULIANO, P. & SMITHERS, G. (eds.) *Innovative Food Processing Technologies*. Woodhead Publishing.
- TZEMPELIKOS, D. A., VOUROIS, A. P., BARDAKAS, A. V., FILIOS, A. E. & MARGARIS, D. P. 2014. Case studies on the effect of the air drying conditions on the convective drying of quinces. *Case Studies in Thermal Engineering*. 3, 79-85 pp.
- VEGA-GÁLVEZ, A., AH-HEN, K., CHACANA, M., VERGARA, J., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., GARCÍA-SEGOVIA, P., LEMUS-MONDACA, R. & DI SCALA, K. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*. 132, 51-59 pp.

ตารางที่ 1 แผนการทดลองการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ

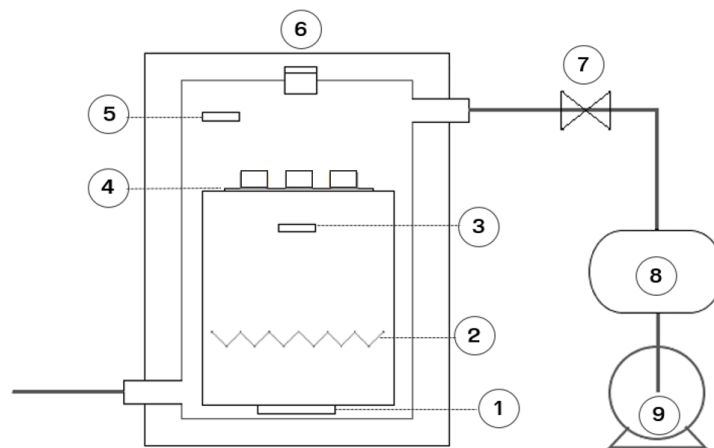
	สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (kPa)
1	Hot air Drying	70	101
2	50°C, 6 kPa	50	6
3	50°C, 8 kPa	50	8
4	50°C, 10 kPa	50	10
5	60°C, 6 kPa	60	6
6	60°C, 8 kPa	60	8
7	60°C, 10 kPa	60	10
8	70°C, 6 kPa	70	6
9	70°C, 8 kPa	70	8
10	70°C, 10 kPa	70	10



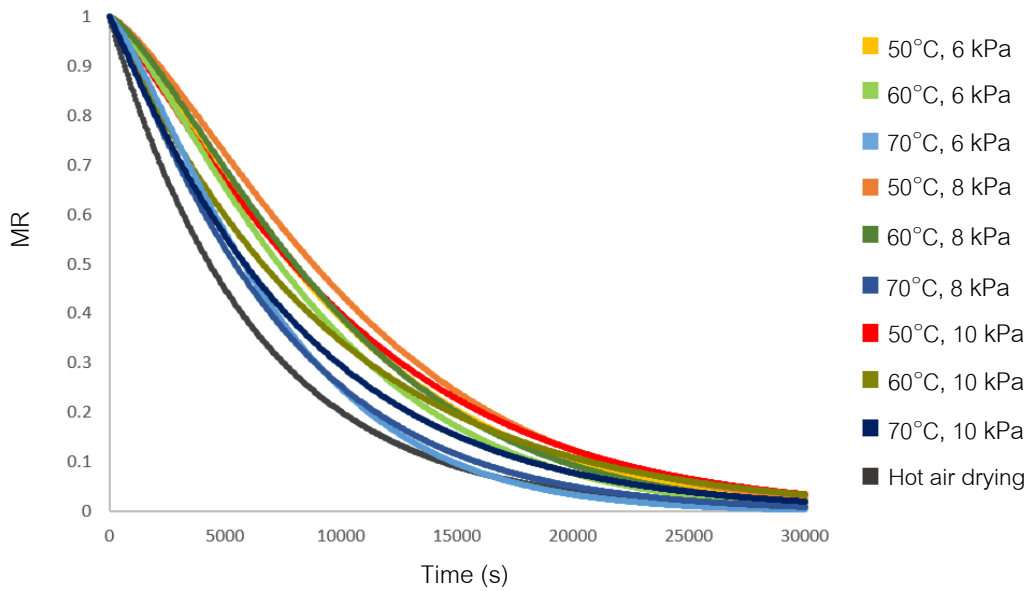
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของขึ้นมะม่วงสุกที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อน ภายใต้สภาวะความดันต่ำ และการทำแห้งด้วยลมร้อน

สภาวะ	สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ( $\text{m}^2/\text{s}) \times 10^9$
Hot Air Drying	$8.71 \pm 0.36^{bc}$
50°C, 6 kPa	$7.36 \pm 0.39^{de}$
50°C, 8 kPa	$6.97 \pm 0.21^{de}$
50°C, 10 kPa	$6.56 \pm 0.46^d$
60°C, 6 kPa	$7.95 \pm 0.25^{cd}$
60°C, 8 kPa	$7.58 \pm 0.57^d$
60°C, 10 kPa	$6.55 \pm 0.36^d$
70°C, 6 kPa	$10.03 \pm 0.25^a$
70°C, 8 kPa	$9.02 \pm 0.56^b$
70°C, 10 kPa	$7.73 \pm 0.61^{cd}$

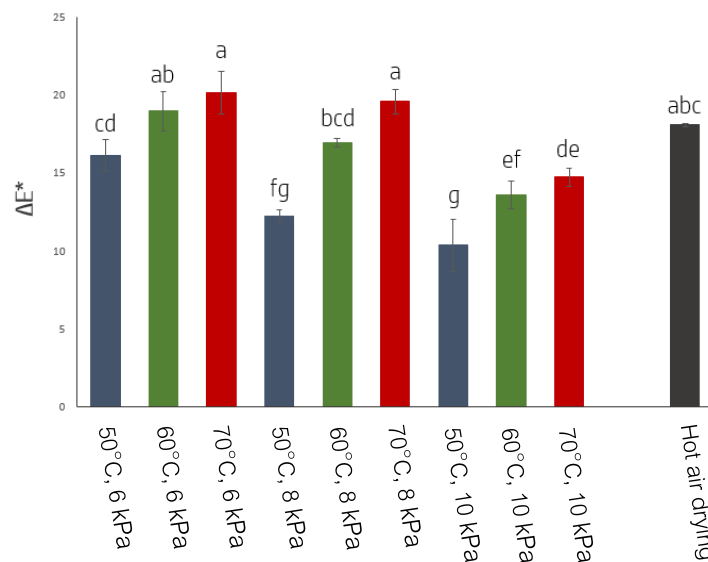
หมายเหตุ a b c d e คือค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



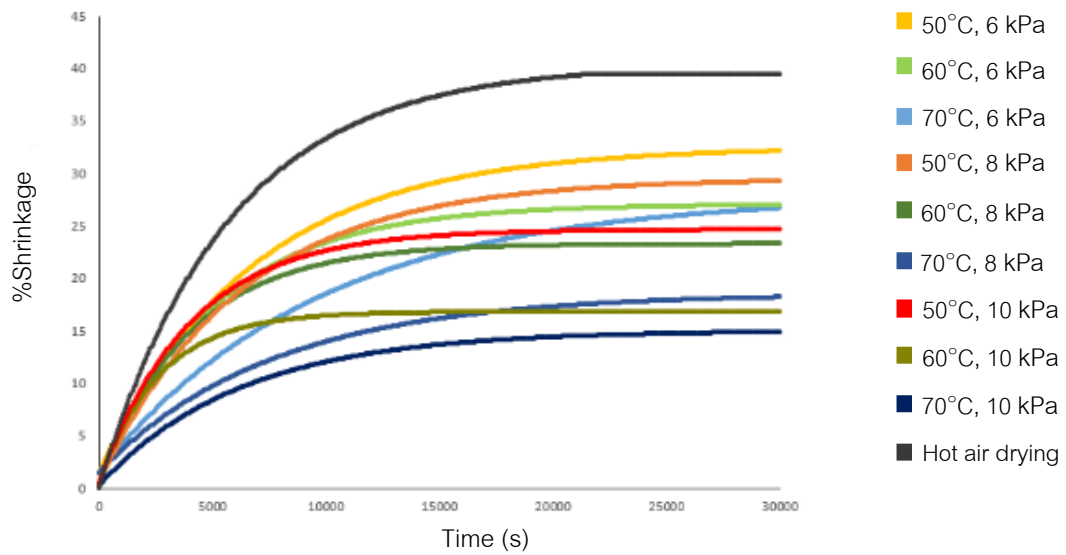
ภาพที่ 1 เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ ประกอบไปด้วย (1) โหลดเซลล์ (2) เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (3) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศและความดันขาเข้า (4) ที่วางตัวอย่าง (5) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศและความดันขาออก (6) กล้องถ่ายภาพ (7) วาล์วควบคุมความดัน (8) ดังสุญญากาศ (9) บั๊มสุญญากาศ



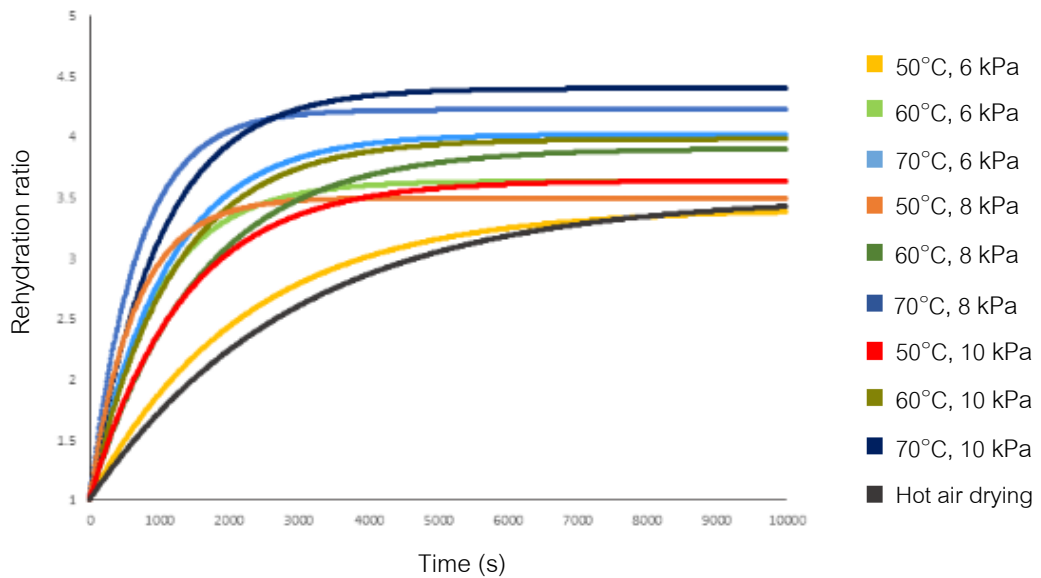
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) และเวลาในระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ ที่อุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของมะม่วงสุกอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำและการทำแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหดตัวและเวลาในระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ ที่อุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอัตราส่วนการคืนตัว ในระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำ ที่อุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน

## สารสกัดใบมะตูมฟื้นฟูความบกพร่องทางความจำในหนูที่ถูกกระตุ้นด้วย scopolamine

### *Aegle marmelos* (L.) Leaf Extract Alleviates Symptoms of Memory Loss in Rats Induced by Scopolamine

ชนิดา ทองโสภณ<sup>1</sup>, ธนาสิทธิ์ ไชยวุฒิ<sup>2</sup>, พรนเรศ ทวีโคตร<sup>1</sup>, และ รณิดา ควิกกินส์<sup>1</sup>

Chanida Thongsopha<sup>1</sup>, Thanasit Chaiwut<sup>2</sup>, Pornnarez thaweekhotr<sup>1</sup>, and Ranida Quiggins<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

โรคอัลไซเมอร์ (AD) เป็นโรคทางระบบประสาทที่พบบ่อยที่สุดและส่งผลกระทบต่อระบบความจำในการศึกษานี้ได้นำหนูขาวมาเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะจำลองโรคอัลไซเมอร์ด้วยสาร Scopolamine โดยมะตูม [*Aegle marmelos* (L.) Correa (AM)] ถูกใช้เป็นยาแผนโบราณในหลายประเทศเป็นเวลาหลายทศวรรษ ซึ่งใบมะตูมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการรักษาของใบมะตูมในภาวะจำลองโรคอัลไซเมอร์ ทั้งนี้ทำการทดสอบระบบความจำและการเคลื่อนไหวด้วยวิธี Morris water maze (MWM) test และ วิธี motor activity test นอกจากนี้ทำการศึกษา presynaptic vesicle protein (PVP) ที่ปลายใยประสาทบริเวณ hippocampus ซึ่งใช้แอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ synaptophysin ด้วยวิธี immunofluorescence ในการทดสอบการเคลื่อนไหวพบว่ากลุ่ม AD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับสารสกัด AM ในกลุ่มที่ได้รับสารสกัด AM ที่ระดับความเข้มข้น 200, 400, และ 600 mg/kg BW สามารถลดระยะเวลาในการค้นหาแพลตฟอร์มที่ซ่อนอยู่ในการทดสอบ MWM และพบว่ากลุ่มที่ได้รับสารสกัด AM ที่ระดับความเข้มข้น 400 และ 600 mg/kg BW เพิ่มความหนาแน่นของ PVP ในบริเวณ CA1 ของ hippocampus ดังนั้น จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบมะตูมสามารถทำให้การบกพร่องทางด้านความจำให้ดีขึ้นและเพิ่มความหนาแน่นของ PVP ในหนูที่มีภาวะจำลองโรคอัลไซเมอร์ในลักษณะตามความเข้มข้น

**คำสำคัญ :** โรคอัลไซเมอร์, มะตูม, การทดสอบความจำ, synaptophysin

#### ABSTRACT

Alzheimer's disease (AD) is the most common neurodegenerative disease that causes memory impairment. This study used scopolamine to induce rats to be the AD-like symptom model. *Aegle marmelos* (L.) Correa. (AM), commonly known as bael, has been used as a traditional medicine agent in many countries for decades. AM leaves have the potential to inhibit acetylcholinesterase activity. The aim of this study was to investigate the therapeutic effects of AM leaves in the AD-like symptom model. The memory function and motor function were tested by Morris water maze (MWM) test and a motor activity test,

respectively. Moreover, immunofluorescence antibodies against synaptophysin, the presynaptic vesicle protein (PVP), was applied to determine axon terminals in the hippocampal area. The results showed no significant difference in motor activities between the AD and the AM treated groups. The AD groups treated with AM at the doses of 200, 400, and 600 mg/kg BW reduced the latency times to find the hidden platform in MWM test. The post treatment of AD group with AM 400 and 600 mg/kg BW increased PVP density in CA1 of the hippocampus. Therefore, the AM leaves extract could improve cognitive impairment and increased PVP density of the AD-like symptom rats in a dose-related manner.

**Keywords:** Alzheimer's disease, *Aegle marmelos*, memory test, and synaptophysin

---

<sup>1</sup>ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50140 ประเทศไทย

Department of Anatomy, Faculty of medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai 50140, Thailand.

<sup>2</sup>ภาควิชาการศึกษาทั่วไป วิทยาลัยทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนภิเษก นนทบุรี 11150 ประเทศไทย

Department of general education, Kanchanabhishek Institute of medical and Public Health Technology, Nonthaburi 11150, Thailand.

## Introduction

The most common cause of dementia is Alzheimer's disease (AD). The most significant symptoms are a decreased ability to learn, cognitive problems, and memory dysfunction. In Alzheimer's disease, the neurons involved in cognitive impairment have been damaged and degenerated. These pathological conditions results in reduction of neurotransmitters in cholinergic neurons (Alzheimer's Association, 2018). Normally, cholinergic neurons are responsible for releasing acetylcholine (ACh) in the peripheral and central nervous systems. The cholinergic neurons mostly locate in the nucleus basalis of Meynert (nbM) and septal nuclei in the basal forebrain. These neurons send their projections to the cerebral cortex and hippocampal formation which are associated with memory function of AD (Ferreira-Vieira et al., 2016; Liu et al., 2015). Acetylcholinesterase inhibitors (AChEIs) in medical form is currently used to treat AD patients and are approved by the US Food and Drug Administration (FDA). AChEIs increases Ach levels in the synaptic cleft of cholinergic neurons. However, it is ineffective for long term usage (Ferreira-Vieira et al., 2016; Ali et al., 2015). Many studies have been done in animal models using scopolamine-induced for AD-like symptoms. Scopolamine, a nonselective muscarinic receptor antagonist that is used in the cholinergic hypothesis, increases oxidative stress and cognitive dysfunction (Klinkenberg and Blokland, 2010; Van Dam & De Deyn, 2011). *Aegle marmelos* (L.) Correa. (AM) or Matoom, generally known as bael of the

Rutaceae family, is widely distributed in India and Southeast Asia. Asaduzzaman et al. (2014) reported that *AM* leaves extract had potential for use as an anti-oxidant and was able to inhibit AChE activity which consequently prolonged the activity of acetylcholine neurotransmitters in the synaptic clefts. In ways similar to Adavala et al. (2016) who showed that *AM* leaves had therapeutic effects on enhanced cognitive dysfunction in mice, inhibited lipid peroxidation, and decreased AChE activity, Raheja et al. (2019) also presented that *AM* leaves extract at a dose of 400 mg/kg ameliorates cholinergic dysfunction, oxidative stress, neuroinflammation, and memory deficit. Therefore, we would like to determine the therapeutic effects of *AM* leaves extract in scopolamine-induced cognitive impairment and neuronal damage.

## Objectives

The objectives of the study were to compare memory behavior, motor activities, and PVP density of the AD groups and the post *AM* treated groups.

## Materials and Method

*AM* leaves were collected in Chiang Mai University, Thailand. It was authenticated by the Queen Sirikit Botanic Garden Herbarium (QBG. No.122080), Ministry of Natural Resources and Environment. The leaves were dried, ground, and then soaked in 99.9% ethanol for 7 days. It was extracted by a rotary evaporator and was lyophilized by a freeze dryer. The dried *AM* extract was diluted with 10% Tween 80 solution before being used. Thirty albino Wistar rats (BrlHan: WIST@Jcl (GALAS), Nomura Siam International, Thailand), aged six weeks and weighing 160-200 g, were randomized into 5 groups (six rats per group) ; (1) Control received the intraperitoneal (i.p.) injections of normal saline for 15 days, (2) AD was induced to be AD-like symptoms models by scopolamine 1 mg/kg BW (i.p.) for 5 days following treatment with the normal saline (i.p.) for 10 days, (3) *AM*200 (4) *AM*400, and (5) *AM*600 groups were induced by scopolamine 1 mg/kg BW (i.p.) for 5 days and then were treated with *AM* extract at dose 200, 400, and 600 mg/kg BW (i.p.) for 10 days, respectively. Rats' movements were assessed by motor activity that was monitored on days 1, 5, and 15 of the experimental period. Morris water maze (MWM) test was used to evaluate memory and learning function. Rats were tested in a circular pool with a hidden platform. They have been trained using 4 trials per day for one week (on days 6-12) after scopolamine injections. The latency time, which is the time that rats swim to find the hidden platform was recorded. Then, the rats rested on the platform for 30 seconds. On day 16, rats were anesthetized by a lethal dose of isoflurane and transcardial perfusion with 0.1M phosphate buffer (PB), 4% paraformaldehyde fixatives and then brains were removed. Brains were coronally sectioned into 30 µm thickness by a vibratome (Leica 1200s). The sections containing hippocampus were incubated in a 1:1000 dilution of antibody against synaptophysin

produced in rabbits (Sigma , Lot no.310333) in 1% normal goat serum (NGS) in phosphate buffer saline solution (PBS), overnight at 4 °C. The sections were incubated in a 1: 100 dilution of the goat anti-rabbit antibodies conjugated to Rhodamine (Millipore lot no.2775066) in 1% NGS in PBS, overnight. Next, sections were examined under fluorescence microscope and photos were taken. The labeled synaptophysin were counted and analyzed as density (number per 1000  $\mu\text{m}^2$ ). All data were shown as means  $\pm$  standard deviations (SD). The data were analyzed by using a one-way analysis of variance (ANOVA) followed by the Tukey multiple comparison test. P values less than 0.05 were considered statistically significant.

## Results and discussion

### Scopolamine had no effects on motor activity.

The motor activity was tested in AD and the post AM treated groups. We found that there was no significant differences in the number of movements (count per 5 minutes) of the AD-like symptom rats on day 5 as compared to that of the control groups (Figure 1). On day 15, the motor activities of the induced AD-like symptom rats treated with AM 200 (207.22 $\pm$ 56.00 counts/ 5 minutes), 400 (153.21 $\pm$ 57.76 counts/5 minutes) and 600 (154.33 $\pm$  51.48 counts/5 minutes) mg/kg BW were not significantly different from that of the untreated AD group (189.85 $\pm$  35.56 counts/ 5 minutes). These movements resulted from the contraction of limb muscles. These findings indicate that scopolamine had no effects on the ACh functions of the skeletal muscles. This was also supported by an article that reviewed how scopolamine had peripheral side effects on smooth muscles, not skeletal muscles (Klingkenberg and Blokland, 2010).

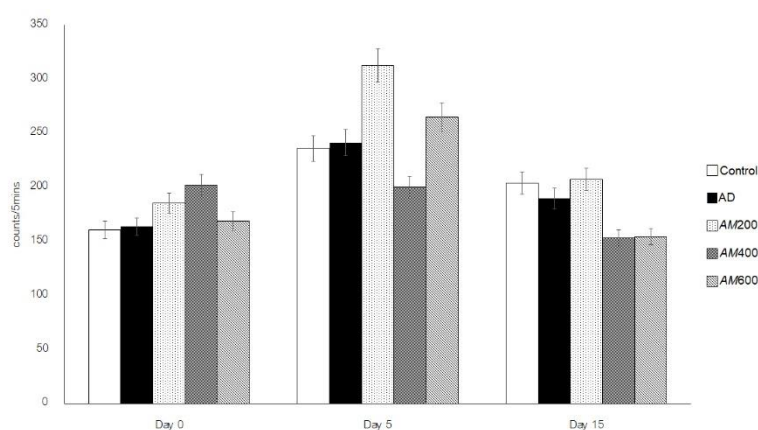


Figure 1. Motor activities of the 5 groups of rats demonstrated as numbers of counted movement for 5 minutes on day 0, day 5, and day 15 of experimental period. The data was shown as mean  $\pm$  SD; n = 6.

### The AM extract improves memory and learning dysfunctions of the scopolamine induced rats

On day 0, the latency times were not significantly different among all rat groups (Control; 21.83 ±10.19, AD; 24.96±15.89, AM200; 20.21±5.58, AM400; 23.12±6.22, and AM600; 28.75±13.00 counts/5 minutes) (Figure 2). The latency time of the control group on day 5 had reduced from that on day 0, and the latency times of AM200 (10.79±5.76 counts/5 minutes), AM400 (14.79±4.07 counts/5 minutes), and AM600 (16.67±19.03 counts/5 minutes) were not significantly different from that of the AD group (13.83±14.818 counts/5 minutes). Interesting, the latency time of the AD-like symptom group on day 15 was significantly higher than that of the control at  $p$ -value < 0.05 while the latency times of all post AM treatment groups at 200, 400, and 600 mg/kg BW were not significantly different from the control. The post AM treatments at low, middle, and high dose could improve the memory of the AD-like symptom rats. The properties of AM that reduced memory impairment has also been reported in the mice induced by the intraperitoneal scopolamine (Adavala et al.,2016).

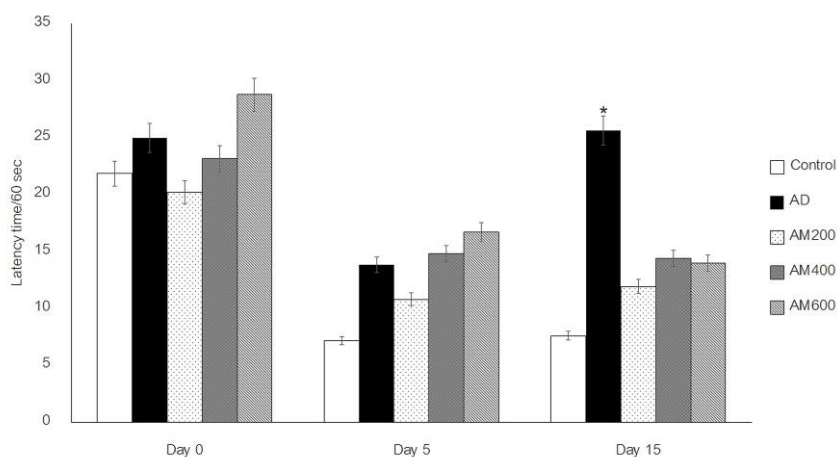


Figure 2. The latency time of AD group and the post AM treatment groups on day 0, day 5, and day 15, before and after scopolamine inducing and post AM treatments, respectively. The data of latency time (seconds) were shown as mean ± SD; n = 6, \*  $P$  < 0.05 versus the control group.

### The AM extract improves the synaptic dysfunctions of the scopolamine induced rats



Scopolamine had been reported to cause synaptic dysfunction and memory impairment (Wang et al., 2013) and reduces the level of synaptic protein in the CA1 of hippocampus (Muhammad et al., 2018). We investigated synaptophysin which is the PVP that is used as the marker for axon terminals in the CA1 subfield in hippocampus. The synaptophysin immunofluorescence labeling axon terminals of each group were demonstrated in Figures 3Aa-e and were counted for density of labeled terminals in the selected areas (Figures 3Af-j). We found that densities of the synaptophysin labeled axon terminals in the AD-like symptom rats and those rats treated with *AM* extract 200 and 400 mg/kg BW had decreased from that of the control at  $p < 0.001$  (Fig. 3B). However, the AD-like symptom rats treated with *AM* extract at doses of 400 and 600 mg/kg BW showed significantly higher densities of the labeled axon terminals than the AD at  $p < 0.001$ . Among the *AM* treated groups, the AD-like symptom rat group treated with *AM* extract at a dose of 600 mg/kg BW group had the highest density of the axon labeled terminals. Thus, the *AM* leaf extract of 400 and 600 mg/kg BW increased the densities of the axon terminals in CA1 of hippocampus in the scopolamine induced AD-like symptom rats. The *AM* extract probably stimulated the expression of PVP, synaptophysin and the transportation of the presynaptic vesicles to the axon terminals in the scopolamine induced rats in a dose-dependent manner.

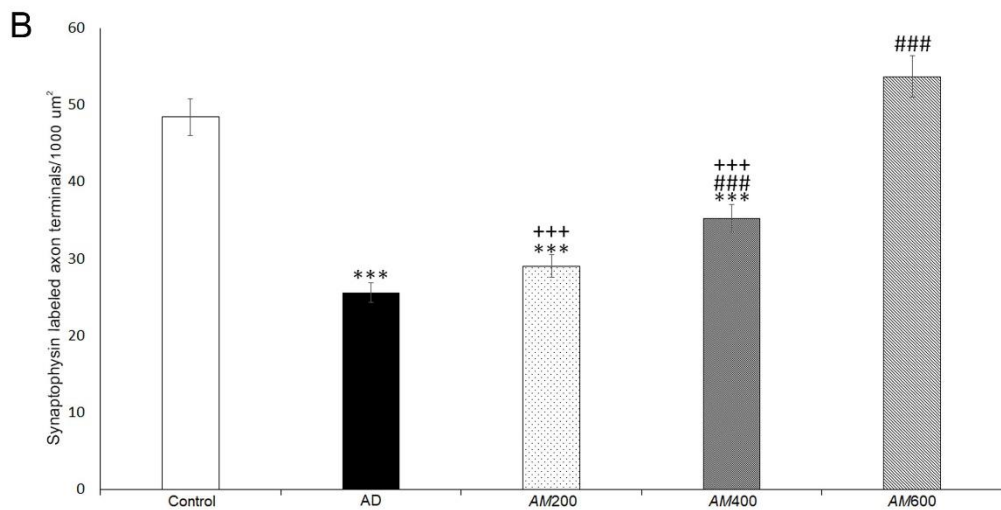
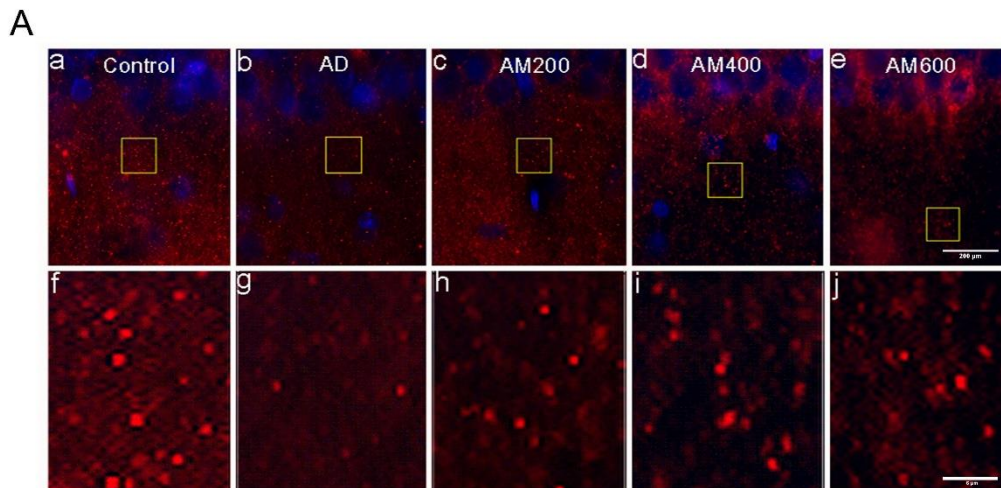


Figure 3. A. The synaptophysin labeled terminals (red) and the DAPI labeled nuclei in the CA1 of hippocampus of the control (a), AD (b), AM200 (b), AM400 (c), and AM600 (d) groups. The yellow flames in a-d are areas in CA1 of hippocampus which were used for analyzing the density of the labeled terminals and their magnification are in f-j, respectively. B. The density of the synaptophysin labeled terminals per 1000  $\mu\text{m}^2$  in the CA1 of hippocampus. The data were shown as mean  $\pm$  SD; n = 71. \*\*\*  $p < 0.001$  versus the control, ###  $p < 0.001$  versus the AD, +++  $p < 0.001$  versus the AM600.(a-e; scale bar = 200  $\mu\text{m}$ , f-j; scale bar = 6  $\mu\text{m}$ )

## Conclusion

AM extract post-treatment at dose 200,400, and 600 mg/kg BW improved memory impairment and that at doses of 400 and 600 mg/kg BW increased the density of the presynaptic vesicle protein synaptophysin in the CA1 area of the hippocampus in the AD-like symptom rats induced by scopolamine.

### Acknowledgements

The authors would like to thank Mrs. Lamai-porn Peeraphapong for her assistance in preparing the fixative solution and perfusion of the animals. We would also like to thank Mr. Thongkhum Taya and the staff in the Human Genetic Laboratory for their assistance in the fluorescence microscopy. This work was supported by the Faculty of Medicine, Chiang Mai University.

### References

- Adavala, P. D., Musukula, Y. R., & Puchchakayala, G. (2016). Neuroprotective Effect of Aegle marmelos Leaf Extract in Scopolamine Induced Cognitive Impairment and Oxidative Stress in Mice. *Global Journal of Pharmacology*, *10*(2), 45-53. doi:10.5829/idosi.gjp.2016.10.02.103112
- Ali, T. B., Schleret, T. R., Reilly, B. M., Chen, W. Y., & Abagyan, R. (2015). Adverse Effects of Cholinesterase Inhibitors in Dementia, According to the Pharmacovigilance Databases of the United-States and Canada. *PLoS One*, *10*(12), e0144337. doi:10.1371/journal.pone.0144337
- Asaduzzaman, M., Uddin, M. J., Kader, M. A., Alam, A. H., Rahman, A. A., Rashid, M.,... Sadik, G. (2014). In vitro acetylcholinesterase inhibitory activity and the antioxidant properties of Aegle marmelos leaf extract: implications for the treatment of Alzheimer's disease. *Psychogeriatrics*, *14*(1), 1-10. doi:10.1111/psyg.12031
- Alzheimer's Association. (2018). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & Dementia*, *14*(3), 367-429. doi:10.1016/j.jalz.2018.02.001
- Ferreira-Vieira, T. H., Guimaraes, I. M., Silva, F. R., & Ribeiro, F. M. (2016). Alzheimer's Disease: Targeting the Cholinergic System. *Current Neuropharmacology*, *14*, 101-115.
- Klinkenberg, I., & Blokland, A. (2010). The validity of scopolamine as a pharmacological model for cognitive impairment: a review of animal behavioral studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(8), 1307-1350. doi:10.1016/j.neubiorev.2010.04.001
- Liu, A. K., Chang, R. C., Pearce, R. K., & Gentleman, S. M. (2015). Nucleus basalis of Meynert revisited: anatomy, history and differential involvement in Alzheimer's and Parkinson's disease. *Acta Neuropathologica*, *129*(4), 527-540. doi:10.1007/s00401-015-1392-5
- Muhammad, T., Ali, T., Ikram, M., Khan, A., Alam, S. I., & Kim, M. O. (2018). Melatonin Rescue Oxidative Stress-Mediated Neuroinflammation/ Neurodegeneration and Memory Impairment in

- Scopolamine-Induced Amnesia Mice Model. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*. doi:10.1007/s11481-018-9824-3
- Raheja, S., Girdhar, A., Kamboj, A., Lather, V., & Pandita, D. (2019). Aegle marmelos leaf extract ameliorates the cognitive impairment and oxidative stress induced by intracerebroventricular streptozotocin in male rats. *Life Sciences*, 221, 196-203. doi:10.1016/j.lfs.2019.02.032
- Van Dam, D., & De Deyn, P. P. (2011). Animal models in the drug discovery pipeline for Alzheimer's disease. *British Journal of Pharmacology*, 164(4), 1285-1300. doi:10.1111/j.1476-5381.2011.01299.x
- Wang, X., Wang, Z. H., Wu, Y. Y., Tang, H., Tan, L., Wang, X., . . . Zhu, L. Q. (2013). Melatonin attenuates scopolamine-induced memory/synaptic disorder by rescuing EPACs/miR-124/Egr1 pathway. *Molecular Neurobiology*, 47(1), 373-381. doi:10.1007/s12035-012-8355-9

## ความชุกของยีน *bla*<sub>OXA-51</sub>, *bla*<sub>NDM-1</sub>, *bla*<sub>ADC</sub>, และ *aphA6* ใน *Acinetobacter baumannii* ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ

### Prevalence of *bla*<sub>OXA-51</sub>, *bla*<sub>NDM-1</sub>, *bla*<sub>ADC</sub>, and *aphA6* among clinical isolates of *Acinetobacter baumannii*

จรรยา ศรชัย<sup>1</sup> และ รัชนีพร ทิยะวิสุทธิศรี<sup>2,3</sup>

Jariya Sornchai<sup>1</sup> and Rachaneeporn Tiyawisuttri<sup>2,3</sup>

#### บทคัดย่อ

*Acinetobacter baumannii* เป็นเชื้อที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อภายในโรงพยาบาล และ มีการดื้อยาปฏิชีวนะหลายชนิดเพิ่มมากขึ้น โดยการสร้างเอนไซม์ทำลายยาเป็นกลไกการดื้อยาที่มีความสำคัญและพบได้บ่อยในเชื้อ *A. baumannii* ในการศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจหาความชุกของยีนที่สร้างเอนไซม์  $\beta$ -lactamase เอนไซม์ cephalosporinase รวมไปถึงเอนไซม์ aminoglycoside-modifying enzymes (AMEs) โดยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรสในเชื้อ *A. baumannii* จำนวน 91 ตัวอย่าง ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 ผลการศึกษาพบว่าเชื้อ *A. baumannii* 76 ตัวอย่าง (ร้อยละ 83.5) เป็นเชื้อที่ดื้อยาหลายชนิด (multidrug-resistant *A. baumannii* : MDR-AB) โดยเชื้อ *A. baumannii* ทุกสายพันธุ์ให้ผลบวกกับยีน *bla*<sub>OXA-51</sub> คิดเป็นร้อยละ 100 (91/91) รองลงมาได้แก่ ยีน *bla*<sub>ADC</sub> ยีน *aphA6* และยีน *bla*<sub>NDM-1</sub> คิดเป็นร้อยละ 58.2 (53/91), 3.3 (3/91) และ 2.2 (2/91) ตามลำดับ โดยพบ *bla*<sub>OXA-51</sub> ร่วมกับยีน *bla*<sub>ADC</sub> มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.0 (51/91) จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายของยีนดื้อยาและเชื้อแบคทีเรียดื้อยาในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ :** *Acinetobacter baumannii* *aphA6*, ยีน ADC, ยีน NDM-1, แบคทีเรียดื้อยาหลายชนิด

<sup>1</sup> หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ระดับโมเลกุลทางจุลชีววิทยาทางการแพทย์และวิทยาภูมิคุ้มกัน ภาควิชาเวชศาสตร์การธนาคารเลือด และจุลชีววิทยาคลินิก คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

<sup>2</sup> ภาควิชาเวชศาสตร์การธนาคารเลือดและจุลชีววิทยาคลินิก คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn university, Bangkok 10330, Thailand

<sup>3</sup> หน่วยวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา, คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Research Unit of Innovative Diagnosis of Antimicrobial Resistance, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

## Abstract

*Acinetobacter baumannii* is one of the most important causes of nosocomial infection and it has increasing resistant to many antimicrobial agents. Antibiotic degrading enzyme is the most frequent mechanism for antimicrobial resistance in *A. baumannii*. In this study evaluated the prevalence of  $\beta$ -lactamase, cephalosporinase and aminoglycoside-modifying enzymes (AMEs) encoding genes by polymerase chain reaction (PCR) in *A. baumannii* 91 non-duplicate clinical isolates from July to December 2018. We identified 76 isolates (83.5%) as multidrug-resistant *A. baumannii* (MDR-AB). The *bla*<sub>OXA-51</sub> gene was found in all isolates of *A. baumannii* (100% ,91/91). *bla*<sub>ADC</sub>, *aphA6* and *bla*<sub>NDM-1</sub> were detected in 58.2 % (53/91), 3.3 % (3/91) and 2.2 % (2/91) , respectively. Co-existence of *bla*<sub>OXA-51</sub> and *bla*<sub>ADC</sub> was found 56.0 % (51/91). Form this study, it can be used as a preliminary data for monitoring and controlling the spread of these resistant strains.

**Keywords:** *Acinetobacter baumannii*, *aphA6*, ADC gene, NDM-1 gene, Multidrug resistant bacteria

## บทนำ

*A. baumannii* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่เป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย โดยเป็นเชื้อก่อโรคที่มีความสำคัญทางการแพทย์และเป็นเชื้อฉวยโอกาสที่พบบ่อยมากในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหอผู้ป่วยที่พบการแพร่ระบาดของเชื้อเพิ่มมากขึ้นทุกปี เชื้อดังกล่าวเป็นสาเหตุสำคัญของการติดเชื้อในโรงพยาบาล (Agustí, et al., 2002) เนื่องจากแบคทีเรียดื้อยาที่ใช้ในการรักษาทำลาย และกำจัดยาก สำหรับการดื้อยาด้านจุลชีพของเชื้อ *A. baumannii* พัฒนาการดื้อยาจากหลายกลไกผ่านทั้งทางโครโมโซมและ พลาสมิด (Rungruanghiranya, et al., 2005) ปัจจุบันพบว่าปัญหาที่สำคัญคือเชื้อ *A. baumannii* มีการดื้อยาหลายชนิด (multidrug resistance bacteria, MDR) โดยเกณฑ์ในการจัดว่าเป็นเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพหลายชนิด คือ เชื้อต้องมีการดื้อยาด้านจุลชีพมากกว่า 3 กลุ่มจากยาที่ใช้ทดสอบความไว 5 กลุ่ม โดยในช่วงเวลาที่ผ่านมากการรักษาการติดเชื้อ *A. baumannii* นิยมใช้ยาในกลุ่ม carbapenem เป็นเวลานานสุดท้ายภายหลังจากการที่เชื้อมีการดื้อยา กลุ่มอื่นๆที่ใช้ในการรักษา ซึ่งการใช้ยาในกลุ่ม carbapenem ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นเหตุให้ปัจจุบันมีการดื้อยาในกลุ่ม carbapenem เพิ่มขึ้น (วิชัย, 2552)

จากข้อมูลของศูนย์เฝ้าระวังเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพแห่งชาติกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ พ.ศ. 2541 – พ.ศ. 2560 แสดงให้เห็นว่าความไวของเชื้อ *A. baumannii* ต่อยาในกลุ่ม carbapenem (imipenem, meropenem) ลดลงเรื่อยๆ โดยในปี พ.ศ. 2541 ความไวของของยา imipenem คิดเป็นร้อยละ 98.0 แต่ในปี พ.ศ. 2560 ความไวของยา imipenem ลดลงอย่างมากเหลือเพียงร้อยละ 29.6 ขณะที่ยา meropenem มีความไวลดลงจากร้อยละ 33.0 ในปี พ.ศ. 2550 เหลือเพียงร้อยละ 30.2 (พ.ศ. 2560) ส่วนยาในกลุ่ม broad-spectrum cephalosporins ได้แก่ ยา ceftazidime ความไวลดลงจากร้อยละ 40 (พ.ศ. 2541) เหลือเพียงร้อยละ 29.6 (พ.ศ. 2560) ส่วนยา cefipime มีความไวลดลงจากร้อยละ 38 (พ.ศ. 2551) เหลือเพียงร้อยละ 27.6 (พ.ศ. 2560) สำหรับยาในกลุ่ม aminoglycoside ได้แก่ gentamicin และ amikacin มีความไวของยาอยู่ในระดับไม่สูงมากนักอยู่ในช่วง ร้อยละ 30.0-39.1 และ 36.0-48.4 ตามลำดับ (พ.ศ. 2541-2560) (Center NARS,

2017) โดยยา carbapenem เป็นยาในกลุ่มสำคัญที่ใช้ในการรักษาการติดเชื้อนี้ หากมีการดื้อยาในกลุ่มนี้จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการรักษาการติดเชื้อ เนื่องจากเป็นยาขนานสุดท้าย (last resort antibiotic) ที่ใช้ในการรักษาการติดเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิด (Evans, et al., 2014) ให้ต้องมีการเปลี่ยนยาต้านจุลชีพชนิดใหม่

กลไกการดื้อยาของ *A. baumannii* มีความหลากหลายและซับซ้อน เชื้อชนิดนี้ดื้อยาโดยพันธุกรรมอยู่แล้ว และยังสามารถพัฒนาการดื้อยาขึ้นได้อีกในระหว่างการรักษา โดยกลไกการดื้อยาที่พบบ่อยและสำคัญที่สุด คือ การสร้างเอนไซม์มาทำลายยา โดยการสร้างเอนไซม์นั้น มีรายงานการสร้างเอนไซม์หลากหลายชนิดด้วยกัน ทั้งที่ทำลายยา กลุ่ม  $\beta$ -lactam ได้แก่ Amp-C  $\beta$ -lactamase, OXA-type carbapenemase และ Metallo- $\beta$ -lactamase และการทำลายยาในกลุ่ม aminoglycosides โดยเชื่อดังกล่าวนี้สามารถถ่ายยีนที่ควบคุมการดื้อยาไปยังแบคทีเรียอื่นๆ ได้ทั้งผ่านทางโครโมโซมและพลาสมิด ทำให้เกิดการแพร่กระจายและมีการเพิ่มจำนวนของเชื้อดื้อยามากขึ้น รวมทั้งเกิดความยากลำบากในการเลือกยาที่เหมาะสม ส่งผลให้ต้องจ่ายยาแพงและมีฤทธิ์รุนแรงมากขึ้น ซึ่งการดื้อยาโดยการสร้างเอนไซม์ cephalosporinase ของเชื้อ *Acinetobacter* spp. (*Acinetobacter*-derived cephalosporinase; ADC) จากรายงานการวิจัยในประเทศอิหร่าน พบว่าการดื้อยาแบบ MDR *A. baumannii* นั้นตรวจพบยีน *bla*<sub>ADC</sub> ในทุกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา (Sarhaddi, et al., 2017) และยาในกลุ่มสำคัญที่ใช้ในการรักษา *A. baumannii* ที่ดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิดคือ ยา carbapenem เอนไซม์  $\beta$ -lactamase ที่เกิดจากการดื้อยา carbapenem นี้จะมีชื่อเรียกว่า carbapenemase โดยในเชื้อ *A. baumannii* ดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิดที่สำคัญมี 2 ชนิดได้แก่ OXA-type carbapenem-hydrolyzing class D  $\beta$ -lactamases (CHDLs) และ metallo- $\beta$ -lactamases (MBLs) (วิชัย, 2552) โดยเอนไซม์กลุ่ม CHDLs พบได้บ่อยในเชื้อ *Acinetobacter* spp. สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้มากกว่า 10 กลุ่ม แต่ที่พบบ่อยในเชื้อ *A. baumannii* ได้แก่ *bla*<sub>OXA-23 like</sub>, *bla*<sub>OXA-24/40 like</sub>, *bla*<sub>OXA-51 like</sub> และ *bla*<sub>OXA-58 like</sub> (Evans, et al., 2014) จากการศึกษาค้นคว้าของยีนที่สร้างเอนไซม์ CHDLs (OXA) ในแต่ละภูมิภาคในโลกจะให้ผลที่แตกต่างกันออกไป และการศึกษาการสร้างเอนไซม์ MBLs ได้แก่ *bla*<sub>NDM-1</sub> พบมีการรายงานครั้งแรกในปี พ.ศ. 2551 จากชาวยุโรปที่เดินทางมาทำศัลยกรรมความงามที่ประเทศอินเดียและติดเชื้อดื้อยาที่มียีน NDM-1 กลับไปและเกิดการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาอย่างรวดเร็ว (Yong, et al., 2009) ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 พบมีการรายงานการแพร่กระจายของยีน NDM-1 กว่า 40 ประเทศทั่วโลก (Mochon, et al., 2011) ซึ่งในประเทศไทยประสบปัญหาเรื่องเชื้อแบคทีเรียที่มี NDM-1 เช่นกัน แต่สำหรับในประเทศไทยนั้นยังมีการรายงานการพบยีน NDM-1 ในเชื้อ *A. baumannii* ไม่มากนัก และในส่วนของ การสร้างเอนไซม์ AMEs ที่มีผลต่อการดื้อยาในกลุ่ม aminoglycosides นั้นจะมีการเติม acetyl, adenylyl หรือ phosphate เข้าไปในโครงสร้างของยา ทำให้ยาออกฤทธิ์ไม่ได้ โดยยีนดื้อยาดังกล่าวสามารถส่งผ่านทาง plasmid หรือ transposon และส่วนใหญ่พบว่ายีนดื้อยาที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ AMEs คือ ยีน *aphA6* ซึ่งยังไม่มีการรายงานพบยีน *aphA6* จากเชื้อ *A. baumannii* ในประเทศไทย แต่พบการรายงานการพบยีน *aphA6* ในประเทศอิหร่าน (Sarhaddi, et al., 2017) และ เนปาล (Joshi, et al., 2017)

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความชุกของยีนที่ทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์  $\beta$ -lactamase จำนวน 3 ยีน ได้แก่ *bla*<sub>NDM-1</sub>, *bla*<sub>OXA-51</sub>, *bla*<sub>ADC</sub> ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดื้อยาต้านจุลชีพกลุ่ม carbapenem และ cephalosporin ซึ่งเป็นยาในกลุ่มสำคัญที่ใช้ในการรักษาการติดเชื้อ *A. baumannii* รวมถึงทำการศึกษาความชุกของยีนที่ทำหน้าที่สร้างเอนไซม์ AMEs จำนวน 1 ยีน ได้แก่ *aphA6* ควบคู่กันไปด้วย

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความชุกของยีน *bla*<sub>OXA-51</sub>, *bla*<sub>NDM-1</sub>, *bla*<sub>ADC</sub> และ *aphA6* ในเชื้อ *A. baumannii* ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ โดยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส

## อุปกรณ์และวิธีการ

### เชื้อแบคทีเรียตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

เชื้อ *A. baumannii* ดื้อยาหลายชนิดจำนวน 91 ตัวอย่าง เก็บอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อรักษาสภาพซึ่งแยกได้จากผู้ป่วยโดยได้รับการอนุเคราะห์เชื้อจากงานจุลชีววิทยาคลินิกกลุ่มงานเทคนิคการแพทย์โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ เขตภาคกลางตอนบน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2561 โดยเชื้อ *A. baumannii* ที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการเพาะเลี้ยงตามมาตรฐานงานจุลชีววิทยา จำแนกชนิดของเชื้อด้วยวิธีทางชีวเคมีและทดสอบความไวต่อยาต้านจุลชีพโดยใช้ค่าอ้างอิงตามมาตรฐานของสถาบันมาตรฐานห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และการแพทย์ (Clinical and Laboratory Standard Institute, CLSI) (The Clinical & Laboratory, 2017) โดยมาจากสิ่งส่งตรวจต่างๆ ได้แก่ เสมหะ ปัสสาวะหนอง เลือด ชี้นเนื้อ น้ำจากการเจาะหลอดลม และน้ำล้างปอด

### การศึกษาแบบแผนความไวต่อยาปฏิชีวนะด้วยวิธี disk diffusion

การทดสอบความไวของเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อยาหลายชนิด จำนวน 91 ตัวอย่าง โดยยาปฏิชีวนะที่ใช้ทดสอบมี 12 ชนิด ได้แก่ Meropenem (MEM) 10 ไมโครกรัม Imipenem (IPM) 10 ไมโครกรัม Ceftazidime (CAZ) 30 ไมโครกรัม Cefoperazone/Sulbactam (SCFP) 75/30 ไมโครกรัม Amikacin (AK) 30 ไมโครกรัม Gentamicin (GM) 10 ไมโครกรัม Ciprofloxacin (CFX) 5 ไมโครกรัม Piperacillin/Tazobactam (TZP) 100/10 ไมโครกรัม Trimethoprim/Sulfamethoxazole (SXT) 1.25/23.75 ไมโครกรัม Ampicillin/sulbactam 10/10 ไมโครกรัม และ Tigecycline (TGC) 15 ไมโครกรัม โดย Sulbactam และ Tazobactam เป็นสารยับยั้งเอนไซม์  $\beta$ -lactamase ไม่ได้ออกฤทธิ์ต่อเชื้อแบคทีเรียโดยตรง มีการนำมาใช้ร่วมกับยาในกลุ่ม  $\beta$ -lactam ( $\beta$ -lactam/  $\beta$ -lactamase inhibitor combination) เพื่อออกฤทธิ์ร่วมกันหรือเสริมฤทธิ์กันในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดื้อต่อยา

### การตรวจหาความชุกของยีนดื้อยาในเชื้อ *A. baumannii* โดยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส

เตรียมดีเอ็นเอต้นแบบโดยสกัดเชื้อ *A. baumannii* ด้วยวิธี boiling method (Barbosa, et al., 2016) จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหายีน *bla*<sub>OXA-51</sub>, *bla*<sub>NDM-1</sub>, *bla*<sub>ADC</sub> และ *aphA6* ด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส โดยรายละเอียดดังนี้ การเตรียม PCR mixture (25  $\mu$ l) ประกอบด้วย 1x Taq buffer, dNTP mix ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลาร์, MgCl<sub>2</sub> ความเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์, forward และ reverse primer (ตารางที่ 1) ความเข้มข้นอย่างละ 0.5 ไมโครโมลาร์, 1.0 U Taq DNA polymerase และดีเอ็นเอที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ 1 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยา PCR เริ่มต้นด้วย predenature ที่ 94 องศา 5 นาที จากนั้นทำ PCR ต่ออีก 30 รอบ โดย denature ที่ 94 องศา 25 วินาที, annealing ที่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับแต่ละ specific primer sets (ตารางที่ 1) นาน 30 วินาที, extension ที่ 72 องศา 50 วินาที และ final extension ที่ 72 องศา 6 นาที ตรวจสอบ PCR product ที่ได้ด้วยวิธี electrophoresis โดยใช้ 1.5 % agarose gel ใน 1X Tris-acetate-EDTA buffer และย้อมด้วย SYBR® Safe DNA gel stain วิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับขนาดของดีเอ็นเอมาตรฐาน (100 bp DNA ladder) และดูด้วยเครื่องชุดถ่ายภาพเจล Chemi Doc XRS



## ผลการศึกษา

จากการผลการศึกษาเชื้อ *A. baumannii* จำนวน 91 ตัวอย่าง พบในสิ่งส่งตรวจที่มาจากเสมหะมากที่สุด ร้อยละ 72.5 (66/91) รองลงมา ได้แก่ หนองจากแผล ร้อยละ 12.1 (11/91) ปัสสาวะ ร้อยละ 5.5 (5/91) เลือด ร้อยละ 3 (3/91) และสิ่งส่งตรวจชนิดอื่นๆ ร้อยละ 6.6 (6/91) ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลการศึกษาแบบแผนความไว ต่อยาปฏิชีวนะเชื้อ *A. baumannii* พบว่าดื้อยาในกลุ่ม carbapenems (imipenem, meropenem) ร้อยละ 84.6 (77/91) รองลงมา ได้แก่ ceftazidime, ciprofloxacin, gentamicin, amikacin และ trimethoprim-sulfamethoxazole พบดื้อยาร้อยละ 80.2 (73/91), 80.2 (73/91), 71.4 (65/91), 58.2 (53/91) และ 48.4 (44/91) ตามลำดับ ส่วนยา piperacillin/tazobactam, ampicillin/sulbactam และ cefoperazone/sulbactam ที่มีการเพิ่มสารยับยั้ง เอนไซม์  $\beta$ -lactamase เพื่อออกฤทธิ์ร่วมกัน พบว่าเชื้อดื้อยาร้อยละ 85.7 (78/91), 51.6 (47/91) และ 33.0 (30/91) ตามลำดับ แต่พบว่าเชื้อยังให้ผลไวมากต่อยา tigecycline ถึงร้อยละ 84.6 และพบว่าเชื้อ *A. baumannii* เป็นเชื้อดื้อยาหลายชนิด Multidrug-resistant *A. baumannii* (MDR-AB) คิดเป็นร้อยละ 83.5 (76/91)

ผลการตรวจหายีนที่เกี่ยวข้องกับการดื้อยาในกลุ่ม Carbapenems, Cephalosporins และ Aminoglycosides ด้วยวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส พบว่าเชื้อ *A. baumannii* ทุกสายพันธุ์ให้ผลบวกกับยีน  $bla_{OXA-51}$  คิดเป็นร้อยละ 100 (91/91) รองลงมา ได้แก่ ยีน  $bla_{ADC}$  ยีน  $aphA6$  และยีน  $bla_{NDM-1}$  คิดเป็นร้อยละ 58.2 (53/91), 3.3 (3/91) และ 2.2 (2/91) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 นอกจากนี้พบว่าผลปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรสเป็นบวกร่วมกันหลายยีน โดยพบร่วมกันตั้งแต่สองยีน สามยีน และ บวกทุกยีน ร้อยละ 58.2 (53/91), 1.1 (1/91) และ 1.1 (1/91) ตามลำดับ โดยพบยีน  $bla_{OXA-51}$  ร่วมกับยีน  $bla_{ADC}$ , ยีน  $aphA6$  และยีน  $bla_{NDM-1}$  ซึ่งพบ  $bla_{OXA-51}$  ร่วมกับยีน  $bla_{ADC}$  มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56.0 (51/91)

## วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเชื้อ *A. baumannii* จำนวน 91 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ ประเภทเสมหะมากที่สุดถึงร้อยละ 72.5 รองลงมา ได้แก่ หนองจากแผลร้อยละ 12.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย หลายงานในประเทศไทย ที่พบว่าเชื้อ *A. baumannii* ดื้อยาหลายชนิด เก็บได้จากเสมหะถึงร้อยละ 64 และ 68.2 ตามลำดับ (Tunyapanit, et al., 2014, Rodsathien, et al., 2008) เชื้อ *A. baumannii* ที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พบว่า จำนวน 76 ตัวอย่าง เป็นเชื้อที่ดื้อยาหลายชนิด โดยเชื้อดื้อยาในกลุ่ม carbapenem และ cephalosporins ในระดับสูงเป็นส่วนใหญ่ โดยพบยีน  $bla_{OXA-51}$  ร่วมกับยีน  $bla_{ADC}$  ให้อัตราที่สูงถึงร้อยละ 56.0 และพบ  $bla_{OXA-51}$  ในทุกสายพันธุ์ของเชื้อ *A. baumannii* อาจเนื่องมาจากยีนนี้เป็น intrinsic carbapenemase gene ซึ่งสามารถใช้ จำแนกสปีชีส์ของ *A. baumannii* ได้ (Merkier, et al., 2006) ส่วนยีน  $bla_{ADC}$  ที่พบในการศึกษานี้ ร้อยละ 58.2 นั้น พบว่าให้ผลต่ำกว่าในการศึกษาในประเทศเนปาล และอิหร่านซึ่งพบสูงถึงร้อยละ 90.1, 100.0 และ 82.0 ตามลำดับ (Joshi, et al., 2017, Sarhaddi, et al., 2017, Mosavat et al., 2018) อาจเนื่องมาจากการดื้อยา cephalosporins นั้นอาจเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ESBL หรือกลไกอื่นร่วมด้วย การตรวจพบยีน  $aphA6$  ที่เกี่ยวข้องกับการดื้อยาในกลุ่ม aminoglycosides นั้นให้ผลบวกเพียงร้อยละ 3.3 แตกต่างกับการศึกษาของ Joshi, Sarhaddi และ Mosavat ซึ่งให้ผลบวกสูงถึงร้อยละ 40.1, 81.5 และ 72 ตามลำดับ ซึ่งอาจเกี่ยวเนื่องกับอัตราการดื้อยา amikacin ของการศึกษานี้พบเพียงร้อยละ 58.2 ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาของ Sarhaddi และคณะ (ร้อยละ 90.7) หรือการดื้อยา

ในกลุ่ม aminoglycosides อาจมียีน AME ชนิดอื่นหรือกลไกอื่นที่เกี่ยวข้อง ส่วนยีน *bla*<sub>NDM-1</sub> ในเชื้อ *A. baumannii* ในการศึกษาที่พบร้อยละ 2.2 โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศปากีสถาน อินเดียและเวียดนาม ซึ่งให้ผลบวกในช่วงร้อยละ 1.1-4.1 (Hasan, et al., 2014, Mishra, et al., 2013 และ Tran, et al., 2017) แต่ให้ผลบวกต่ำกว่าการศึกษาในประเทศไทยและเนปาลซึ่งพบร้อยละ 9.1, 13.6 ตามลำดับ (Leungtongkam, et al., 2018, Joshi, et al., 2017) ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบเชื้อ *A. baumannii* ติดต่อยาหลายชนิดสูงถึงร้อยละ 83.5 และพบยีน *bla*<sub>OXA-51</sub> ร่วมกับยีน *bla*<sub>ADC</sub> มากที่สุดร้อยละ 56.0 ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่นำเสนอข้อมูลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องตระหนักถึงความสำคัญของเชื้อ *A. baumannii* ดื้อยาในประเทศไทย รวมถึงการเฝ้าระวังการแพร่กระจาย การระบาด การควบคุมและป้องกันการติดเชื้อในโรงพยาบาลของเชื้อ *A. baumannii*

## คำขอขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจาก “ ทุนคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ” ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุน อุปกรณ์/เครื่องมือ และสถานที่

## เอกสารอ้างอิง

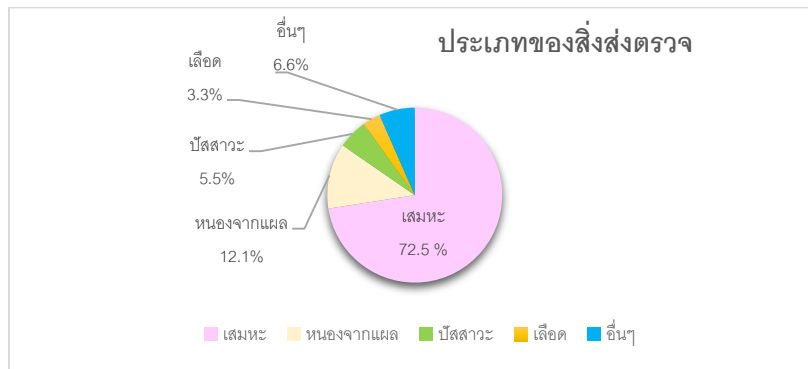
- วิชัย สันติมาลีวรกุล., สุทธิพร ภัทรชยากุล และ โปยม วงษ์ภูวรักษ์. (2552). สถานการณ์การติดเชื้อและกลไกการดื้อยาโดยเชื้อ *Acinetobacter baumannii*. *ไทยเฝ้าระวังนิพนธ์*, 3, 161-76.
- Agustí C., Pujol M., Argerich MJ., Ayats J., Badía M., Domínguez MA., et al. (2002). Short-term effect of the application of selective decontamination of the digestive tract on different body site reservoir ICU patients colonized by multi-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 49(1), 205-8.
- Barbosa C., Nogueira S., Gadanho M., Chaves S. (2016). DNA extraction: finding the most suitable method. *Molecular Microbial Diagnostic Methods*, 135-54
- Center NARS. (2017). National antimicrobial resistance surveillance Thailand antibiogram 2017 Thailand : Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. Apr 15, 2017, from <http://narst.dmsc.moph.go.th/>
- Evans BA., Amyes SG. (2014). OXA beta-lactamases. *Clinical microbiology reviews*, 27(2), 241-63.
- Hasan B., Perveen K., Olsen B., Zahra R. (2014). Emergence of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* in hospitals in Pakistan. *J. Med. Microbiol.*, 63, 50-55.
- Joshi PR., Acharya M., Kakshapati T., Leungtongkam U., Thummeepak R., Sitthisak S. (2017). Co-existence of *bla*(OXA-23) and *bla*(NDM-1) genes of *Acinetobacter baumannii* isolated from Nepal :

- antimicrobial resistance and clinical significance. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*,6, 21.
- Mishra S., Sen M.R., Upadhyay S., Bhattacharjee A. (2013). Genetic linkage of *bla*<sub>NDM</sub> among nosocomial isolates of *Acinetobacter baumannii* from a tertiary referral hospital in northern India. *Int.J. Antimicrob. Agents.*,41,452-56.
- Mochon AB., Garner OB., Hindler JA., Krogstad P., Ward KW., Lewinski MA., et al. (2011). New Delhi metallo-beta-lactamase (NDM-1)-producing *Klebsiella pneumoniae* : case report and laboratory detection strategies. *Journal of clinical microbiology.*,49(4), 1667-70.
- Mosavat A., Soleimanpour S., Farsiani H., Salimizand H., Kebriaei A., et al. (2018). Moderate Genetic Diversity with Extensive Antimicrobial Resistance Among Multidrug-Resistant *Acinetobacter baumannii* in a Referral Hospital in Northeast Iran. *Jundishapur J Microbiol.*,11(7), e14412.
- Rodsathien P. (2008). Multidrug Resistance *Acinetobacter baumannii* at Lopburi Hospital. *Khon Kaen Hosp Med J.*,32(6), 74-81.
- Rungruanghiranya S., Somboonwit C.,Kanchanapoom T. (2005). *Acinetobacter* infection in the intensive care unit. *Journal of Infectious Diseases and Antimicrobial Agents.*,22, 77-92.
- Sarhaddi N., Soleimanpour S., Farsiani H., Mosavat A., Dolatabadi S., Salimizand H., et al. (2017). Elevated prevalence of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* with extensive genetic diversity in the largest burn centre of northeast Iran. *Journal of global antimicrobial resistance.*,8, 60-6.
- The Clinical & Laboratory Standards Institute. (2017). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing.,27, 46-8.
- Tran, D.N., Tran, H.H., Matsui, M., et al. (2017). Emergence of New Delhi metallo-beta-lactamase 1 and other carbapenemase-producing *Acinetobacter calcoaceticus-baumannii* complex among patients in hospitals in Ha Noi, Viet Nam. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.*,36, 219-25
- Tunyapanit W., Pruekprasert P., Laoprasopwattana K., Chelae S. (2014). Antimicrobial susceptibility of *Acinetobacter baumannii* isolated from hospital patients. *Science Asia.*,40, 28-34.
- Leungtongkam U., Thummeepak R., Wongprachan S., Thongsuk P., Kittit T., Ketwong K., et al. (2018).Dissemination of *bla*<sub>OXA-23</sub>, *bla*<sub>OXA-24</sub>, *bla*<sub>OXA-58</sub>, and *bla*<sub>NDM-1</sub> Genes of *Acinetobacter baumannii* Isolates from Four Tertiary Hospitals in Thailand. *Microbial Drug Resistance* (Larchmont, New York).,24(1), 55-62.
- Yong D., Toleman MA., Giske CG., Cho HS, Sundman K., Lee K., et al. (2009). Characterization of a new

metallo-beta-lactamase gene, *bla*<sub>(NDM-1)</sub>, and a novel erythromycin esterase gene carried on a unique genetic structure in *Klebsiella pneumoniae* sequence type 14 from India. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 53(12), 5046-54.

ตารางที่ 1 รายละเอียดไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจหายีนดื้อยาของเชื้อ *A. baumannii* ในงานวิจัยครั้งนี้ (Joshi, et al., 2017)

Gene	Primer name	Primer sequences ( 5' to 3' )	Product size
<i>bla</i> <sub>OXA-51</sub>	OXA-51-F	TAATGCTTTGATCGGCCTTG	353
	OXA-51-R	TGGATTGCACTTCATCTTGG	
<i>bla</i> <sub>NDM-1</sub>	NDM-F	GGTTTGGCGATCTGGTTTTC	621
	NDM-R	CGGAATGGCTCATCACGATC	
<i>bla</i> <sub>ADC</sub>	ADC-F	TAAACACCACATATGTTCCG	663
	ADC-R	ACTTACTTCAACTCGCGACG	
<i>aphA6</i>	<i>aphA6</i> -F	ATGGAATTGCCAATATTATTC	736
	<i>aphA6</i> -R	TCAATTCAATTCATCAAGTTTTA	



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงจำนวนเชื้อ *A. baumannii* จำนวน 91 ตัวอย่าง จำแนกตามประเภทของสิ่งส่งตรวจ



รูปที่ 2 แสดงภาพของ 1.5% agarose gel electrophoresis ในการตรวจสอบผลการหาความซุกของยีน *bla*<sub>ADC</sub> ขนาด 663 bp ด้วยปฏิกิริยา PCR จากรูปแถวที่ 1 บน-ล่าง คือ Ladder 100 คู่เบส แถวที่ 2 บน-ล่าง คือ ตัวควบคุมผลบวก (Positive Control) แถวบนที่ 3-20 ล่างที่ 3-14 โดยที่ 1-30 คือ หมายเลขตัวอย่างเชื้อ *A. baumannii* ที่นำมาทดสอบ แถวล่างที่ 15 คือ ตัวควบคุมผลลบ (Negative Control)

# การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์และการตรวจวัดสีเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

FTIR spectrophotometry and color measurement of soil samples for forensic examination

सानิตรา บางสวนหลวง<sup>1</sup> ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง<sup>2</sup> และ ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี<sup>2</sup>

Sanitta Bangsuanluang<sup>1</sup>, Sirirat Choosakoonkriang<sup>2</sup> and Supachai Supaluknari<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

FTIR spectrophotometry และการวิเคราะห์สีถูกนำมาใช้แยกความแตกต่างของตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินจำนวน 41 ตัวอย่างได้มาจากพื้นที่หลากหลายที่มีสภาพแวดล้อมต่างกันในประเทศไทย โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ที่อยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรดกลาง (mid-IR) จะถูกนำมาใช้เพื่อหาสเปกตรัมของตัวอย่างดิน ข้อมูลสเปกตรัมชี้ให้เห็นสาร อินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสัดส่วนที่ต่างกันสำหรับตัวอย่างต่างชนิด ค่าของสีในตัวอย่างดินหาได้จากระบบสี CIE L\*a\*b\* โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์สี (color spectrometer) การรวมกันของ FTIR spectroscopy และการตรวจวัดสี สามารถใช้แยกความแตกต่างของตัวอย่างที่ศึกษา เทคนิคทั้งสองนี้เป็นวิธีที่สะดวกและง่าย ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยมากและไม่ต้องเตรียมตัวอย่างผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวิธีทั้งสองมีศักยภาพในการตรวจทางนิติวิทยาศาสตร์ของตัวอย่างดิน

**คำสำคัญ:** FTIR, ระบบสี CIE, การวัดตรวจสี, ดิน

## Abstract

FTIR spectrophotometry and color analysis were used to distinguish soil samples. Forty-one soil samples were collected from various locations of different environments in Thailand. The ATR-FTIR technique was employed in the mid-infrared range to acquire the sample spectrum. The spectral data revealed the presence of organic and inorganic substances in different proportions for different samples. The color value of the soil sample was obtained in a CIE L\*a\*b\* format using a color spectrometer. The combined methods of FTIR spectroscopy and color determination can be used to discriminate the samples studied. The two techniques are simple and convenient methods. They require very small amount of sample and need no sample preparation. The results from this study have demonstrated the potential of the two methods in forensic examination of soil samples.

**Keyword:** FTIR, Color system CIE, Color measurement, Soil

<sup>1</sup>สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Forensic Science Program, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

ปัจจุบันในสังคมเกิดเหตุทางอาชญากรรมที่มากขึ้นและเกิดในหลากหลายรูปแบบ เช่น คดีปล้น ชก่า ชก่าขึ้น เป็นต้น ด้วยการกระทำผิดที่มีหลากหลายนั้น ทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจติดตามคนร้ายได้ยากขึ้น การจะเชื่อมโยงผู้ก่อเหตุกับคดีความเหล่า เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องค้นหาพยานหลักฐานในที่เกิดเหตุให้ได้หลากหลาย โดยพยานหลักฐานเหล่านี้พบได้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น คราบเลือด คราบอสุจิ ลายนิ้วมือแฝง เป็นต้น แต่ด้วยการนำความรู้และวิธีการในการเก็บพยานหลักฐานไปเผยแพร่ อาจทำให้ผู้ก่อเหตุมีวิธีการที่จะกำจัดร่องรอยพยานหลักฐานเหล่านี้ออกไป ให้รอดพ้นจากสายตาของเจ้าหน้าที่ตำรวจ หรือหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดร่องรอยพยานหลักฐานเหล่านี้ขึ้น แต่มีพยานหลักฐานอีกชนิดหนึ่งที่ค้นทั่วไปหรือผู้ก่อเหตุมองข้ามนั่นคือ ดิน เนื่องจากดินมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เกิดจากทับถมกันของซากพืช ซากสัตว์ ที่ต่างกันในแต่ละพื้นที่ จึงสามารถนำเครื่องมือทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่มาตรวจแยกความแตกต่างของดินและนำไปเชื่อมโยงกับผู้ก่อเหตุได้ ผู้วิจัยพบว่ามีการวิเคราะห์แยกความแตกต่างของดินด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เช่น ชนิดดิน สีดิน และองค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)(R.J. Cox และคณะ(2000)), เทคนิค X-ray diffraction (XRD) (จันท์จิรา สีทอง(2008)), เทคนิค Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectrometry (Lorlyn Reidy และ คณะ (2013)), เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) (Brenda Woods และคณะ(2014)) และ Energy Dispersive X-ray (EDX)(Reetu Sharma และคณะ(2016)), ให้ผลในการพิสูจน์หลักฐานได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในการจำแนกดินได้

R.J. Cox และคณะ (2000) ได้ทำการวิเคราะห์หินทรายวัตถุในดิน โดยใช้ตัวอย่างดิน 4 ชนิด ที่แยกไม่ออกด้วยเทคนิคการวัดสีในระบบ Munsell ผลจากการวิเคราะห์สามารถแยกความแตกต่างของดินได้ นำไปใช้ประโยชน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ Alexandra Guedes และคณะ (2010) ได้ศึกษาเชิงธรณีวิทยาของดินร่วมกับเรณูวิทยาเพื่อทำฐานข้อมูลของดินในเมืองแอลการ์ฟ ประเทศโปรตุเกส โดยมีการวัดค่าสีในระบบ CIE ในตัวอย่างดิน 9 ตำแหน่ง จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากเทคนิคทางเรณูวิทยาร่วมกับการวัดสี ใช้แยกความแตกต่างของดินที่อยู่ในสภาพทางภูมิศาสตร์ที่คล้ายกันได้และสามารถนำผลที่ได้มาใช้เป็นฐานข้อมูลของเมืองแอลการ์ฟเพื่อเชื่อมโยงบุคคลกับสถานที่เกิดเหตุได้ Rohini Chauhan และคณะ (2018) ได้ทำการจำแนกตัวอย่างดินจากตะวันตกเฉียงเหนือของอินเดีย โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับวิธีทาง chemometrics ทำให้ทราบว่าตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนและผ่านความร้อน (650 °C) จะเกิดสเปกตรัมที่ต่างกัน สามารถนำมาใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตรวจวิเคราะห์สีของดินด้วยเทคนิค Spectroscopy ด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer ระบบ CIE L\*a\*b\* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ และใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน โดยการวิเคราะห์ ค่าสเปกตรัมที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดิน โดยใช้ตัวอย่างดินอยู่ริมน้ำ ห้วย หนอง คลอง หรือ บึง เป็นส่วนใหญ่ เพราะมีคดียี่ผู้ก่อเหตุมักใช้แหล่งน้ำเป็นที่อำพรางศพ วัตถุพยานที่เป็นดินโคลนอาจติดมากับผู้ก่อเหตุได้ง่าย จึงเชื่อมโยงผู้ก่อเหตุกับสถานที่เกิดเหตุนำไปสู่การจับกุมผู้กระทำความผิดได้ ในที่สุด ซึ่งทั้งสองวิธีนี้เป็นเทคนิคที่รวดเร็ว ทำได้ง่าย สามารถใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการแยกความแตกต่าง ของดินและยังเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ประโยชน์ในการสืบสวนคดีความทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

## วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาองค์ประกอบของดิน โดยใช้เทคนิค FTIR
- 2) เพื่อศึกษาความแตกต่างของสีดินด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L\*a\*b\* color spectrophotometer

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100 Perkin Elmer

เครื่องวัดสี Agilent Cary 60 Spectrophotometer รุ่น Cary 60 UV-Vis

ครกหินและ สาก

ถุงซิปลูโซบรจตุตัวอย่าง

ข้อสอดแนนเลส

ตะแกรงร่อน

### วิธีการทดลอง

แหล่งตัวอย่างของดินจำนวน 41 ตัวอย่าง เก็บดินตัวอย่างจากทุกภาคของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 พื้นที่ในการเก็บตัวอย่างดิน

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ลำดับที่	ตัวอย่าง
1	ต.ป่าแดด อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่	22	ต.ป่าแดง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก
2	ต.ทุ่งคอก อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี	23	ต.บางวัน อ.เมืองระนอง จ.ระนอง
3	ต.ไม้ขาว อ.ถลาง จ.ภูเก็ต	24	ต.ไร่ใหม่ อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์
4	ต.เขาแก้ว อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี	25	ต.ช่องแค อ.ตาดลี จ.นครสวรรค์
5	ต.ย่านยาว อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี	26	ต.คูใต้ อ.เมืองน่าน จ.น่าน
6	ต.ในเมือง อ.เวียงเก่า จ.ขอนแก่น	27	ต.บางกระเจ็ด อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา
7	ต.ทางน้ำสาคร อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท	28	ต.บ้านแป้ง อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี
8	ต.บางระกำ อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง	29	ต.บ้านเป็ด อ.เมือง จ.ขอนแก่น
9	ต.คลองน้ำเขียว อ.เขาย้อย จ.เพชรบุรี	30	ต.ลำภาลม อ.พระนครศรีอยุธยา จ.อยุธยา
10	ต.ตะพานหิน อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง	31	ต.โคกม่วง อ.ภาชี จ.พระนครศรีอยุธยา
ลำดับที่	ตัวอย่าง	ลำดับที่	ตัวอย่าง
11	ต.วัดชะลอ อ.บางกรวย จ.นนทบุรี	32	ต.วังน้ำซับ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี
12	ต.ไชโย อ.ไชโย จ.อ่างทอง	33	ต.เดิมบาง อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี
13	ต.ตลุก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท	34	ต.วังไก่อ่อน อ.หันคา จ.ชัยนาท
14	ต.หนองนาแซง อ.เมืองชัยภูมิ จ.ชัยภูมิ	35	ต.ธรรมามูล อ.เมืองชัยนาท จ.ชัยนาท
15	ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	36	ต.มะขามล้ม อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี
16	ต.แพรภคร์ราชา อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท	37	ต.หนองบัว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี
17	ต.ท่าล้อ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	38	ต.สีนาราย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี
18	ต.ท่าซุง อ.เมืองอุทัยธานี จ.อุทัยธานี	39	ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี
19	ต.ท่าวังตาล อ.สารภี จ.เชียงใหม่	40	ต.จรเข้สามพัน อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี



20	ต.ป่าตัน อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่	41	ต.ห้วยม่วง อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม
21	ต.เกาะสำโรง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี		

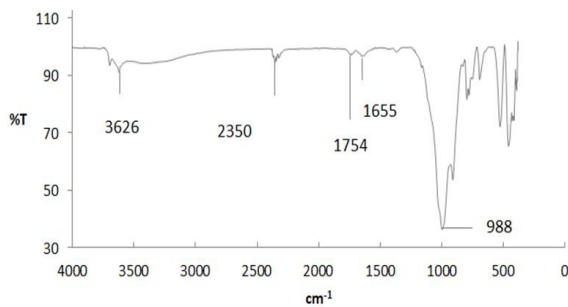
การเก็บตัวอย่างดินจากแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง ทำการเก็บตัวอย่างดินตามแนวริมตลิ่ง โดยเก็บตัวอย่างดินตามแนวยาวของตลิ่ง เก็บพื้นที่ละ 5 จุด ที่ระยะห่างจุดละ 50 เมตร นำมารวมกัน ส่วน การเก็บตัวอย่างดินจากแหล่งทำดินสอพองและจากบริเวณโรงโมหิน ในจังหวัดต่างๆ โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน จากพื้นที่นั้นๆ แบบสุ่ม โดยตีขอบเขตพื้นที่ในการเก็บ พื้นที่ละ 5 จุด ระยะห่างจุดละ 50 เมตร เก็บโดยใช้ ซ้อนสแตนเลสเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกจากหน้าดินประมาณ 0-2 เซนติเมตร จุดละประมาณ 100 กรัม และ นำ ตัวอย่างดินที่เก็บแต่ละจุดมารวมกันแล้วใส่ถุงซิปล็อคปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป นำตัวอย่าง ดินที่เก็บได้ทั้งหมดมาตากแดดให้แห้ง 5-7 วัน เมื่อตัวอย่างดินแห้งสนิทนำมาบดให้ละเอียดด้วยครกหิน จากนั้น ร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงร่อนแป้ง นำตัวอย่างดินที่ละเอียดบรรจุใส่ถุงซิปล็อค เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

1. ศึกษาองค์ประกอบของดินโดยใช้เทคนิค FTIR นำตัวอย่างดินที่บดละเอียดใส่ในแท่นวางตัวอย่าง เพื่อทำ การวิเคราะห์ สภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง FT-IR Spectrometer บริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum 100 โดยทำการสแกนในช่วงเลขคลื่น  $4000-650\text{ cm}^{-1}$  resolution  $4\text{ cm}^{-1}$  จำนวนสแกน 32 รอบต่อครั้ง ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง/ตัวอย่าง โดยบันทึกสเปกตรัมที่วัดได้เป็นค่า Absorbance จากนั้นทำการปรับ Smooth และ Baseline ตามลำดับโดยใช้ Software ที่ติดตั้งมากับ เครื่อง FT-IR Spectrometer จะได้สเปกตรัมที่พร้อมสำหรับ วิเคราะห์ผลต่อไป

2. ศึกษาสีของดินโดยใช้เครื่องตรวจวัดสี Agilent Cary 60 นำตัวอย่างดินที่บดละเอียดใส่ในแท่นวางตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์สภาวะของที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer บริษัท Agilent Technologies รุ่น Cary 60 UV-Vis โดยการตรวจวัดในช่วงความยาวคลื่น  $830-360\text{ nm}$  และกำหนดพารามิเตอร์ ต่างๆ ที่จะวัด ดังนี้ Measurement mode : %R, ScanningRange ( $\times 10^{-9}\text{ m}$ ) : 360-830, Slit width ( $\times 10^{-9}\text{ m}$ ) : 1.0, Scan Speed : Medium, Standard illuminant : D65, Observation Angle :  $2^\circ$ , Color Scale : CIE

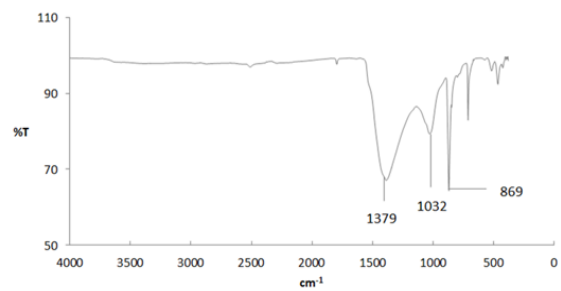
## ผลและวิจารณ์

เมื่อนำตัวอย่างดินมาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบสเปกตรัมของดินที่มีลักษณะเหมือนกันและ แตกต่างกัน ตัวอย่างผลการทดลองดังแสดงรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างดินที่ 15 ที่เก็บจากบริเวณริมน้ำใน ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม พบสารประกอบสารอินทรีย์ (C-C, C-O, C-N stretching) ซึ่ง เป็นช่วงเลขคลื่น  $650-1200\text{ cm}^{-1}$  พบพีคของ Si-O stretching ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในที่ปริมาณมาก ในช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1000\text{ cm}^{-1}$  (Strong peak) ช่วงเลขคลื่น  $1600-1700\text{ cm}^{-1}$  มีพีค ขนาด เล็ก ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของ C=C stretching ของสารอินทรีย์ในตัวอย่าง และช่วงเลขคลื่น  $3500-3600\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็น เลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching ของโครงสร้างที่มี hydroxyl groups (OH bending) คล้ายกับที่พบได้ใน ตัวอย่างที่ 1-36, 38 และ 41 รูปที่ 2 ตัวอย่างดินที่ 39 บริเวณแหล่งทำดินสอพอง ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี พบ สเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไปจากตัวอย่างดินอื่น ๆ โดยพบช่วงเลขคลื่น  $1300-1500\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่คาร์บอเนต ซึ่งอาจจะมาจากองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต คล้ายกับที่พบได้ในตัวอย่างที่ 17, 37 และ 40



รูปที่ 1 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ 15 บริเวณ ต.

กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม



รูปที่ 2 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ 39 บริเวณ ต.

ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี

เมื่อนำตัวอย่างดินมาวัดสี ด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างดินได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มดินสีเทา-ดำ กลุ่มดินสีน้ำตาล กลุ่มดินสีเหลือง-ส้ม-แดง และกลุ่มดินสีขาว ดังรูปที่ 3 เมื่อนำตัวอย่างดินมาตรวจวัดสีด้วยเทคนิค Spectroscopy เครื่องวิเคราะห์รุ่น Cary 60 UV-Vis ใช้ตรวจวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยตัวอย่างในแต่ละพื้นที่นั้นมีสีและเนื้อดินที่แตกต่างกันไป ซึ่งสีของดินจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงสารอินทรีย์วัตถุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญภายในดิน ผลที่ได้จากเครื่องวัดสีตามตารางที่ 2 จะให้ค่าสีของดินในแต่ละพื้นที่ที่ต่างกัน สีที่มีความสว่างมากจะให้ค่า  $L^*$  ที่มีค่ามากกว่าสีที่มีความสว่างน้อย ส่วนค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ที่แสดง ก็จะให้ค่าสีของดิน เช่นตัวอย่างดินที่ 24 เก็บจากริมแม่น้ำ ต.ไร่ใหม่ อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นเป็นดินสีดำ ให้ค่า  $L^*$  เท่ากับ 58.6371 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่ 39 เป็นดินใช้ทำดินสอพอง เก็บที่ ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี สังเกตด้วยตาเปล่าเห็นเป็นดินสีขาว ค่า  $L^*$  เท่ากับ 109.6667 ซึ่งสัมพันธ์กับสีของดินที่สังเกตด้วยตาเปล่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่างดินจากค่า  $a^*$  และ  $b^*$  พบว่า แม้ตัวอย่างดินที่สังเกตด้วยตาเปล่าจะอยู่ในกลุ่มสีเดียวกัน หลังจากนำมาตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสีแล้วจะให้ค่าสีของดินในแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ในกลุ่มที่มีสีเทา-ดำ จะเห็นได้ว่าค่า  $L^*$  ของดิน จะมีค่าสอดคล้อง กับค่าความสว่างของสี คือถ้าดินมีสีเข้มจะมีค่า  $L^*$  มีค่าไปทางสีดำน้อยกว่า (ค่า  $L^*$  น้อยกว่า) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  (แกน X) และ  $b^*$  (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเข้มซึ่งอยู่ในกลุ่มของการผสมกันระหว่างสีเหลือง สีแดงและสีน้ำเงิน ส่วนรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง แสดงให้เห็นว่าค่า  $L^*$  จะมีค่าความสว่างของสีคือมีค่าไปทางสีขาวมากกว่า และความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  (แกน X) และ  $b^*$  (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเหลือง-แดง และเมื่อนำตัวอย่างดินมาสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า ดินจากห้วย หนอง คลอง หรือบึงส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาล น้ำตาลเข้มถึงดำแสดงว่าดินนั้นมีอินทรีย์วัตถุที่เป็นองค์ในดินอยู่มาก ลักษณะเนื้อดินมีอนุภาคเกาะกันหนาแน่นเป็นก้อน อุ่มน้ำ ได้ดี ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินเหนียว ส่วนดินที่มีสีเทา-ขาว เป็นดินที่พบบริเวณโรงไหมหินและแหล่งผลิตดินสอพอง แสดงว่าดินนี้อาจมาจากวัตถุต้นกำเนิดจากพวกหินแร่ที่มีสีจางจึงอาจเป็นผลทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยวิธีตรวจวัดสีดินมีค่าแตกต่างกันและการตรวจวิเคราะห์ด้วยการใช้เทคนิค FTIR ในการวิเคราะห์ดินแล้วพบสัญญาณเลขคลื่นสเปกตรัมที่ต่างกันในตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างดินมีสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ เป็นองค์ประกอบในดินที่ไม่เท่ากัน โดยเปรียบเทียบจากความสูงของสเปกตรัมที่

ต่างกัน อาจเกิดจากลักษณะทางกายภาพของดินแต่ละสถานที่ที่แตกต่างกันหรืออาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น การปรับปรุงดิน การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

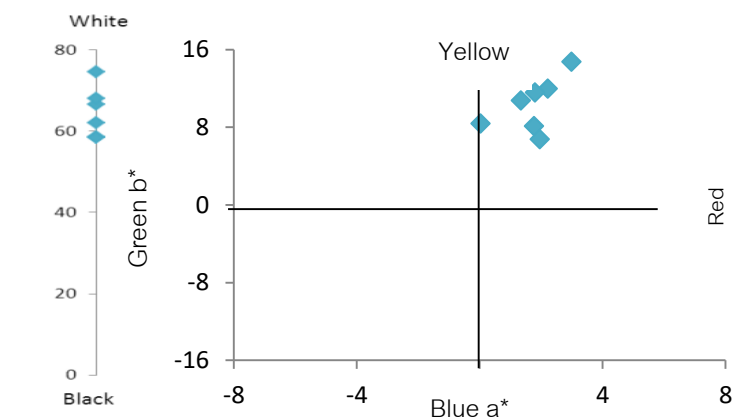


รูปที่ 3 สีของตัวอย่างดินเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

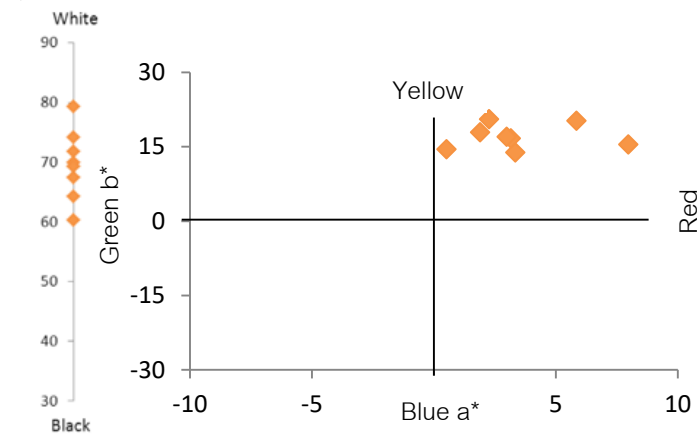
ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดสีดินด้วยเครื่องวัดสี Agilent Cary 60 spectrophotometer

ลำดับที่	ตัวอย่าง	สีดิน	L*	a*	b*
1	ต.ป่าแดด อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่	ดำ	62.1004	2.9892	14.7211
2	ต.ทุ่งคอก อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี	น้ำตาลแดง	60.2801	3.3385	13.8527
3	ต.ไม้ขาว อ.ถลาง จ.ภูเก็ต	น้ำตาลเข้ม	70.6136	2.3907	16.1856
4	ต.เขาแก้ว อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี	น้ำตาล	58.3899	2.0004	12.2628
5	ต.ย่านยาว อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี	น้ำตาลเข้ม	59.4466	1.3748	11.1110
6	ต.โนนเมือง อ.เวียงเก่า จ.ขอนแก่น	น้ำตาลเข้ม	59.5014	2.5532	12.2009
7	ต.หางน้ำสาคร อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท	น้ำตาลเข้ม	59.5852	2.8336	9.9340
8	ต.บางระกำ อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง	น้ำตาลส้ม	67.4576	3.1505	16.6932
9	ต.คลองน้ำเขียว อ.เขาย้อย จ.เพชรบุรี	น้ำตาล	68.9085	1.2453	12.8806
10	ต.ตะพานหิน อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง	น้ำตาล	67.4191	2.8790	16.3784
ลำดับที่	ตัวอย่าง	สีดิน	L*	a*	b*
11	ต.วัดชะลอ อ.บางกรวย จ.นนทบุรี	น้ำตาลเข้ม	65.6234	2.7577	16.1563
12	ต.ไชโย อ.ไชโย จ.อ่างทอง	น้ำตาล	66.0852	1.9794	14.7871
13	ต.ตลุก อ.สรรพยา จ.ชัยนาท	ดำ	66.5271	2.2110	11.9492
14	ต.หนองนาแซง อ.เมืองชัยภูมิ จ.ชัยภูมิ	น้ำตาลเข้ม	61.0628	2.0429	12.0036
15	ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	น้ำตาลเหลือง	71.7947	2.2620	20.5936
16	ต.แพรภคร์ราชา อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท	น้ำตาล	69.8201	4.1457	13.6148
17	ต.ท่าล้อ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	น้ำตาล	78.6444	2.6558	18.6210
18	ต.ท่าซุง อ.เมืองอุทัยธานี จ.อุทัยธานี	น้ำตาลส้ม	79.3484	5.8377	20.2589
19	ต.ท่าวังตาล อ.สารภี จ.เชียงใหม่	ดำ	67.9810	1.7963	11.5835
20	ต.ป่าตัน อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่	น้ำตาลเข้ม	69.3401	2.6002	12.9930
21	ต.เกาะสำโรง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	น้ำตาล	76.8274	4.6508	20.4531

22	ต.ป่าแดง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก	น้ำตาล	66.9293	2.1787	11.8037
23	ต.บางริน อ.เมืองระนอง จ.ระนอง	น้ำตาลเหลือง	74.1076	0.5173	14.5183
24	ต.ไร่ใหม่ อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์	ดำ	58.6371	1.7647	8.1010
25	ต.ช่องแค อ.ตากลิ จ.นครสวรรค์	น้ำตาลเหลือง	69.8712	1.8895	17.9353
26	ต.ตูใต้ อ.เมืองน่าน จ.น่าน	น้ำตาล	66.9639	4.8076	16.6819
27	ต.บางกระเจ็ด อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา	น้ำตาล	68.7183	2.5587	16.5005
28	ต.บ้านแป้ง อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี	น้ำตาล	67.0206	4.0175	16.8279
29	ต.บ้านเบ็ด อ.เมือง จ.ขอนแก่น	น้ำตาลแดง	64.1713	7.9651	15.4693
30	ต.สำเภาล่ม อ.พระนครศรีอยุธยา จ.อยุธยา	น้ำตาลเข้ม	66.9964	4.5493	17.2239
31	ต.โคกม่วง อ.ภาชี จ.พระนครศรีอยุธยา	น้ำตาล	71.2966	3.4041	16.9364
32	ต.วังน้ำซับ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี	น้ำตาล	67.4932	1.9964	15.0494
33	ต.เดิมบาง อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี	น้ำตาล	69.8573	3.4427	17.7359
34	ต.วังไก่อื่อน อ.หันคา จ.ชัยนาท	น้ำตาลเหลือง	69.2043	2.9796	17.0425
35	ต.ธรรมามูล อ.เมืองชัยนาท จ.ชัยนาท	น้ำตาล	67.6611	4.0149	17.3834
36	ต.มะขามล้ม อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี	น้ำตาล	72.2494	0.9955	17.3873
37	ต.หนองบัว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	ดำ	58.4038	1.3379	10.7524
38	ต.ชีน้ำราย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี	น้ำตาล	66.2059	4.1650	16.6079
39	ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี	ขาว	109.6667	1.2303	13.1131
ลำดับที่	ตัวอย่าง	สีดิน	L*	a*	b*
40	ต.จรเข้สามพัน อ.อุทัย จ.สุพรรณบุรี	เทา	83.2363	1.9509	6.7467
41	ต.ห้วยม่วง อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม	เทา	74.6654	0.0329	8.3661



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L\* , a\* และ b\* ของกลุ่มดินที่มีสี เทา-ดำ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของกลุ่มดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง

## บทสรุป

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากริมแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง ดินจากแหล่งผลิตดินสอพองและดินจากบริเวณโรงไม้ดินในจังหวัดต่าง ๆ รวมทั้งหมด 41 ตัวอย่าง นำมาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และตรวจวัดสีดินด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer เมื่อนำตัวอย่างดินทั้งหมดมาวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR นำผลสเปกตรัมได้จากกรวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับดินในแต่ละสถานที่ พบว่าเลขคลื่นสเปกตรัมของตัวอย่างดินจากริมแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง พบว่ามีตำแหน่งเลขคลื่นแตกต่างกันไปในบางตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่เป็นองค์ประกอบในดิน และจากผลการทดลองสามารถแบ่งกลุ่ม ตัวอย่างดินได้เป็น 2 กลุ่ม ตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างดิน คือ กลุ่มที่ 1 พบเลขสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น  $650-1200\text{ cm}^{-1}$  ช่วงเลขคลื่น  $3200-3400\text{ cm}^{-1}$  และช่วงเลขคลื่น  $3600\text{ cm}^{-1}$  พบได้ในตัวอย่างที่ 1-36, 38 และ 41 กลุ่มที่ 2 พบเลขสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น  $650-1200\text{ cm}^{-1}$  ช่วงเลขคลื่น  $1600-1700\text{ cm}^{-1}$  ช่วงเลขคลื่น  $3200-3400\text{ cm}^{-1}$  และช่วงเลขคลื่น  $1300-1500\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอเนต ( $\text{CO}_3$ ) ที่อาจเป็นองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต พบในตัวอย่างที่ 17, 37 และ 40 พบว่าสเปกตรัม IR ที่วิเคราะห์ได้นั้น มีช่วงเลขคลื่นที่  $650-1200\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งพบได้ในทุกๆ ตัวอย่างดินที่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของดินมีสารอินทรีย์ (C-C, C-O, C-N stretching) เป็นหลัก และพบช่วงเลขคลื่นที่  $1000\text{ cm}^{-1}$  น่าจะมีการพบสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น  $1300-1500\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดง ถึงหมู่คาร์บอเนต ( $\text{CO}_3$ ) จะพบในตัวอย่างดินกลุ่มที่ 2 เท่านั้น ความแตกต่างของสเปกตรัม IR ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างดินน่าจะเกิดจากสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันในแต่ละพื้นที่ การทับถมกันของซากพืชซากสัตว์ ตัวอย่างดินกลุ่มที่ 2 ที่พบเลขคลื่น ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอเนตนั้น อาจเกิดจากแคลเซียมคาร์บอเนตในหินที่ถูกกัดกร่อนและถูกทับถม จนเกิดเป็นชั้นของดิน จากผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัม IR ไม่สามารถแยกความแตกต่างของดินที่มาจากสภาพแวดล้อมเดียวกันได้ ซึ่งในการศึกษาคือดินที่มาจากบริเวณริมแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brenda Woods และคณะ (2014) ที่ใช้เทคนิค ATR-FTIR ตรวจสอบว่าดินจะใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้หรือไม่ โดยทำการวิเคราะห์ดินในประเทศออสเตรเลีย ใช้ตัวอย่างดิน 29 ตัวอย่าง 9 สถานที่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันและคล้ายกัน บริเวณผิวดิน (0-5 เซนติเมตร) และเนื้อดิน (5-10 เซนติเมตร) จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้เครื่องมือทางนิติวิทยาศาสตร์ ตรวจคัดกรองดินในเบื้องต้นเพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ แต่ถ้าต้องการความแม่นยำมาก ควร

ทำควบคู่กับการวิเคราะห์ทางด้านธรณีวิทยา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thomas Anterton และคณะ (2010) ที่ใช้เทคนิค FTIR วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ผ่านการกรอง แล้วสามารถแยกดินที่มีชนิดและต้นกำเนิดที่แตกต่างกันได้ และมีงานวิจัยของ Jean Rebertson และคณะ (2015) ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR ร่วมกับการตรวจวัดสีดินด้วยเครื่องวัดสีดิน โดยจำลองเหตุการณ์ เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ พบว่าสามารถเชื่อมโยงผลของสเปกตรัมกับเหตุการณ์ที่จำลองได้ และพบว่าตัวอย่างดินในกลุ่มสีโทนเดียวกันที่มีความเข้มของสีมากกว่าจะให้ค่า  $L^*$  ที่มากกว่าดินที่มีความเข้มน้อย ทำให้ค่า  $CIE L^*a^*b^*$  ที่ต่างกันสามารถแยกความแตกต่างของดินที่มีสีใกล้เคียงกันได้ การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิค FTIR นั้น สามารถแยกความแตกต่างขององค์ประกอบของดินได้ แต่หากตัวอย่างดินอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน หรือมีแหล่งต้นกำเนิดดินในลักษณะเดียวกันจะไม่สามารถใช้เทคนิค FTIR แยกความแตกต่างนี้ได้จึงต้องมีเทคนิคอื่นๆ เข้าร่วมวิเคราะห์ผลด้วย เช่นการวัดสีดิน การหาดีเอ็นเอจากแบคทีเรียในดิน เป็นต้น เทคนิค FTIR และเทคนิคการวัดสีดิน เป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย ใช้ตัวอย่างดินเพียงเล็กน้อย มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่างดิน ซึ่งเป็นผลดีที่จะนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ในด้านอื่นๆ ต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

จันทรีจิรา สีทอง (2008).การวิเคราะห์ลักษณะของดินสำหรับเป็นหลักฐานประกอบในทางนิติวิทยาศาสตร์.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Atherton, T., et al.,(2010).The forensic analysis of soil by FTIR with multivariate analysis., in In: VII Colloquium Chemiometricum Mediterraneum.

Chauhan, R., et al.,(2018).Soil forensics : A spectroscopic examination of trace evidence. Microchemical Journal139, 74-84

Cox, R.J., et al.,(2000).The forensic analysis of soil organic by FTIR. Forensic Science International108,107-116.

Guedes, A., et al.,(2010).Characterization of soils from the Algarve region (Portugal): A multidisciplinary approach for forensic applications. Science and Justice51,77-82

Reidy, L., et al., (2013).Elemental fingerprinting of soils using ICP-MS and multivariate statistics: A study for and by forensic chemistry majors. Forensic Science International233I,37-44

Sharma, R., et al.,(2016).Characterization of Urban Soil with SEM-EDX. American Journal of Analytical Chemistry,724-735

Robertson, A.H.J., et al., (2015).In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications. Spectroscopy30, 22-30.

Woods, B., et al.,(2014).Soil examination for a forensic trace evidence laboratory—Part 1:Spectroscopic techniques.Forensic Science International245, 187-194

Woods, B., et al.,(2014).Soil examination for a forensic trace evidence laboratory – Part 2:Elemental analysis.Forensic Science International245,195-201

## ผลของความร้อนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.)

### Effect of heat stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.)

พิมพกานต์ บุญยรัตน์<sup>1</sup> เสาวภา ด้วงปาน<sup>2</sup> และ กฤติกา แก้วจ้านง<sup>1</sup>

Pimpakan Boonyarat,<sup>1</sup> Saowapa Duangpan<sup>2</sup> and Krittika Kaewchumnong<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิโลกได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อในวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลเสียต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ทั้งนี้การศึกษาผลของความเครียดร้อนต่อข้าวยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อความเครียดร้อนในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยนำต้นกล้าอายุ 30 วันมาให้ความร้อนสามระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C เป็นเวลา 5 วันแล้วจึงนำมาเข้าสู่ระยะฟื้นฟูในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 10 วัน รวมทั้งสิ้น 15 วัน พบว่าข้าวที่ได้รับความร้อน 40/35°C มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของส่วนเหนือดินและรากมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดอื่น ๆ ในขณะที่ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าชักนำการเปิดปากใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิ 40/35°C และลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเสร็จสิ้นการให้ความร้อนและเข้าสู่สภาวะการฟื้นฟู อย่างไรก็ตามค่า SPAD และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดการทดลอง

**คำสำคัญ :** ข้าว ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความเครียดร้อน การเจริญเติบโต สรีรวิทยา

#### Abstract

Global high temperature is a serious concern nowadays. It widely causes multiple issues, especially adversely affects agricultural products. **ผลของความร้อนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.)**

### Effect of heat stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.)

พิมพกานต์ บุญยรัตน์<sup>1</sup> เสาวภา ด้วงปาน<sup>2</sup> และ กฤติกา แก้วจ้านง<sup>1</sup>

Pimpakan Boonyarat,<sup>1</sup> Saowapa Duangpan<sup>2</sup> and Krittika Kaewchumnong<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

<sup>1</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

Department of Biology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

<sup>2</sup> สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

Division of Agricultural Innovation and Management, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิโลกได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อในวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ทั้งนี้การศึกษาด้านของความร้อนต่อข้าวยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อความร้อนในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยนำต้นกล้าอายุ 30 วันมาให้ความร้อนสามระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C เป็นเวลา 5 วันแล้วจึงนำมาเข้าสู่ระยะฟื้นฟูในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 10 วัน รวมทั้งสิ้น 15 วัน พบว่าข้าวที่ได้รับความร้อน 40/35°C มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของส่วนเหนือดินและรากมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดอื่น ๆ ในขณะที่ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าชักนำการเปิดปากใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิ 40/35°C และลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเสร็จสิ้นการให้ความร้อนและเข้าสู่สภาวะการฟื้นฟู อย่างไรก็ตามค่า SPAD และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดการทดลอง

**คำสำคัญ :** ข้าว ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความเครียดร้อน การเจริญเติบโต สรีรวิทยา

## Abstract

Global high temperature is a serious concern nowadays. It widely causes multiple issues, especially adversely affects agricultural products including rice, a staple and economically important crop. However, information regarding effects of heat stress on rice is still scarce. This research, therefore, aimed to demonstrate the responses of rice to heat stress. KDML 105 was selected for the study. The 30-day old seedlings were treated with 3 different temperature schemes, i.e. 30/25°C (control), 35/30°C and 40/35°C for 5 days and recovered for 10 days under the control condition. The results showed that growth parameters including fresh weight, dry weight and root length of rice seedlings under 40/35°C treatments were higher than those under the control and 35/30°C treatments. Photosynthetic rate and stomatal conductance significantly increased during treated period, especially in 40/35°C treatment, then dropped dramatically during recovery time. On the other hand, leaf greenness and relative water content showed no significant difference among treatments.

**Keywords :** rice, KDML105, heat stress, growth, physiology



## บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (climate change) เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศโดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เป็นผลทางตรงและทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์มีความเกี่ยวข้องเนื่องจากเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ที่นำไปสู่สภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ที่มากเกินไปและเกิดเป็นสภาวะโลกร้อน (global warming) ในที่สุด การเกิดสภาวะโลกร้อนเป็นประเด็นใหญ่ซึ่งในขณะนี้ได้รับความสนใจจากทั่วโลก เนื่องจากการที่โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์และพืชมากพอสมควร ข้าวซึ่งเป็นพืชที่เป็นแหล่งอาหารหลักของมนุษย์ทั่วโลก จากผลการสำรวจพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตลดลงประมาณ 35% (Zafar et al., 2018) ทำให้มีการคาดการณ์ว่าผลผลิตของข้าวจะลดลงไปจนถึง 41% ในปลายศตวรรษที่ 21 (Ceccarelli et al., 2010) คลื่นความร้อน (heat wave) ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาไม่กี่วันแต่เพิ่มสูงมากกว่าอุณหภูมิปกติ 5°C ก็เป็นอีกสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืช อีกทั้งยังขาดแคลนงานวิจัยที่ศึกษาทางด้านนี้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าการตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากความร้อนในข้าวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกในเรื่องอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ รอบปี

เมื่อพืชได้รับความร้อนจะมีกลไกในการตอบสนองและป้องกันตัวเองจากความเสียหายหลายด้าน ได้แก่ ด้านสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา ชีวเคมีรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวโมเลกุล ความร้อนที่มากเกินไปกว่าความร้อนที่เหมาะสมต่อการเจริญของข้าว (27-32°C) ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตของใบและรากที่ชะงัก ผลผลิตและน้ำหนักแห้งลดลง (Wahid et al., 2007) สมดุลน้ำในเซลล์เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและเป็นสิ่งที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดในพืช (El-Esawi and Alayafi, 2019) สามารถวัดได้จากค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ นอกจากนี้ ความร้อนที่พืชได้รับมากเกินไปยังส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างอาหารของพืชลดลง รวมไปถึงการที่ระบบภายในต่าง ๆ โดนรบกวน เช่น เอนไซม์และฮอร์โมน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน นำไปสู่การเกิดความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เนื่องมาจากความไม่สมดุลของการสร้างและการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยาและสร้างความเสียหายให้กับเซลล์ โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์จากการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นการทำลายส่วนที่เป็นกำแพงหุ้มที่สำคัญมากที่สุดของเซลล์ ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านเข้าออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ (Wang et al., 2006) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ต้องการของตลาดโลกเป็นอันดับต้น ๆ (Lanceras et al., 2000) เนื่องจากมีความหอมนุ่มเป็นเอกลักษณ์ อีกทั้งปลูกที่อื่นได้ไม่ดีเท่าปลูกที่ประเทศไทย มีรายงานมากมายเกี่ยวกับการศึกษาการตอบสนองต่อความเครียดร้อนในพืชจำพวกข้าว อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลเหล่านี้ในข้าวของไทยอยู่มาก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะศึกษาค้นคว้าการตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดจากความร้อน ซึ่งจะทำการศึกษาในระยะต้นกล้าอายุ 30 วัน เนื่องจากเป็นระยะที่อ่อนไหวและมีการปรับตัวเมื่อเจอสภาวะไม่เหมาะสม (ศิริพร และรัฐธิภา, 2559) เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญในการเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับความร้อนช่วงกลางวัน/กลางคืนเป็น 30/25°C, 35/30°C และ 40/35°C ในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตและผ่านระยะของการฟื้นตัว

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. รูปแบบการทดลอง ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จนกระทั่งเข้าสู่ระยะต้นกล้าที่อายุ 30 วัน โดย 20 วันแรกปลูกที่โรงเรือนโดยมีอุณหภูมิช่วงกลางวันประมาณ 30-33°C ช่วงกลางคืนประมาณ 24-26°C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%-85% ความเข้มแสงตอนเที่ยงวันประมาณ 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และ 10 วันหลังนำไปปรับสภาพในสภาวะควบคุม (30/25°C) แล้วจึงนำเข้าตู้ควบคุมการเจริญเติบโต (growth chamber) ที่ตั้งอุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนไว้ที่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ความเข้มแสง 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยประมาณ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยมีช่วงระยะเวลากลางวัน/กลางคืนเป็น 12/12 ชม. เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นให้เวลาในการฟื้นตัวอีก 10 วันในสภาวะของชุดควบคุม ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block design (RCB) การวัดผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) วัดการเจริญเติบโตที่ประกอบไปด้วยค่าน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งราก ความยาวส่วนเหนือดินและความยาวราก ในวันที่ 0, 5 และ 15 ของการทดลอง จำนวน 8 ซ้ำ 2) การตอบสนองทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ค่าชักนำการเปิดปากใบ และค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 6, 10 และ 15 ของการทดลอง จำนวน 8 ซ้ำ รวมไปถึงค่า SPAD ของใบ ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 6 และ 10 ของการทดลอง จำนวน 6 ซ้ำ

2. การวัดการเจริญเติบโต วัดความยาวส่วนเหนือดินและความยาวราก ซึ่งน้ำหนักสดในแต่ละส่วนและนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้งในวันที่ 0, 5 และ 15

3. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic rate: A) และอัตราการเปิดปิดปากใบ (stomatal conductance:  $g_s$ ) วัดด้วยเครื่อง LCi Portable Photosynthesis System

4. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (relative water content: RWC) นำชิ้นส่วนใบยาวประมาณ 2 ซม. มาชั่งน้ำหนักสด (fresh weight: FW) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนใบไปแช่น้ำ deionized water พร้อมกับวางให้ใบได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเต่ง (turgid weight: TW) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight: DW) นำค่าทั้งสามมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\%RWC = ((FW-DW)/(TW-DW)) \times 100$$

6. ค่า SPAD วัดด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502Plus มีหน่วยเป็น SPAD unit

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics เวอร์ชัน 17.0

## ผลและวิจารณ์

### 1. การเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่มีต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รวมไปถึงความยาวส่วนที่อยู่เหนือดิน และรากของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระยะต้นกล้า โดยแบ่งเป็นช่วงที่ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วันรวม 15 วันพบว่าความร้อน 40/35°C ซึ่งเป็นความร้อนที่สูงที่สุดในการทดลองส่งผลให้มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่มากกว่าความร้อนอื่น ๆ (รูปที่ 1 ก-ข) สังเกตได้จากวันเดียวกัน ข้าวที่ได้รับความร้อน 40/35°C มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมและชุดที่ได้รับความร้อน 35/30°C ซึ่งทั้งสองชุดนี้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะน้ำหนักแห้งรากและความยาวรากในวันที่ 5 ที่มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 35/30°C อย่างมีนัยสำคัญ เป็น 2.55 และ 1.66 เท่าตามลำดับ

### 2. การตอบสนองทางสรีรวิทยา

จากการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงพบว่าการให้ความร้อนที่ระดับ 40/35°C ในช่วง 3-5 วัน มีผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ความร้อนที่ระดับ 35/30°C ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงมากนักเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (รูปที่ 2 ก) โดยเมื่อพิจารณาต้นข้าวในวันที่ 3 และวันที่ 5 ของการทดลอง ชุดทดลองที่อุณหภูมิ 40/35°C มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุดอยู่ที่ 5.20 และ 3.24  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ สูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าต่ำลงในช่วงที่เข้าสู่สภาวะฟื้นฟู โดยต่ำที่สุดในวันที่ 6 ของการทดลองอยู่ที่ 0.56  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

ด้านผลต่อค่าชักนำการเปิดปากใบพบว่าชุดที่ได้รับความร้อน 40/35°C เป็นเวลา 1-5 วันมีค่าชักนำการเปิดปากใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ต่างกับข้าวที่ได้รับความร้อน 35/30°C ที่มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมและไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2 ข) เมื่อพิจารณาในวันที่ 1, 3 และ 5 จะเห็นว่าชุดทดลองที่อุณหภูมิ 40/35°C มีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงที่สุดอยู่ที่ 0.07, 0.09 และ 0.07 ( $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ตามลำดับโดยเฉพาะวันที่ 3 ที่มีค่าสูงกว่าชุดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่า SPAD ซึ่งเป็นค่าผันแปรกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ( $p = 0.140$ ; รูปที่ 3 ก) และค่าความ SPAD ( $p = 0.023$ ; รูปที่ 3 ข) เมื่อต้นข้าวอายุเท่ากันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง

จากภาพรวมจะเห็นว่าความเครียดจากความร้อนในระดับ 40/35°C ซึ่งเป็นระดับที่สูงที่สุดมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดที่ให้ความร้อน 35/30°C ที่มีแนวโน้มเดียวกับชุดควบคุม อาจจะเป็นเนื่องมาจากการทำงานของกลไกในข้าวที่เร่งการเจริญเติบโตเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อน สอดคล้องกับค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าชักนำการเปิดปากใบที่พบการทำงานมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่ได้รับความร้อน เพื่อรองรับการสร้างอาหารให้กับพืชในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามสองค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนในช่วงฟื้นฟู แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลงอย่างมาก เป็นไปได้ว่าพืชสูญเสียพลังงานไปมากในช่วงที่ได้รับอุณหภูมิสูง อีกทั้งการได้รับความเครียดที่มากและนานเกินไปสภาพภายในเซลล์จะไม่เหมาะกับการทำงานของโปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในเซลล์ที่มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิและค่า pH มาก (Yamori et al., 2014) สำหรับกลไกการเปิดปากใบที่เพิ่มขึ้นระหว่างที่ได้รับความร้อนก็สามารถพบได้ในพืชบางชนิดที่จะใช้รักษาสภาพอุณหภูมิภายในเซลล์ (Hall et al. 1976) Rizhsky และคณะ (2002) พบการเพิ่มขึ้นของค่าชักนำการเปิดปากใบอย่างมีนัยสำคัญในต้นยาสูบ

ที่ได้รับความร้อน 44°C เพื่อที่จะต้องการให้อุณหภูมิเย็นลงโดยการระบายความร้อนออกจากเซลล์ ในทางกลับกันค่า SPAD และปริมาณน้ำสัมพันธ์ไม่ได้รับผลกระทบจากความเครียดดังกล่าว

## สรุป

ความเครียดจากความร้อนส่งผลต่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าดัชนีการเปิดปากใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับชุดที่ได้รับความร้อน 40/35°C ในช่วงที่ได้รับความร้อนและลดลงอย่างชัดเจนในช่วงฟื้นตัวเมื่อนำข้าวมาอยู่ในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามความเครียดร้อนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์และค่า SPAD ของใบ

## คำขอบคุณ

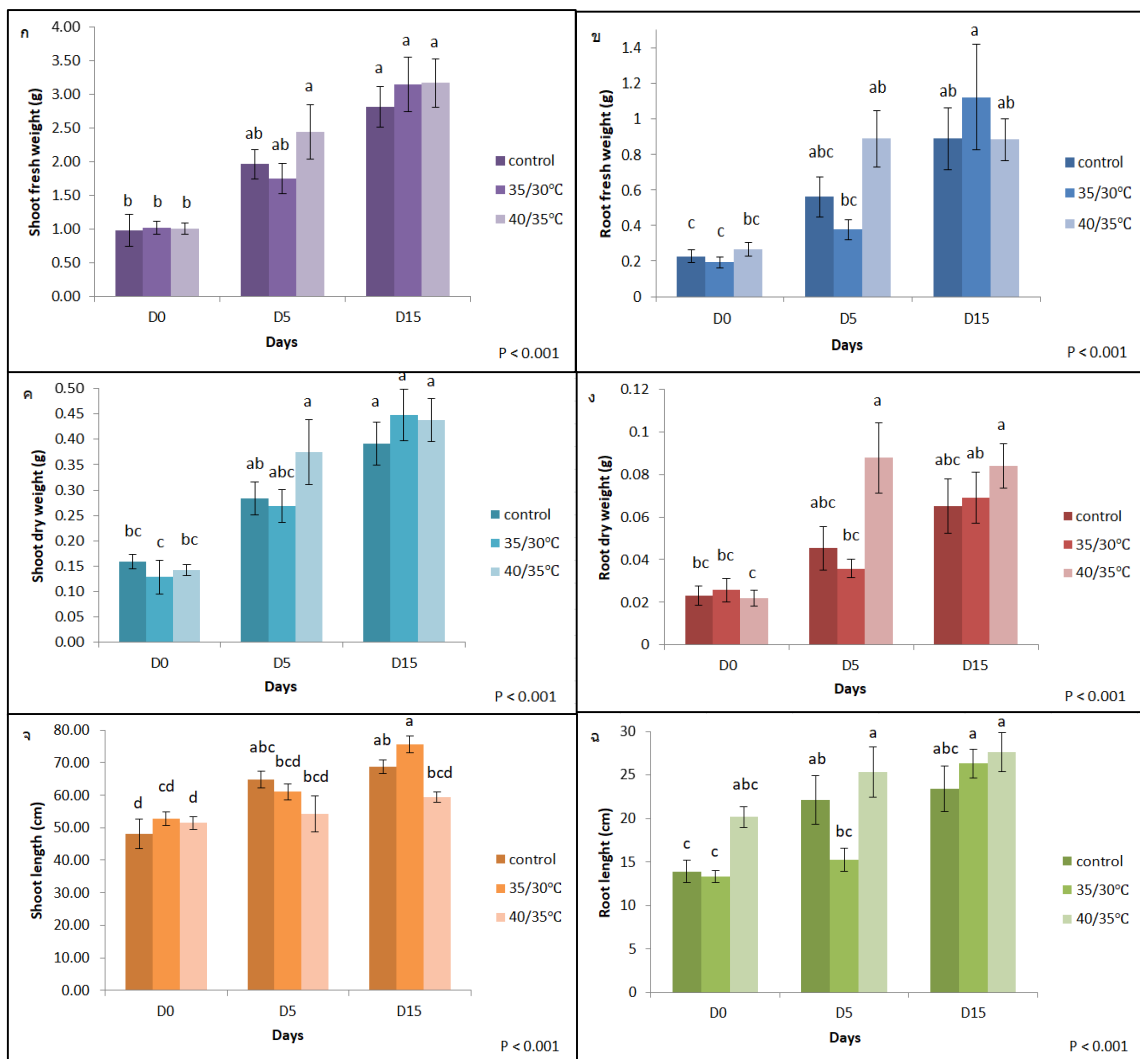
ขอขอบคุณทุนวิจัยจากทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ตลอดจนผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่สนับสนุนให้ งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

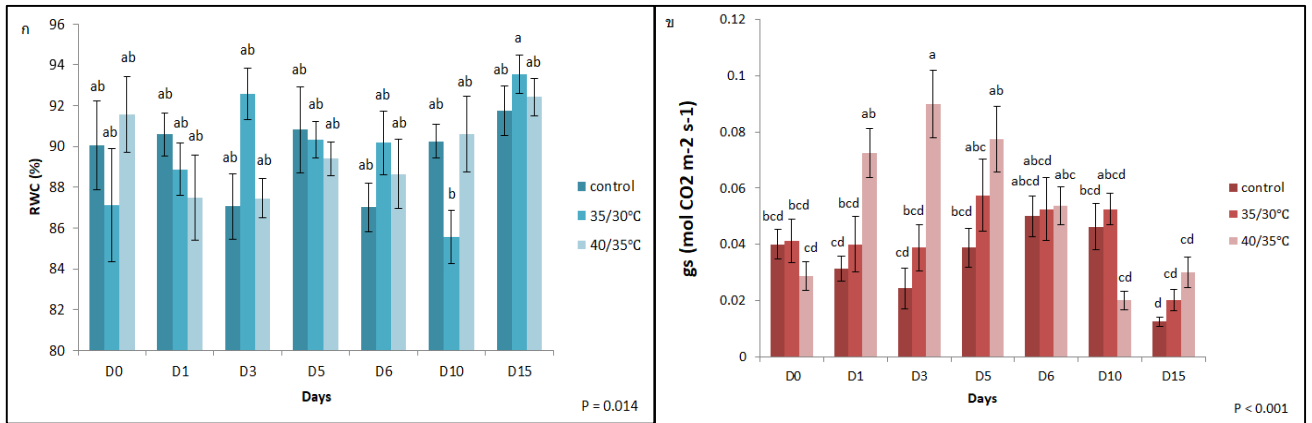
- ศิริพร ศรีภิญโญวณิชย์ และ รัฐธิภา ธนารักษ์. (2559). ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวและหญ้าข้าวนกในระยะต้นกล้า. *วารสารการเกษตรราชภัฏ*. 15(1), 54-66.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R. and Labdi, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 627-637.
- EI-Esawi, M. A. and Alayafi, A. A. (2019). Overexpression of rice Rab7 gene improves drought and heat tolerance and increases grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Genes*, 10(1), 56.
- Hall, A. E., Schulze, E. D. and Lange, O. L. (1976). Current perspectives of steady state stomatal responses to environment. In: Lange, O. L., Kappen, L. and Schulze, E.-D. (eds) *Water and Plant Life*. Springer, pp. 169-188.
- Lanceras, J. C., Huang, Z. L., Naivikul, O., Vanavichit, A., Ruanjaichon, V. and Tragoonrung, S. (2000). Mapping of genes for cooking and eating qualities in Thai jasmine rice (KDM 105). *DNA research*, 7(2), 93-101.
- Rizhsky, L., Liang, H. and Mittler, R. (2002). The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant physiology*, 130(3), 1143-1151.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.
- Wang, Y., Jiang, J., Zhao, X., Liu, G., Yang, C., & Zhan, L. (2006). A novel LEA gene from *Tamarix androssowii* confers drought tolerance in transgenic tobacco. *Plant Sci*. 171(6), 655-662.

Yamori, W., Hikosaka, K. & Way, D. A. (2014). Temperature response of photosynthesis in C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis research*, 119(1-2), 101-117.

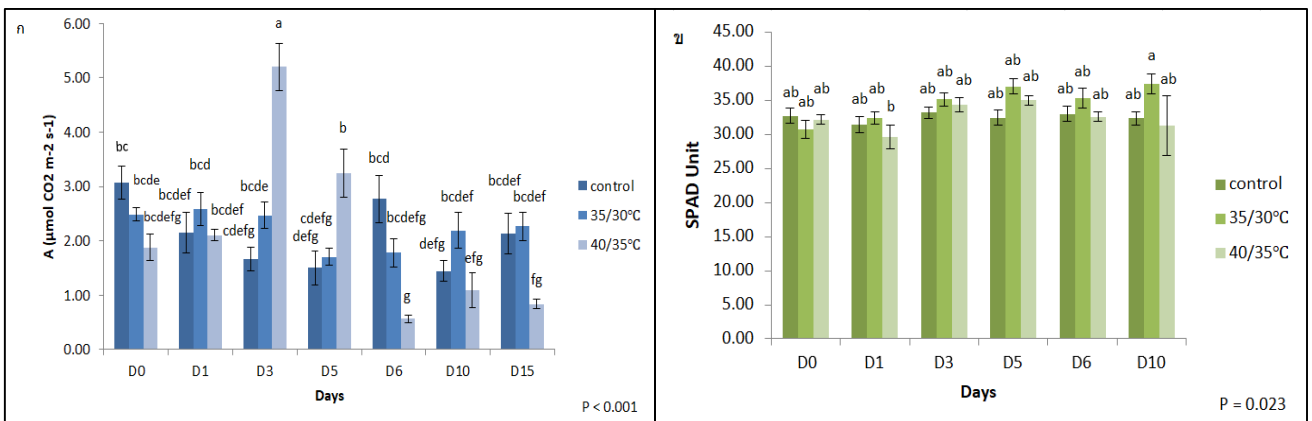
Zafar, S. A., Hameed, A., Nawaz, M. A., Wei, M. A., Noor, M. A., & Hussain, M. (2018). Mechanisms and molecular approaches for heat tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) under climate change scenario. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 726-738.



**รูปที่ 1** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน ข. น้ำหนักสดราก ค. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ง. น้ำหนักแห้งราก จ. ความยาวส่วนเหนือดิน และ ฉ. ความยาวรากของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means ± SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's tes



**รูปที่ 2** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและ ข. ค่าชักนำการเปิดปากใบของต้นกล้าข้าวหอมมะลิ 105 ส่วนเหนือดิน เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means  $\pm$  SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test



**รูปที่ 3** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. ปริมาณน้ำสัมพันธ์ ข. ค่า SPAD ของต้นกล้าข้าวหอมมะลิ 105 ส่วนเหนือดิน เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means  $\pm$  SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test

ts including rice, a staple and economically important crop. However, information regarding effects of heat stress on rice is still scarce. This research, therefore, aimed to demonstrate the responses of rice to heat stress. KDML 105 was selected for the study. The 30-day old seedlings were treated with 3 different temperature schemes, i.e. 30/25°C (control), 35/30°C and 40/35°C for 5 days and recovered for 10 days under the control condition. The results showed that growth parameters including fresh weight, dry weight and root length of rice seedlings under 40/35°C treatments were higher than those under the control and 35/30°C treatments. Photosynthetic rate and stomatal conductance significantly increased during treated

period, especially in 40/35°C treatment, then dropped dramatically during recovery time. On the other hand, leaf greenness and relative water content showed no significant difference among treatments.

**Keywords** : rice, KDML105, heat stress, growth, physiology

## บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (climate change) เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศโดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เป็นผลทางตรงและทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์มีความเกี่ยวข้องเนื่องจากเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ที่นำไปสู่สภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ที่มากเกินไปและเกิดเป็นสภาวะโลกร้อน (global warming) ในที่สุด การเกิดสภาวะโลกร้อนเป็นประเด็นใหญ่ซึ่งในขณะนี้ได้รับความสนใจจากทั่วโลก เนื่องจากการที่โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์และพืชมากพอสมควร ข้าวซึ่งเป็นพืชที่เป็นแหล่งอาหารหลักของมนุษย์ทั่วโลก จากผลการสำรวจพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตลดลงประมาณ 35% (Zafar et al., 2018) ทำให้มีการคาดการณ์ว่าผลผลิตของข้าวจะลดลงไปจนถึง 41% ในปลายศตวรรษที่ 21 (Ceccarelli et al., 2010) คลื่นความร้อน (heat wave) ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาไม่กี่วันแต่เพิ่มสูงมากกว่าอุณหภูมิปกติ 5°C ก็เป็นอีกสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืช อีกทั้งยังขาดแคลนงานวิจัยที่ศึกษาทางด้านนี้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าการตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากความร้อนในข้าวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกในเรื่องอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ รอบปี

เมื่อพืชได้รับความร้อนจะมีกลไกในการตอบสนองและป้องกันตัวเองจากความเสียหายหลายด้าน ได้แก่ ด้านสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา ชีวเคมีรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวโมเลกุล ความร้อนที่มากเกินไปเกินกว่าความร้อนที่เหมาะสมต่อการเจริญของข้าว (27-32°C) ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตของใบและรากที่ชะงัก ผลผลิตและน้ำหนักแห้งลดลง (Wahid et al., 2007) สมดุลน้ำในเซลล์เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและเป็นสิ่งที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดในพืช (El-Esawi and Alayafi, 2019) สามารถวัดได้จากค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ นอกจากนี้ ความร้อนที่พืชได้รับมากเกินไปยังส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างอาหารของพืชลดลง รวมไปถึงการที่ระบบภายในต่าง ๆ โดนรบกวน เช่น เอนไซม์และฮอร์โมน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน นำไปสู่การเกิดความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เนื่องมาจากความไม่สมดุลของการสร้างและการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ซึ่งวงวนไคโตปฏิกิริยาและสร้างความเสียหายให้กับเซลล์ โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์จากการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นการทำลายส่วนที่เป็นกำแพงหุ้มที่สำคัญมากที่สุดของเซลล์ ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านเข้าออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ (Wang et al., 2006) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ต้องการของตลาดโลกเป็นอันดับต้น ๆ (Lanceras et al., 2000) เนื่องจากมีความหอมนุ่มเป็นเอกลักษณ์ อีกทั้งปลูกที่อื่นได้ไม่ดีเท่าปลูกที่ประเทศไทย มีรายงานมากมายเกี่ยวกับการศึกษาค้นคว้าการตอบสนองต่อความเครียดร้อนในพืชจำพวกข้าว อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลเหล่านี้ในข้าวของไทยอยู่มาก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะศึกษาค้นคว้าการตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดจากความร้อน ซึ่งจะทำการศึกษาในระยะต้นกล้าอายุ 30 วัน เนื่องจากเป็นระยะที่อ่อนไหวและมีการปรับตัวเมื่อเจอสภาวะไม่เหมาะสม (ศิริพร และรัฐธิภา, 2559) เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญในการเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต



## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับความร้อนช่วงกลางวัน/กลางคืนเป็น 30/25°C, 35/30°C และ 40/35°C ในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตและผ่านระยะของการฟื้นตัว

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. รูปแบบการทดลอง ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จนกระทั่งเข้าสู่ระยะต้นกล้าที่อายุ 30 วัน โดย 20 วันแรกปลูกที่โรงเรือนโดยมีอุณหภูมิช่วงกลางวันประมาณ 30-33°C ช่วงกลางคืนประมาณ 24-26°C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%-85% ความเข้มแสงตอนเที่ยงวันประมาณ 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และ 10 วันหลังนำไปปรับสภาพในสภาวะควบคุม (30/25°C) แล้วจึงนำเข้าตู้ควบคุมการเจริญเติบโต (growth chamber) ที่ตั้งอุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนไว้ที่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ความเข้มแสง 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยประมาณ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยมีช่วงระยะเวลากลางวัน/กลางคืนเป็น 12/12 ชม. เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นให้เวลาในการฟื้นตัวอีก 10 วันในสภาวะของชุดควบคุม ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block design (RCB) การวัดผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) วัดการเจริญเติบโตที่ประกอบไปด้วยค่าน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งราก ความยาวส่วนเหนือดินและความยาวราก ในวันที่ 0, 5 และ 15 ของการทดลอง จำนวน 8 ซ้ำ 2) การตอบสนองทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ค่าชักนำการเปิดปากใบ และค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 6, 10 และ 15 ของการทดลอง จำนวน 8 ซ้ำ รวมไปถึงค่า SPAD ของใบ ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 6 และ 10 ของการทดลอง จำนวน 6 ซ้ำ

2. การวัดการเจริญเติบโต วัดความยาวส่วนเหนือดินและความยาวราก ซึ่งน้ำหนักสดในแต่ละส่วนและนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้งในวันที่ 0, 5 และ 15

3. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic rate: A) และอัตราการเปิดปิดปากใบ (stomatal conductance:  $g_s$ ) วัดด้วยเครื่อง LCi Portable Photosynthesis System

4. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (relative water content: RWC) นำชิ้นส่วนใบยาวประมาณ 2 ซม. มาชั่งน้ำหนักสด (fresh weight: FW) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนใบไปแช่น้ำ deionized water พร้อมกับวางให้ใบได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเต่ง (turgid weight: TW) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง (dry weight: DW) นำค่าทั้งสามมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\%RWC = ((FW-DW)/(TW-DW)) \times 100$$

6. ค่า SPAD วัดด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502Plus มีหน่วยเป็น SPAD unit

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics เวอร์ชัน 17.0

## ผลและวิจารณ์

### 3. การเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่มีต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รวมไปถึงความยาวส่วนที่อยู่เหนือดิน และรากของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระยะต้นกล้า โดยแบ่งเป็นช่วงที่ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วันรวม 15 วันพบว่าความร้อน 40/35°C ซึ่งเป็นความร้อนที่สูงที่สุดในการทดลองส่งผลให้มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่มากกว่า ความร้อนอื่น ๆ (รูปที่ 1 ก-ข) สังเกตได้จากวันเดียวกัน ข้าวที่ได้รับความร้อน 40/35°C มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมและชุด ที่ได้รับความร้อน 35/30°C ซึ่งทั้งสองชุดนี้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะน้ำหนักแห้งรากและความ ยาวรากในวันที่ 5 ที่มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 35/30°C อย่างมีนัยสำคัญ เป็น 2.55 และ 1.66 เท่าตามลำดับ

### 4. การตอบสนองทางสรีรวิทยา

จากการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงพบว่าการให้ความร้อนที่ระดับ 40/35°C ในช่วง 3-5 วัน มีผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ความ ร้อนที่ระดับ 35/30°C ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงมากนักเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (รูป ที่ 2 ก) โดยเมื่อพิจารณาต้นข้าวที่วันที่ 3 และวันที่ 5 ของการทดลอง ชุดทดลองที่อุณหภูมิ 40/35°C มีอัตราการ สังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุดอยู่ที่ 5.20 และ 3.24  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ สูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าต่ำลงในช่วงที่เข้าสู่สภาวะฟื้นฟู โดยต่ำที่สุดในวันที่ 6 ของการทดลองอยู่ที่ 0.56  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และต่ำ กว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

ด้านผลต่อค่าชักนำการเปิดปากใบพบว่าชุดที่ได้รับความร้อน 40/35°C เป็นเวลา 1-5 วันมีค่าชักนำการเปิด ปากใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ต่างกับข้าวที่ได้รับความร้อน 35/30°C ที่มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมและไม่ ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2 ข) เมื่อพิจารณาในวันที่ 1, 3 และ 5 จะเห็นว่าชุดทดลองที่อุณหภูมิ 40/35°C มีค่าชัก นำการเปิดปากใบสูงที่สุดอยู่ที่ 0.07, 0.09 และ 0.07 ( $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ตามลำดับโดยเฉพาะวันที่ 3 ที่มีค่าสูงกว่าชุด อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่า SPAD ซึ่งเป็นค่าผันแปรกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ พบความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ( $p = 0.140$ ; รูปที่ 3 ก) และค่าความ SPAD ( $p = 0.023$ ; รูป ที่ 3 ข) เมื่อต้นข้าวอายุเท่ากันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง

จากภาพรวมจะเห็นว่าความเครียดจากความร้อนในระดับ 40/35°C ซึ่งเป็นระดับที่สูงที่สุดมีแนวโน้มการ เจริญเติบโตที่มากกว่าชุดที่ให้ความร้อน 35/30°C ที่มีแนวโน้มเดียวกับชุดควบคุม อาจจะเป็นเนื่องมาจากการทำงานของ กลไกในข้าวที่เร่งการเจริญเติบโตเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อน สอดคล้องกับค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าชักนำ การเปิดปากใบที่พบการทำงานมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่ได้รับความเครียดร้อน เพื่อรองรับ การสร้างอาหารให้กับพืชในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามสองค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนในช่วงฟื้นฟู แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลงอย่างมาก เป็นไปได้ว่าพืชสูญเสียพลังงานไปมากในช่วงที่ได้รับ อุณหภูมิสูง อีกทั้งการได้รับความเครียดที่มากและนานเกินไปสภาพภายในเซลล์จะไม่เหมาะกับการทำงานของ โปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในเซลล์ที่มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิและค่า pH มาก (Yamori et al., 2014) สำหรับกลไกการเปิดปากใบที่เพิ่มขึ้นระหว่างที่ได้รับความร้อนก็สามารถพบได้ในพืชบางชนิดที่จะใช้รักษาสภาพ อุณหภูมิภายในเซลล์ (Hall et al. 1976) Rizhsky และคณะ (2002) พบการเพิ่มขึ้นของค่าชักนำการเปิดปากใบอย่าง

มีนัยสำคัญในต้นยาสูบที่ได้รับความร้อน 44°C เพื่อที่จะต้องการให้อุณหภูมิเย็นลงโดยการระบายความร้อนออกจากเซลล์ ในทางกลับกันค่า SPAD และปริมาณน้ำสัมพันธ์ไม่ได้รับผลกระทบจากความเครียดดังกล่าว

## สรุป

ความเครียดจากความร้อนส่งผลต่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและค่าดัชนีการเปิดปากใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับชุดที่ได้รับความร้อน 40/35°C ในช่วงที่ได้รับความร้อนและลดลงอย่างชัดเจนในช่วงฟื้นตัวเมื่อนำข้าวมาอยู่ในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามความเครียดร้อนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์และค่า SPAD ของใบ

## คำขอบคุณ

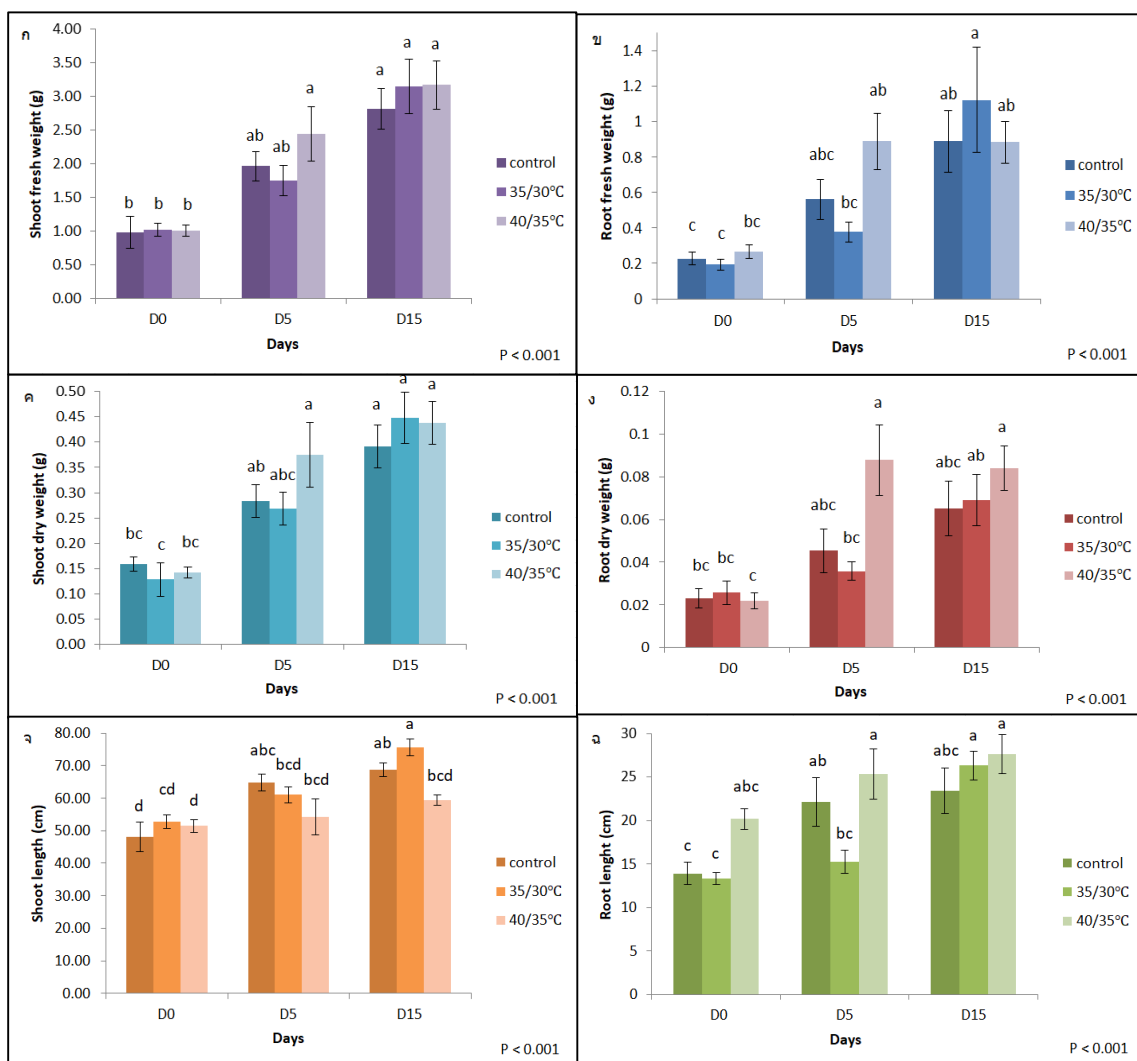
ขอขอบคุณทุนวิจัยจากทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ตลอดจนผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่สนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

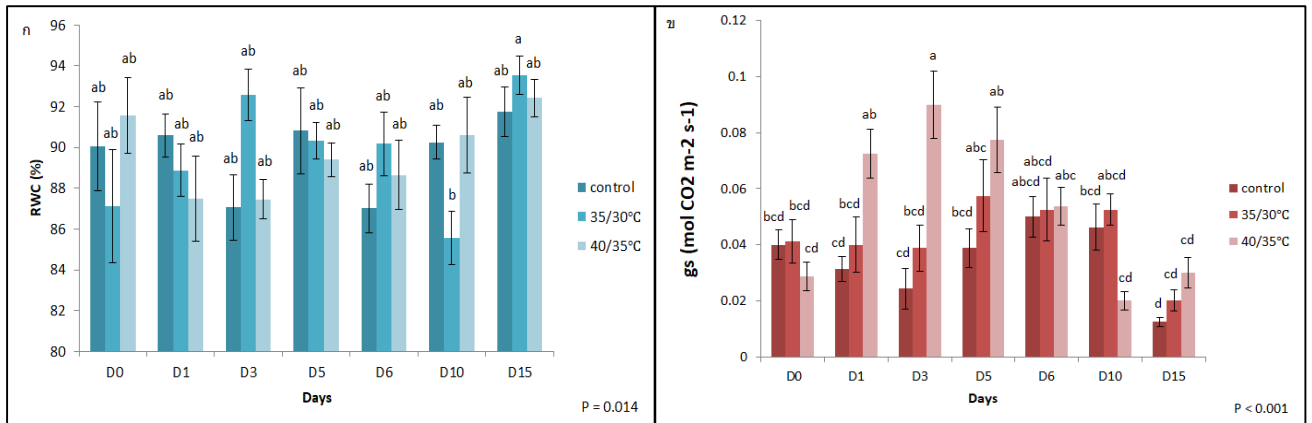
- ศิริพร ศรีภิญโญวนิชย์ และ รัฐธิภา ธนารักษ์. (2559). ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวและหญ้าข้าวนกในระยะต้นกล้า. *วารสารการเกษตรราชภัฏ*. 15(1), 54-66.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R. and Labdi, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 627-637.
- El-Esawi, M. A. and Alayafi, A. A. (2019). Overexpression of rice Rab7 gene improves drought and heat tolerance and increases grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Genes*, 10(1), 56.
- Hall, A. E., Schulze, E. D. and Lange, O. L. (1976). Current perspectives of steady state stomatal responses to environment. In: Lange, O. L., Kappen, L. and Schulze, E.-D. (eds) *Water and Plant Life*. Springer, pp. 169-188.
- Lanceras, J. C., Huang, Z. L., Naivikul, O., Vanavichit, A., Ruanjaichon, V. and Tragoonrung, S. (2000). Mapping of genes for cooking and eating qualities in Thai jasmine rice (KDM 105). *DNA research*, 7(2), 93-101.
- Rizhsky, L., Liang, H. and Mittler, R. (2002). The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant physiology*, 130(3), 1143-1151.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.
- Wang, Y., Jiang, J., Zhao, X., Liu, G., Yang, C., & Zhan, L. (2006). A novel LEA gene from *Tamarix androssowii* confers drought tolerance in transgenic tobacco. *Plant Sci*. 171(6), 655-662.

Yamori, W., Hikosaka, K. & Way, D. A. (2014). Temperature response of photosynthesis in C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis research*, 119(1-2), 101-117.

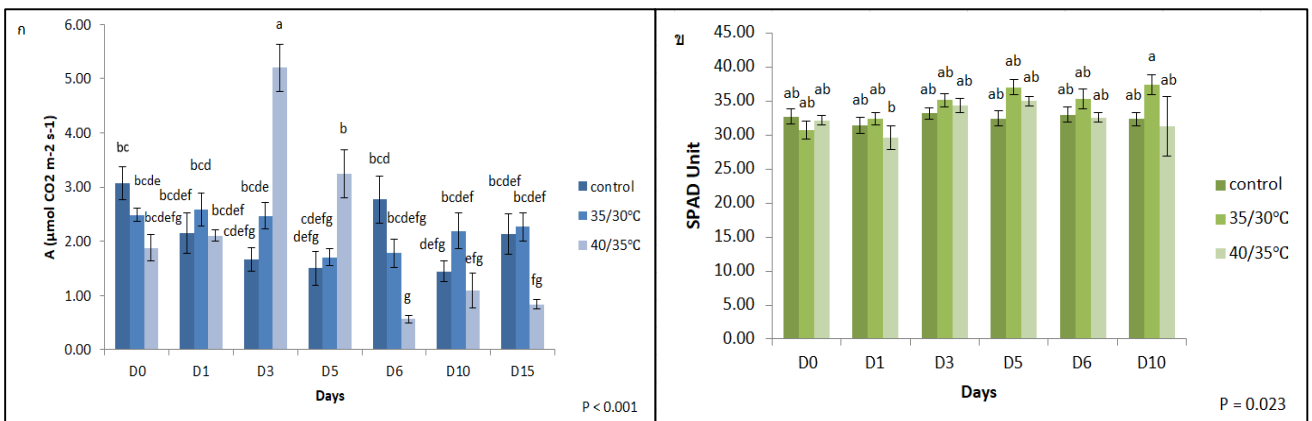
Zafar, S. A., Hameed, A., Nawaz, M. A., Wei, M. A., Noor, M. A., & Hussain, M. (2018). Mechanisms and molecular approaches for heat tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) under climate change scenario. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 726-738.



**รูปที่ 1** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน ข. น้ำหนักสดราก ค. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ง. น้ำหนักแห้งราก จ. ความยาวส่วนเหนือดิน และ ฉ. ความยาวรากของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means ± SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's tes



**รูปที่ 2** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและ ข. ค่าชักนำการเปิดปากใบของต้นกล้าข้าวดอกมะลิ 105 ส่วนเหนือดิน เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means ± SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test



**รูปที่ 3** ผลของความร้อน 3 ระดับได้แก่ 30/25°C (ชุดควบคุม), 35/30°C และ 40/35°C ที่มีต่อ ก. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ข. ค่า SPAD ของต้นกล้าข้าวดอกมะลิ 105 ส่วนเหนือดิน เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อน 5 วันและช่วงฟื้นตัว 10 วัน) (means ± SE; ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) วิเคราะห์ด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test

# การวิเคราะห์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคำพิพากษาศาลฎีกาคดีความผิดเกี่ยวกับ เพศระหว่างปีพ.ศ. 2551 ถึง 2562

An analysis of forensic evidence in the Supreme Court's verdict on Sex offense during the  
year 2008 – 2019

กรรณิการ์ จันละมุล<sup>1</sup> ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี<sup>2</sup> และ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง<sup>2</sup>

Kannikar Chanlamoon<sup>1</sup> Supachai Supaluknari<sup>2</sup> and Sirirat Choosakoonkriang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>1</sup>Forensic science program, Faculty of Science, Graduate school, Silpakorn university

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn university

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการรวบรวมและวิเคราะห์คดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่มีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาในคดีที่มีคำพิพากษาศาลฎีกาที่สิ้นสุดลงแล้วในระหว่างปี พ.ศ.2551-พ.ศ.2562 ในการศึกษาครั้งนี้สืบค้นจากคดีที่มีการตัดสินในศาลฎีกาว่าใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยในการตัดสินคดีความผิดเกี่ยวกับเพศจากการสืบค้นด้วยระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่งคำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกาหรือสืบค้นฎีกา2015 ได้ทำการรวบรวมคำพิพากษาของศาลฎีกาทั้งหมด 10,199 คำพิพากษา จากคำพิพากษาศาลฎีกาเหล่านี้พบว่าเป็นคดีเกี่ยวกับข่มขืนกระทำชำเรา 202 คดี คดีอนาจาร 68 คดี และคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกอนาจาร 47 คดี และเมื่อพิจารณาคดีจากคำพิพากษาศาลฎีกาทั้งหมด 317 คำพิพากษาศาลฎีกา พบว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาคดีทั้งสิ้น 72 คำพิพากษาศาลฎีกา ในการศึกษาพบว่ามีการใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ในคดีข่มขืนกระทำชำเราคิดเป็น59 % ในคดีอนาจารคิดเป็น22% และคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกคิดเป็น16 % จากการศึกษายังพบว่าจำเลยที่กระทำความผิดในคดีเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นเพศชายและเมื่อพิจารณาจากคดีทั้งหมด 317 คดี มีเพียง 25 คดี ที่มีการใช้อาวุธมาเกี่ยวข้อง และเหยื่อจะถูกทำร้ายร่างกายถึง 88 คดี จากผลการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถนำความตัดสินที่ยุติธรรมทั้งด้านโทษและจำเลย

**คำสำคัญ :** พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์, คำพิพากษาศาลฎีกา, คดีความผิดเกี่ยวกับเพศ

## Abstract

The objective of this work is to execute content analyses of Supreme Court judgments concerning the use of forensic evidence in the adjudication of sexual offense cases during the years 2008-2019. In this study, the sexual offense cases that had been convicted in the Deka court with the aid of forensic evidence, were compiled and analysed. A total of 10,199 judgments were retrievable from the search system of Supreme Court judgments (Deka 2015). 317 judgments were chosen as related to the sexual offense cases. Of these judgments, 202 judgments were of rape cases, 68 judgments were related to pornographic cases and 47 judgments were of prostitution and pornographic cases. From the 317 judgments, 72 judgements were found to be cases where there were judicial uses of forensic evidence. In the study, most forensic evidence was used in rape cases, accounting for 59% in pornographic cases, 22% and prostitution and pornography accounting for 16%. It was also found that the offenders were male in a high proportion of those cases. Out of the overall 317 cases, only 25 cases were related to the use of weapon and the victims were physically assaulted in 88 cases. The results from this study demonstrated that forensic evidence can bring a fair judgment for both the accused and the prosecutor.

**Keywords:** Forensic evidence, Supreme Court judgments, Sexual offense case

## บทนำ

ในยุคโลกาภิวัตน์ซึ่งโลกที่ไร้พรมแดนประชาคมโลกไม่ว่าจะอยู่ ณ จุดใดสามารถรับรู้ สัมผัส หรือ รับผลกระทบจากสิ่งที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วซึ่งในยุคข้อมูลข่าวสารที่ไร้พรมแดนการที่วิวัฒนาการในสิ่งต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป การก่อการร้ายหรือพฤติกรรมในการกระทำความผิดได้รับการพัฒนาทั้งคดีแพ่งและคดีอาญา ที่ยากแก่การที่จะนำตัวผู้กระทำความผิดมารับโทษได้ ซึ่งกระบวนการยุติธรรมต้องมีการพัฒนาเพื่อให้เกิดความเท่าทันและนำตัวผู้กระทำความผิดมารับโทษบทบาทของพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์จึงเป็นบทบาทที่สำคัญในการแก้ปัญหาในกระบวนการยุติธรรมของไทยในการนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษหรือในการพิสูจน์ความบริสุทธิ์ของบุคคลเพื่อให้ไม่ต้องรับโทษโดยไม่เป็นธรรมสำหรับปัญหาการก่อคดีข่มขืนในประเทศไทยปัจจุบันถือว่ามียอดราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนน่าตกใจสาเหตุอาจจะมาจากหลากหลายปัจจัยโดยเฉพาะสื่อต่างๆ ในสังคมปัจจุบันโดยอิสรกุล อุณหเกตุ (2557) ได้ตั้งข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับคดีข่มขืนกระทำชำเราในเรื่องสถิติคดีข่มขืนกับการบังคับใช้กฎหมายในคดีเกี่ยวกับเพศว่าปัญหาคดีข่มขืนกระทำชำเราเป็นปัญหาสำคัญจริงเพราะโดยทั่วไปนั้นคดีข่มขืนเป็นคดีที่มีการรายงานน้อยกว่าที่เกิดขึ้นจริงมากและต้องใช้ในการสำรวจสถิติอาชญากรรมภาคประชาชน

(crime victimization survey) เพื่อเติมเต็มสถิติของทางการยกตัวอย่างเช่น การสำรวจในสหรัฐอเมริกาในช่วงปี ค.ศ. 2006-2010 มีคดีข่มขืนที่ไม่ได้รับรายงานถึง 65% ส่วนในอังกฤษและเวลส์ในช่วงปีค.ศ. 2007-2012 พบว่ามีผู้เสียหายจากคดีข่มขืนที่ไม่แจ้งความกับตำรวจถึง 85% สำหรับข้อมูลการสำรวจสถิติอาชญากรรมภาคประชาชนของไทยในปีพ.ศ. 2555 พบว่ากลุ่มตัวอย่างประมาณ 0.05% ตกเป็นเหยื่อในคดีข่มขืนภายในระยะเวลาหนึ่งปีก่อนทำการสำรวจซึ่งหากคำนวณเทียบกับจำนวนประชากรทั้งประเทศจะพบว่าเกิดคดีข่มขืนขึ้นจริงกว่า 3 หมื่นคดีของในแต่ละปีซึ่งเท่ากับว่าอาจมีคดีข่มขืนที่ไม่มีการแจ้งความกับตำรวจถึง 87% จากสถิติดังกล่าวยังมีโอกาสเพิ่มสูงขึ้นและไม่มีทีท่าว่าจะลดลงอีกด้วยซึ่งกฎหมายและกระบวนการยุติธรรมนั้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งชี้ถึงความเจริญก้าวหน้าและวิวัฒนาการของสังคมที่ถือเป็นเครื่องมือในการสร้างความเป็นธรรมนำไปสู่ความสงบเรียบร้อยในการอยู่ร่วมกันของประชาชนโดยประเทศไทยได้มีการบัญญัติกฎหมายหรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมของกฎหมายมาโดยตลอด โดยในปีพ.ศ. 2562 ได้มีการเพิ่มหรือกำหนดอัตราโทษที่สูงขึ้นซึ่งรวมถึงคดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่มีการเพิ่มอัตราโทษและค่าปรับที่สูงขึ้นดังนั้นการที่จะนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษสิ่งที่สำคัญที่สุดเลยคือการหาพยานหลักฐานที่สามารถชี้ตัวผู้กระทำความผิดโดยปราศจากข้อสงสัยให้ศาลพิจารณาจึงเป็นเรื่องที่สำคัญซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่ในคดีต่างๆ มักจะกล่าวอ้างถึงพยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มาใช้กันอย่างกว้างขวางเข้ามาในคดีซึ่งสอดคล้องกับระบบการค้นหาคำความจริงที่อาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านต่างๆ หลากหลายไม่ว่าจะเป็นสาขาฟิสิกส์ สาขาเคมี สาขาชีววิทยา นิติเวช ลายนิ้วมือ เอกสาร และอาวุธปืนเป็นต้น ที่จะสามารถช่วยทำให้ระบบการค้นหาคำความจริงมีความถูกต้อง แม่นยำมากยิ่งขึ้นในการพิจารณาพิพากษาคดีได้อย่างเป็นธรรมเพื่อนำไปสู่การนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษ

สำหรับงานวิจัยและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คำพิพากษาศาลฎีกาที่มีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์หรือหลักฐานต่างมาใช้ในกระบวนการยุติธรรมนั้นมีผู้ที่ทำวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยที่ม้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง White John H. และคณะ (2011) ได้ศึกษาเรื่องการใช้ประโยชน์ของพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์และรูปแบบอาชญากรรมในทำแผนประทุษกรรมของฆาตกรการจับกุมฆาตกรต่อเนื่องได้ศึกษาข้อมูลของฆาตกรต่อเนื่องจำนวน 200 รายรวมทั้งการใช้หลักนิติวิทยาศาสตร์จนทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถจับกุมฆาตกรต่อเนื่องได้ Joseph L. Peterson และคณะ (2013) โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากคดีอาญาจำนวนทั้งสิ้น 4,205 คดีเกี่ยวกับการใช้พยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในการคลี่คลายคดีอาชญากรรมที่เกิดขึ้นในศาลทั้ง 5 รัฐของสหรัฐอเมริกา พบว่าพยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นพยานหลักฐานที่สร้างผลสำเร็จในการคลี่คลายคดีการวิเคราะห์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพยานหลักฐานทางนิติเวชมีบทบาทที่สำคัญมากในการตัดสินคดีต่างๆ

ยุทธไพศาล ฉัตรขนิณพร (2553) ได้ศึกษาการวิเคราะห์คำพิพากษาในคดีอาชญากรรมที่มีการใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ คดีระหว่างปี พ.ศ. 2540 ถึง 2549 ผลการวิจัยพบว่าจากคดีทำร้ายร่างกายฆาตกรรมและข่มขืน จำนวนทั้งหมด 408 คำพิพากษาศาลฎีกา มีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในกระบวนการตัดสิน 163 คำพิพากษาศาลฎีกา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 โดยคดีทำร้ายร่างกายระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์การประมวลวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10



มาใช้มากที่สุดเมื่อเทียบกับคดีอาชญากรรมอื่นๆ โดยในช่วงปีพ.ศ.2545-2549 จะมีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาคดีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปี พ.ศ.2540 - 2544 บุญศักดิ์ หาญเทิดสิทธิ์ (2557) ศึกษาเรื่องการรับฟังและการชั่งน้ำหนักพยานหลักฐานทางการแพทย์ในคดีฆาตกรรมกระท้ำข้าว พบว่าศาลใช้พยานหลักฐานทางการแพทย์และการตรวจพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์รวมถึงศาลใช้พยานหลักฐานหลายประเภทมาพิจารณาคดีสามารถตัดสินคดีได้ ดวงฤทัย อุตคุต (2558) ได้ศึกษาวิเคราะห์คำพิพากษาในคดีอาชญากรรมที่มีการใช้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์คดีระหว่างปี พ.ศ. 2550 ถึง 2558 ผลการวิจัยพบว่าจากคดีทำร้ายร่างกาย คดีฆาตกรรมกระท้ำข้าว และคดีฆาตกรรมจำนวนทั้งหมด 349 คำพิพากษาศาลฎีกา มีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาคดีทั้งสิ้น 103 คำพิพากษาศาลฎีกาซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30 โดยคดีทำร้ายร่างกายระบุว่ามีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้มากที่สุดเมื่อเทียบกับคดีอาชญากรรมอื่นๆ โดยมีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาคดีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงปีพ.ศ.2540 ถึง 2549

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษารวบรวมงานวิจัย การวิเคราะห์คำพิพากษาศาลฎีกาในคดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่มีการใช้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีระหว่าง พ.ศ. 2551 ถึง 2562 ในกลุ่มคดีฆาตกรรมกระท้ำข้าว กลุ่มคดีอนาจารและกลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกเพื่อศึกษารวบรวมคำพิพากษาศาลฎีกาที่มีการนำเอาพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาคดี รวมถึงศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลสำคัญในการตัดสินคดีความ

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมคำพิพากษาศาลฎีกาในคดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่มีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการระบุนการยุติธรรมทางอาญา

2. เพื่อศึกษาและแบ่งกลุ่มข้อมูลตามประเภทของคดีความเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของคดีความกับวิธีการทำร้ายร่างกาย การใช้กำลังประทุษร้ายและการข่มขู่หรือกักขังหน่วงเหนี่ยวกับบาดแผลที่พบบนร่างกายของผู้เสียหาย และจำแนกอาชญากรที่ใช้ในการก่อเหตุว่าผู้กระทำความผิดมีเจตนาใด

## วิธีการวิจัย

ศึกษาและรวบรวมคดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่สิ้นสุดแล้วจากการสืบค้นด้วยระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่ง คำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกาหรือสืบค้นฎีกา 2015 ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551-2562 โดยแบ่งกลุ่มคดีความตามประเภทของคดีความและวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับรูปแบบการทำร้ายร่างกายจากวิธีการทำร้ายร่างกายและบาดแผลที่พบบนร่างกายของผู้เสียหายคือ

กลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเราตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 276 และ 277

กลุ่มคดีอนาจารตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 278 และ 279

กลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 283 และ 287

## ผลการวิจัย

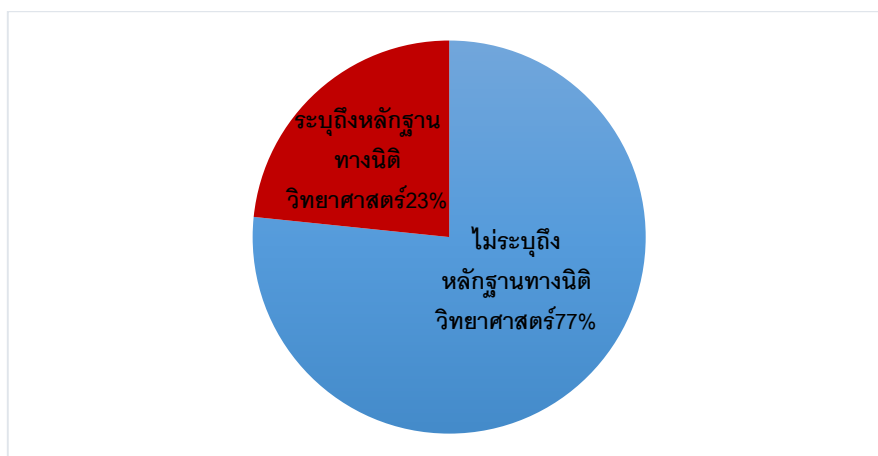
การศึกษาคำพิพากษาฎีกาที่ระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาคดีจากการรวบรวมคำพิพากษาฎีกาที่ระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาคดีในชั้นศาลฎีกา โดยพิจารณาเฉพาะหลักฐานทางนิติเวช พบว่าคำพิพากษาฎีกาจากการสืบค้นด้วยระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่ง คำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกาหรือสืบค้นฎีกา 2015 ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551-2562 มีจำนวนทั้งหมด 10,199 คำพิพากษาฎีกา

### ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มคำพิพากษาฎีกาตามประเภทของคดีความ

กลุ่มคดี	จำนวนคำพิพากษาฎีกา	ร้อยละของคดีทั้งหมด
คดีข่มขืนกระทำชำเรา	202	64
คดีอนาจาร	68	21
คดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก	47	15
รวม	317	100

เมื่อคัดเลือกเฉพาะ คดีข่มขืนกระทำชำเรา คดีอนาจารและคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกพบว่ามีทั้งหมด 317 คำพิพากษาฎีกา โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มตามประเภทของคดีความคือ คดีข่มขืนกระทำชำเรา 202 คำพิพากษาฎีกา คดีอนาจาร 68 คำพิพากษาฎีกาและคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก 47 คำพิพากษาฎีกา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 64, 21 และ 15 ของคดีทั้งหมดตามลำดับ ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในช่วงปีพ.ศ. 2551 – 2562 เกิดคดีข่มขืนกระทำชำเรามากที่สุดตามด้วยคดีอนาจารและคดีความผิดเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกตามลำดับ จากการศึกษาเพศของจำเลยที่ระบุในคำพิพากษาฎีกาทั้งหมด 317 คำพิพากษาฎีกาพบว่ามีจำเลยทั้งหมด 333 คนซึ่งในกรณีนี้บางคำพิพากษาศาลฎีกามีจำเลยมากกว่าหนึ่งคน โดยในคดีข่มขืนกระทำชำเรา คดีอนาจารและคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกมีจำเลยที่เป็นผู้หญิงคิดเป็นร้อยละ 8 จาก 317 คำพิพากษาของคดีดังกล่าว ในขณะที่จำเลยผู้ชายคิดเป็นร้อยละ 92 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ชายมีแนวโน้มในการก่ออาชญากรรมมากกว่าผู้หญิงแต่ในขณะเดียวกันก็มีจำเลยที่เป็นผู้หญิงเนื่องจากในปัจจุบันได้มีกฎหมายอาญาที่บัญญัติให้สามารถ

ฟ้องร้องผู้หญิงที่เป็นผู้กระทำผิดทางเพศได้ไม่ว่าจะเป็น ชายข่มขืนหญิง ชายข่มขืนชายหรือจะเป็นหญิงข่มขืนชาย หญิงข่มขืนหญิงก็ได้ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสิทธิที่เท่าเทียมกันของประชาชน



ภาพที่ 1 แผนภูมิวงกลมแสดงการเปรียบเทียบคำพิพากษาฎีกาที่มีการระบุและไม่ระบุถึงการนำหลักฐานทางนิติเวชมาใช้ในการพิจารณาคดี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในชั้นศาลฎีกาโดยศึกษาเฉพาะหลักฐานทางนิติเวชเท่านั้นจากคำพิพากษาฎีกาทั้งหมด 317 คำพิพากษาฎีกา ในคำพิพากษาฎีกาพบว่าการนำหลักฐานทางนิติเวชมาใช้ในการพิจารณาคดี 72 คำพิพากษาฎีกาซึ่งคิดเป็นร้อยละ 23 ส่วนในคำพิพากษาฎีกาที่ไม่ได้ระบุว่ามีการใช้หลักฐานทางนิติเวชในคำพิพากษามีทั้งสิ้น 245 คำพิพากษาฎีกา คิดเป็นร้อยละ 77 ดังภาพที่ 1 ซึ่งในที่นี้ไม่ได้หมายความว่าคดีดังกล่าวไม่ได้ใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ด้านอื่นๆ ในการพิจารณาคดีหรือไม่ได้ใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในกระบวนการยุติธรรมขั้นอื่นๆ ไปด้วยแต่คงหมายถึงเฉพาะในคำพิพากษาฎีกาที่สืบค้นด้วยระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่งคำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกาหรือสืบค้นฎีกา 2015 ว่ามิได้มีการระบุถึงการนำหลักฐานทางนิติเวชมาช่วยในการพิจารณาคดีตัดสินคดีเท่านั้น คดีที่ระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ซึ่งในที่นี้คือหลักฐานทางนิติเวชมาช่วยในการพิจารณาคดีแบ่งออกเป็นกลุ่มได้พบว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาคดี ในกลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรามากที่สุด 52 คำพิพากษาฎีกา คิดเป็นร้อยละ 69 ของคดีข่มขืนกระทำชำเราทั้งหมด ในคดีอนาจารมี 16 คำพิพากษา คิดเป็นร้อยละ 22 และกลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกมี 4 คำพิพากษา คิดเป็นร้อยละ 9 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คำพิพากษาฎีกาที่ระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติเวชมาใช้ในการพิจารณาคดี

กลุ่มคดี	จำนวนฎีกา	ระบุว่ามีการนำหลักทางนิติเวชมาใช้	
		คำพิพากษา	ร้อยละ
คดีข่มขืนกระทำชำเรา	202	52	26

คดีอาจาร	68	16	24
คดีเกี่ยวกับการค้า ประเวณีและสื่อลามก	47	4	9
รวม	317	72	23

รูปแบบการทำร้ายร่างกายสามารถบ่งบอกถึงเจตนาของผู้กระทำซึ่งมีผลต่อการพิจารณาความรุนแรงของความคิดที่จะได้รับในคดีความ ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของการทำร้ายร่างกายโดยจำแนกตามอาวุธที่ใช้ในการทำร้ายร่างกายและตำแหน่งของบาดแผลที่พบบนร่างกายของผู้เสียหายหรือผู้ตาย จากการศึกษาพบว่า 317 คำพิพากษาศาลฎีกาพบว่ามีการใช้อาวุธ 25 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 8 และไม่มีการใช้อาวุธ 203 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 64 และไม่มีข้อมูล 89 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 28 ซึ่งกลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรา มีการใช้อาวุธมากที่สุดคือ 15 คำพิพากษาศาลฎีกา คิดเป็นร้อยละ 7 ส่วนคดีอาจารมีการใช้อาวุธ 9 คำพิพากษาศาลฎีกาคิดเป็นร้อยละ 13 ส่วนคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกพบว่ามีการใช้อาวุธ 1 คำพิพากษาศาลฎีกาคิดเป็นร้อยละ 2 ซึ่งคดีข่มขืนกระทำชำเรา คดีอาจาร และคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกจะพบที่ผู้กระทำมีการใช้อาวุธในการก่อเหตุเล็กน้อยมากถ้าเทียบกับคดีอื่นๆ เนื่องจากผู้กระทำมีเจตนาในการกระทำที่มุ่งแสวงหากำไรมากกว่าจึงจะใช้วิธีการพูดโน้มน้าวมากกว่าการใช้อาวุธ ในการจำแนกอาวุธที่ใช้ในการทำร้ายร่างกายของผู้เสียหายหรือผู้ตาย พบว่ากลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรามีการใช้อาวุธปืนมากที่สุด 7 คำพิพากษา ซึ่งอาวุธปืนถือเป็นอาวุธที่ร้ายแรงดังนั้น การที่ผู้กระทำได้พกพาอาวุธปืนไปเพื่อใช้ในการทำร้ายผู้เสียหายหรือผู้ตายนั้นอาจแสดงเจตนาของผู้กระทำได้ว่ามีเจตนาที่จะทำร้ายผู้เสียหายหรือฆ่าผู้ตาย กลุ่มคดีอาจารมีการใช้อาวุธมีดมากที่สุด 6 คำพิพากษา การใช้อาวุธมีดและปืนน้อยมากส่วนมากเป็นการใช้เพื่อข่มขู่ผู้เสียหายเท่านั้น ดังตารางที่ 3 ส่วนกลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกพบว่ามีการใช้อาวุธน้อยมากจนแทบไม่มีการใช้อาวุธเลยเพราะส่วนใหญ่ผู้กระทำความคิดจะใช้วิธีพูดจาโน้มน้าวซึ่งเป็นการทำเพื่อแสวงหากำไรมากกว่าส่วนอาวุธอื่นๆที่พบในการก่อคดี เช่น ไม้ ขวดแก้ว เหล็ก เป็นต้น

ตารางที่ 3 จำแนกอาวุธที่ใช้ในการทำร้ายร่างกายผู้เสียหายหรือผู้ตายตามกลุ่มคดี

กลุ่มคดี	ปืน	มีด	อื่นๆ
	คำพิพากษาศาลฎีกา	คำพิพากษาศาลฎีกา	คำพิพากษาศาลฎีกา
คดีข่มขืนกระทำชำเรา	7	6	1
คดีอาจาร	3	6	1
คดีเกี่ยวกับการค้าประเวณี และสื่อลามก	-	1	-

รวม	11	11	3
-----	----	----	---

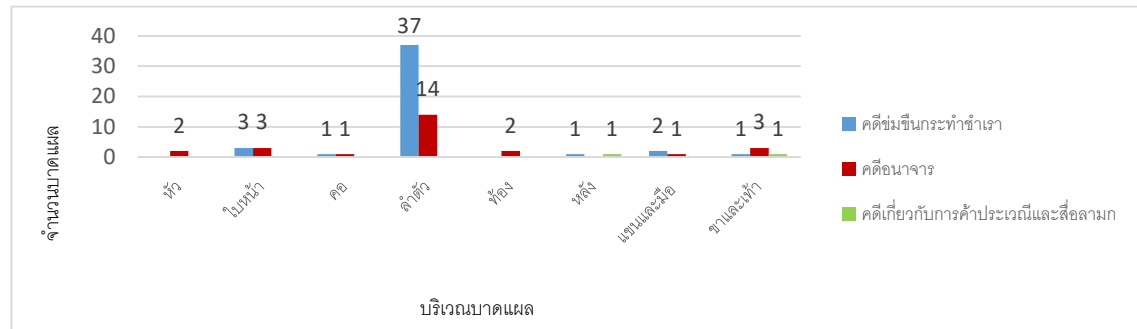
การใช้กำลังประทุษร้ายและการข่มขู่หรือกักขังหน่วยงานเหยี่ยวผู้เสียหายแสดงดังตารางที่ 6 พบว่า จากคำพิพากษาศาลฎีกา 317 คำพิพากษา มีการใช้กำลังประทุษร้ายรวมทั้งหมด 88 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 28 ข่มขู่หรือกักขังหน่วยงานเหยี่ยวมีทั้งหมด 78 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 25 ไม่มีการระงับมีทั้งหมด 151 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 47 การใช้กำลังประทุษร้ายมีมากที่สุดในกลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรา 60 คำพิพากษา ตามด้วยคดีอนาจาร 22 คำพิพากษาและคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก 6 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 30, 32, 13 ข่มขู่หรือกักขังหน่วยงานเหยี่ยวมีมากที่สุดในกลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรา 46 คำพิพากษา ตามด้วยคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก 18 คำพิพากษาและคดีอนาจาร 14 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 23, 21, 38 ไม่มีการระงับมีมากที่สุดในกลุ่มคดีข่มขืนกระทำชำเรา 96 คำพิพากษา ตามด้วยคดีอนาจาร 32 คำพิพากษาและคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก 23 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 47, 47, 49 ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4 แสดงการใช้กำลังประทุษร้ายและการข่มขู่หรือกักขังหน่วยงานเหยี่ยวผู้เสียหายตามกลุ่มคดี**

กลุ่มคดี	ใช้กำลังประทุษร้าย		ข่มขู่หรือกักขังหน่วยงานเหยี่ยว		ไม่มีการระงับ	
	คำพิพากษาศาลฎีกา	ร้อยละ	คำพิพากษาศาลฎีกา	ร้อยละ	คำพิพากษาศาลฎีกา	ร้อยละ
คดีข่มขืนกระทำชำเรา	60	30	46	23	96	47
คดีอนาจาร	22	32	14	21	32	47
คดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามก	6	13	18	38	23	49
รวม	88	28	78	25	151	47

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์บาดแผลที่พบบนร่างกายของผู้เสียหาย ดังภาพที่ 2 แกน X คือ บริเวณที่พบบาดแผล แกน Y คือ ปริมาณที่พบบาดแผลโดยจากกราฟจะเห็นว่าในคดีข่มขืนกระทำชำเราพบบาดแผลบริเวณลำตัว แขนและมือ และใบหน้ามากกว่ากลุ่มคดีอื่น ส่วนกลุ่มคดีอนาจารจะพบบาดแผลบริเวณลำตัว ใบหน้าและขาและเท้ามากกว่าบริเวณอื่น ส่วนในกลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกพบบาดแผลในตัวผู้เสียหายน้อยมากและบาดแผลที่พบส่วนใหญ่ไม่อยู่ในตำแหน่งสำคัญหรือเป็นอันตรายแก่ชีวิตซึ่งคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกจำเลยไม่ได้มีเจตนาทำร้ายร่างกายหรือเจตนาที่จะล้วงละเมิดทางเพศแต่มีเจตนาที่จะมุ่งแสวงหากำไรมากกว่า

ภาพที่ 2 กราฟแท่งเปรียบเทียบขนาดแผลที่พบบนร่างกายของเหยื่อ



### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและรวบรวมคำพิพากษาศาลฎีกาในคดีความผิดเกี่ยวกับเพศที่สิ้นสุดแล้ว คือคดีข่มขืนกระทำชำเรา คดีอนาจารและคดีความผิดเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกจากการสืบค้นด้วยระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่ง คำร้อง และคำวินิจฉัยศาลฎีกาหรือสืบค้นฎีกา 2015 พบทั้งหมด 317 คำพิพากษาศาลฎีกา โดยมีคำพิพากษาศาลฎีกาที่ระบุว่ามีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในกระบวนการตัดสิน 72 คำพิพากษาศาลฎีกาคิดเป็นร้อยละ 23 เมื่อเปรียบเทียบกับวิจัยของดวงฤทัย อุตคุต (2558) ทำวิจัยเรื่องพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคำพิพากษาศาลฎีกาคดีอาชญากรรมระหว่างปี.ศ. 2550 ถึง 2558 พบว่าความผิดเกี่ยวกับเพศมีการใช้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพียง 25 คำพิพากษา มีการใช้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2562 มีการเปลี่ยนแปลงประมวลกฎหมายอาญาเป็นการแก้ไขเกี่ยวกับความผิดทางเพศเนื้อหาสาระสำคัญส่วนใหญ่เป็นการเพิ่มโทษเกี่ยวกับการกระทำผิดทางเพศ มีการนิยามคำว่ากระทำชำเราใหม่ลงในประมวลกฎหมายอาญา ซึ่งมีการนำหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคดีอื่นๆ จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับเพศของจำเลยพบว่าในคดีความผิดเกี่ยวกับเพศทุกคดีจำเลยส่วนใหญ่จะเป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิงแสดงว่าผู้ชายมีโอกาสก่ออาชญากรรมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของดวงฤทัย อุตคุต (2558) และปี.ศ. 2551 ถึง 2562 พบว่ามีจำเลยเพศชายมากกว่าเพศหญิง

เมื่อศึกษารูปแบบของการทำร้ายร่างกายพบว่าคดีข่มขืนกระทำชำเรา ส่วนใหญ่จะใช้อาวุธร่วมด้วยซึ่งต่างจากคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกที่ผู้กระทำผิดมีการใช้อาวุธน้อยมากเมื่อเทียบกับกลุ่มคดีอื่น ๆ เนื่องจากผู้กระทำมีเจตนามุ่งที่จะแสวงหากำไรจึงใช้วิธีพูดโน้มน้าวผู้เสียหายมากกว่าการทำร้ายร่างกาย เมื่อศึกษาอาวุธที่ใช้ในการก่อคดีทำให้ทราบถึงเจตนาและลักษณะของบาดแผลที่เกิดขึ้นพบว่าในคดีข่มขืนกระทำชำเรา มีการใช้อาวุธปืนมากที่สุดเมื่อเทียบกับคดีอื่นๆ ซึ่งอาวุธปืนโดยสภาพเป็นอาวุธที่ร้ายแรงมากในการใช้ประทุษร้าย และยังแสดงเจตนาของผู้กระทำผิดได้อีกด้วย ในคดีอนาจารมีการใช้อาวุธมีดมากที่สุด ซึ่งมีดถือเป็นอาวุธที่หาได้ง่ายโดยอาจจะมิได้มีเจตนาฆ่า เมื่อศึกษาในกรณีที่มีการใช้กำลังประทุษร้ายและการข่มขู่หรือกักขัง การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

หน่วยงานนี้ยิวผู้เสียหายพบว่าจากคำพิพากษาศาลฎีกา 317 คำพิพากษา มีการใช้กำลังประทุษร้ายรวมทั้งหมด 88 คำพิพากษา คิดเป็นร้อยละ 28 ชมชู้หรือกักขังหน่วงเหนี่ยวมีทั้งหมด 78 คำพิพากษา คิดเป็นร้อยละ 25 ไม่มีการระบุ มีทั้งหมด 151 คำพิพากษาคิดเป็นร้อยละ 47 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของบาดแผลแล้วพบว่า ในคดีข่มขืนกระทำชำเราพบบาดแผลอยู่ในบริเวณลำตัว แขนและมือ และใบหน้ามากกว่ากลุ่มคดีอื่น ส่วนกลุ่มคดีอื่นอาจารย์จะพบบาดแผลบริเวณลำตัว ใบหน้าและขาและเท้ามากกว่าบริเวณอื่น ส่วนในกลุ่มคดีเกี่ยวกับการค้าประเวณีและสื่อลามกเราพบบาดแผลใน ตัวผู้เสียหายน้อยมากและบาดแผลที่พบส่วนใหญ่ไม่อยู่ในตำแหน่งสำคัญหรือเป็นอันตรายแก่ชีวิต

ดังนั้นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถบ่งบอกถึงเจตนาของผู้กระทำความผิดและสามารถช่วยในการตัดสินมีความยุติธรรมแก่โจทก์และจำเลย ในงานวิจัยนี้ยังเป็นการช่วยส่งเสริมให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องของตระหนักและให้ความสำคัญกับพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้นด้วย

### ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

ควรศึกษาถึงกลุ่มคดีความผิดประเภทอื่น ๆ รวมถึงกลุ่มพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในสาขาอื่น ๆ เนื่องจากในกระบวนการยุติธรรมไม่ได้อาศัยหลักฐานทางนิติเวชเท่านั้น

### เอกสารอ้างอิง

ยุทธไพศาล ฉัตรชวินพร. (2553) การวิเคราะห์คำพิพากษาในคดีอาชญากรรมที่มีการใช้หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ คดีระหว่างปี พ.ศ. 2540 ถึง 2549. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

บุญศักดิ์ หาญเทอดสิทธิ์. (2557) “การรับฟังและการชั่งน้ำหนักพยานหลักฐานทางการแพทย์ในคดีข่มขืนกระทำชำเรา.”วารสารกระบวนการยุติธรรม. ปีที่ 7 เล่มที่ 3 หน้า 55-82

ดวงฤทัย อุตคุด. (2558) พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคำพิพากษาศาลฎีกาคดีอาชญากรรมระหว่างปีพ.ศ. 2550 ถึง 2558. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร

ระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่ง คำร้อง และคำวินิจฉัยศาลฎีกาเข้าถึงเมื่อ 31 มีนาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <http://deka.supremecourt.or.th/>

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ), #ข่มขืนต้องประหาร: ข้อสังเกตบางประการ, เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2563, เข้าถึงได้จาก <https://tdri.or.th/2014/07/rape-and-execute/>

Joseph L. Peterson, Matthew J. Hickman, Kevin J. Strom, and Donald J. Johnson. (2013) "Effect of Forensic Evidence on Criminal Justice Case Processing", Journal of Forensic Science, Vol. 58, S78-90.

White John H., Lester David ; Gentile Matthew ,Rosenbleeth Juliana (2011). "The utilization of forensic science and criminal profiling for capturing serial killers" Forensic Science International Vol. 209(1-3), 160-165.

Deborah Baskin and Ira Sommers. "The influence of forensic evidence on the case outcomes of homicide incidents," Journal of Criminal Justice 38, (2010):1141–1149.

Bureau of Justice Statistics. NEARLY 3.4 MILLION VIOLENT CRIMES PER YEAR WENT UNREPORTED TO POLICE FROM 2006 TO 2010. เข้าถึงเมื่อ 10 มีนาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://www.bjs.gov/content/pub/press/vnpr0610pr.cfm>



# ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชากลีบดอกบัวและชาเกสรดอกบัวจากจังหวัดสุพรรณบุรี

Antioxidant capacity of lotus petal and lotus staminal tea from Suphanburi province

ชัชวรินทร์ เพชรเลิศ<sup>1,2</sup> และ นวติดา กาจุม<sup>1</sup>  
Chatchawin Petchlert<sup>1,2</sup> and Nawatida Kajum<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันเครื่องดื่มชาได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและมีการศึกษาเกี่ยวกับชาอย่างแพร่หลาย แต่ชาที่สนใจศึกษาในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นชาสมุนไพร ได้แก่ ชากลีบดอกบัว และชาเกสรดอกบัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมในชาดอกบัวหลวง (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) จากส่วนที่เป็นกลีบดอกและเกสรตัวผู้เทียบกับชาเขียว (*Camellia sinensis*) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชาเกสรดอกบัวมีปริมาณฟีนอลรวมสูงที่สุด ( $237.67 \pm 0.01$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัม) ซึ่งมากกว่าชาเขียว ( $212.11 \pm 0.01$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัม) และชากลีบดอกบัว ( $93.54 \pm 0.05$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัม) นอกจากนี้ยังศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของชากลีบดอกบัวและชาเกสรดอกบัวเปรียบเทียบกับชาเขียวที่มีข้อมูลมากพอสมควรแล้วด้วยวิธี DPPH FRAP และ ABTS นอกจากนี้ยังหาปริมาณฟีนอลรวมด้วย ผลปรากฏว่าชาเขียวมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH ดีที่สุด ( $IC_{50} = 0.0245 \pm 0.009$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ถัดมาคือ ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว ( $IC_{50} = 0.0499 \pm 0.01$  และ  $0.4295 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) สำหรับ FRAP assay พบว่าชาเขียวมีค่า FRAP value สูงสุด ( $85.80$  มิลลิกรัมเฟอรรัสซัลเฟต/มิลลิลิตร) รองลงมาคือ ชาเกสรดอกบัว ( $37.42$  มิลลิกรัมเฟอรรัสซัลเฟต/มิลลิลิตร) และชากลีบดอกบัว ( $25.22$  มิลลิกรัมเฟอรรัสซัลเฟต/มิลลิลิตร) ตามลำดับ และสำหรับผลของ ABTS ซึ่งแสดงเป็นค่า Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) จะเห็นได้ว่าชาเขียวมีความสามารถในการฟอกจางสีอนุมูล ABTS<sup>•+</sup> สูงที่สุดโดยมีค่า TEAC เท่ากับ  $0.09 \pm 0.009$  มิลลิกรัม Trolox ต่อมิลลิลิตร รองลงมา คือ ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว โดยมีค่า TEAC เท่ากับ  $0.04 \pm 0.008$  และ  $0.02 \pm 0.01$  มิลลิกรัม Trolox ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าชาเกสรและชากลีบดอกบัวมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ แม้ว่าจะมีฤทธิ์น้อยกว่าชาเขียวก็ตาม

**คำสำคัญ :** ชากลีบดอกบัว ชาเกสรดอกบัว ชาเขียว ปริมาณฟีนอลรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

<sup>1</sup> ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131, Thailand.

<sup>2</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Faculty of Science, Burapha University, Chonburi Province 20131, Thailand

## Abstract

Currently, tea is a kind of popular beverage and extensively consumed worldwide. The target tea in this research is an herbal tea, particularly petal and staminal lotus teas. The purpose of this study was to quantify a total phenolic content (TPC) in lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) tea compared with green tea (*Camellia sinensis*) that there are numerous data about its biological activity. According to the result, staminal lotus tea had the highest amount of TPC ( $237.67 \pm 0.01$  mgGAE/ml) which was comparable to that of green tea ( $212.11 \pm 0.01$  mg mgGAE/ml) but was a strongly different amount in petal lotus tea ( $93.54 \pm 0.05$  mgGAE/ml). Furthermore, their antioxidant capacities were also determined by DPPH, FRAP and ABTS assays. The results showed that green tea exhibited the highest DPPH scavenging activity ( $IC_{50} = 0.0245 \pm 0.009$  mg/ml) whereas staminal lotus tea ( $IC_{50} = 0.0499 \pm 0.01$  mg/ml) and petal lotus tea ( $IC_{50} = 0.4295 \pm 0.02$  mg/ml) showed the lower DPPH antioxidant capacity. From FRAP assay, it was found that green tea also had the highest FRAP value ( $85.80$  mg  $FeSO_4$ /ml) followed by staminal lotus tea ( $37.42$  mg  $FeSO_4$ /ml) and petal lotus tea ( $25.22$  mg  $FeSO_4$ /ml), respectively. According to ABTS assay, it was found that green tea also exerted the highest decolorize ABTS<sup>++</sup> capacity with the highest TEAC value of  $0.09 \pm 0.009$  mg Trolox/ml followed by staminal lotus tea and petal lotus (TEAC =  $0.04 \pm 0.008$  and  $0.02 \pm 0.01$  mg Trolox/ml, respectively). All results from this research showed that petal and staminal lotus tea had antioxidant capacities although lower than that of green tea.

**Keyword:** antioxidant capacity, green tea, petal lotus tea, staminal lotus tea, total phenolic content

## บทนำ

การดื่มชาได้รับความนิยมมาอย่างยาวนานในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น และประเทศอังกฤษ เพราะใบชาเป็นแหล่งที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ (Balentine et al., 1997) ชาจึงเป็นเครื่องดื่มยอดนิยมและมีแนวโน้มการบริโภคที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในบรรดาชาทั้งหมด ชาดำมีปริมาณการผลิตและบริโภคมามากที่สุด (คิดเป็น 78% ของชาทั้งหมด) นิยมบริโภคในประเทศแถบตะวันตก อินเดีย ศรีลังกา แอฟริกา และอินโดนีเซีย การผลิตชาเขียวคิดเป็น 20% ของชาทั้งหมด และนิยมบริโภคกันมากในประเทศญี่ปุ่น และจีน ส่วนอีก 2% ที่เหลือเป็นชาอู่หลงซึ่งผลิตและบริโภคกันมากในจีนตอนใต้และไต้หวัน (Food and Agriculture Organization; FAO, 2008) การดื่มชาจึงกลายเป็นวัฒนธรรมที่ได้รับการสืบทอดมาจนถึงปัจจุบัน มีการนำชามาแปรรูปหลากหลายรูปแบบ เช่น การหมัก การอบ การตากแห้ง การคั่วเพื่อให้ได้กลิ่นหอม วิธีการการต้มน้ำชาและการชิมชาก็เป็นสิ่งสำคัญในการดื่มชาและถือเป็นศิลปะอย่างหนึ่ง จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าในชาเขียวมีสาร epigallocatechin-3-gallate (EGCG) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Shaw, 2001)

สมุนไพรที่ใช้รูปแบบในการบริโภคเช่นเดียวกับชา เรามักจะเรียกว่า “ชาสมุนไพร” ดอกบัวหลวงได้มีการนำมาทำเป็นชาสมุนไพรเพื่อใช้ดื่ม ชาดอกบัวมีรสชาตินุ่ม หอมละมุน มีทั้งที่ทำจากกลีบดอกบัวและเกสรดอกบัว มีรายงานก่อนหน้านี้ว่าในเกสรดอกบัวมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Mukherjee et al., 2009) และในกลีบดอกบัวอุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Chaowanalikhit, 2011) ชาดอกบัวหลวงเป็นชาสมุนไพรที่ยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมนักในประเทศไทย ซึ่งในประเทศไทยมีการปลูกน้าบัว

เป็นจำนวนมากจึงมีการนำดอกบัวหลวงมาทำเป็นชาสมุนไพรเพื่อเพิ่มมูลค่า ในการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจฤทธิ์ ในการต้านอนุมูลอิสระของชากลีบดอกและชาเกสรดอกบัวเปรียบเทียบกับชาเขียว ศึกษาด้วยวิธี DPPH FRAP และ ABTS เพื่อดูว่าชาดอกบัวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าชาเขียวหรือไม่ และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม ที่มีในชาเกสรดอกบัวและชากลีบดอกบัวเทียบกับปริมาณฟีนอลรวมในชาเขียว เนื่องจากชาเขียวมีผลการวิจัย มากมายเกี่ยวกับสารสำคัญที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ผลที่ได้จากการทดลองอาจนำไปเป็นข้อมูลโดย มีการส่งเสริมให้มีการดื่มชาดอกบัวมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มของผู้รักการดื่มชา รักสุขภาพ อาจจะนำไปใช้เป็น อาหารเพื่อสุขภาพ หรืออาจเป็นช่องทางการค้าเพื่อที่นำไปเพิ่มมูลค่าทางธุรกิจต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชากลีบดอกและชาเกสรดอกบัวจากจังหวัดสุพรรณบุรี เปรียบเทียบกับชาเขียว โดยศึกษาด้วยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS เพื่อดูว่าชาดอกบัวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เทียบเท่าชาเขียวหรือไม่ รวมทั้งหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมที่มีในชาเกสรดอกบัวและชากลีบดอกบัวเทียบกับ ปริมาณฟีนอลรวมในชาเขียวเพื่อดูว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลมีมากน้อยเพียงใด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ชากลีบดอกบัวหลวงและชาเกสรดอกบัวหลวง ชื้อมาจากผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ของตำบลบางเลน อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ส่วนชาเขียวซื้อมาจาก ห้างสรรพสินค้าในจังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2558

### 2. การเตรียมตัวอย่างและการสกัด

นำตัวอย่างชากลีบดอกบัวหลวง ชาเกสรดอกบัวหลวง และชาเขียว มาบดด้วยเครื่องบด แล้วนำตัวอย่างชา แต่ละชนิดมาสกัดโดยต้มในน้ำร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส (อัตราส่วนชา 0.5 กรัม ต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 รอให้เย็นแล้วนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

### 3. การทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH

การทดสอบนี้นำมาจากวิธีของ Petchlert et al. (2014) โดยเตรียมสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ในเมทานอล ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ จากนั้นปิเปตเมทานอล 50 ไมโครลิตร และ สารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอด A ของไมโครเพลท ส่วนหลอด B เติมสารสกัดตัวอย่างที่ ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และหลอด C เติมสารสกัด ตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง แบบไมโครเพลท (VERSAMAX, ประเทศแคนาดา) โดยใช้วิตามิน C เป็นสารมาตรฐาน ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ การกำจัดอนุมูล DPPH จากสมการ (1)

% การกำจัดอนุมูล DPPH =  $[A-(B-C)]/A \times 100$  (1)

โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุมที่ประกอบด้วยเมทานอล และสารละลาย DPPH

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมที่ประกอบด้วยสารสกัดตัวอย่างและสารละลาย DPPH

C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยสารสกัดตัวอย่างและน้ำกลั่น

#### 4. การวัดฤทธิ์ความสามารถในการรีดิวซ์

ดัดแปลงมาจากวิธีของ Thephinlup and Suwansom (2012) ทำการเตรียมสารละลายเอพาร์เอพี (FRAP) โดยนำสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท พีเอช 3.6 มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) และสารละลายเฟอร์ริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรท ในอัตราส่วน 10:1:1 นำสารสกัดตัวอย่างแต่ละส่วนมาปริมาตร 300 ไมโครลิตร ผสมในสารละลายเอพาร์เอพีปริมาตร 2,700 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที จากนั้น บีเปิดใส่ในไมโครเพลทจำนวน 200 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 596 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารตัวอย่าง มาแทนค่าในสมการ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต แสดงผลเป็นค่า FRAP value มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมเฟอร์รัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตรของสารสกัด

#### 5. การทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS<sup>•+</sup>

ดัดแปลงจากวิธีของ Tantipiboonwong and Jaikhiandee (2012) โดยเตรียมสารละลาย 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt (ABTS) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ที่จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุบวก ด้วยการเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต แล้วนำมาเจือจางด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.4 ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.7 แล้วบีเปิดสารสกัดตัวอย่างมา 10 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> ลงไป 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 6 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ โดยแสดงค่าเป็น Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC)

#### 6. การทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม

ทำโดยใช้วิธีของ Leamklang et al. (2015) โดยเริ่มจากการทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) โดยเตรียมสารละลายกรดแกลลิกในเมทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 0.0125, 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดสอบโดยเริ่มจากบีเปิดน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายกรดแกลลิก หรือส่วนสกัดตัวอย่าง ปริมาตร 125 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม 7% โซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นบีเปิดสารละลายใส่ในหลุมของไมโครเพลท ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบไมโครเพลท แสดงปริมาณสารฟีนอลรวมในรูป มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (gallic acid equivalent; GAE) ต่อมิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง

#### 7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง ที่เป็นอิสระต่อกัน แต่ละครั้งทำ 3 ซ้ำ ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงของชุดข้อมูลดูจากค่า R<sup>2</sup> (linear regression)

ส่วนความแตกต่างของชุดข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วย *t*-test และ Duncan multiple ranged test ที่ *P*-value < 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 18

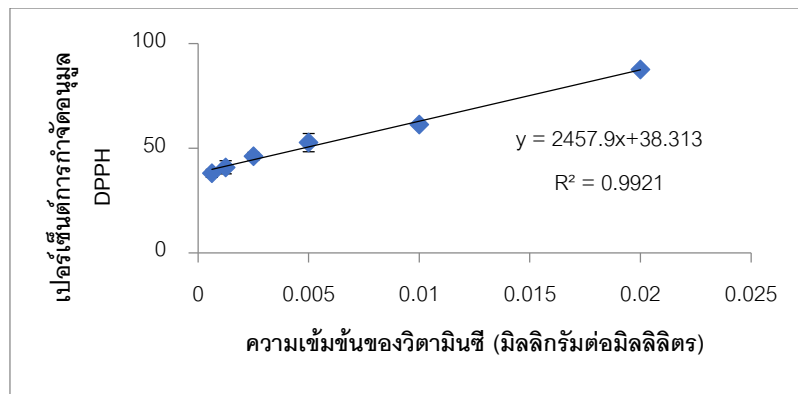
## ผลและวิจารณ์

### การเตรียมตัวอย่างและการสกัด

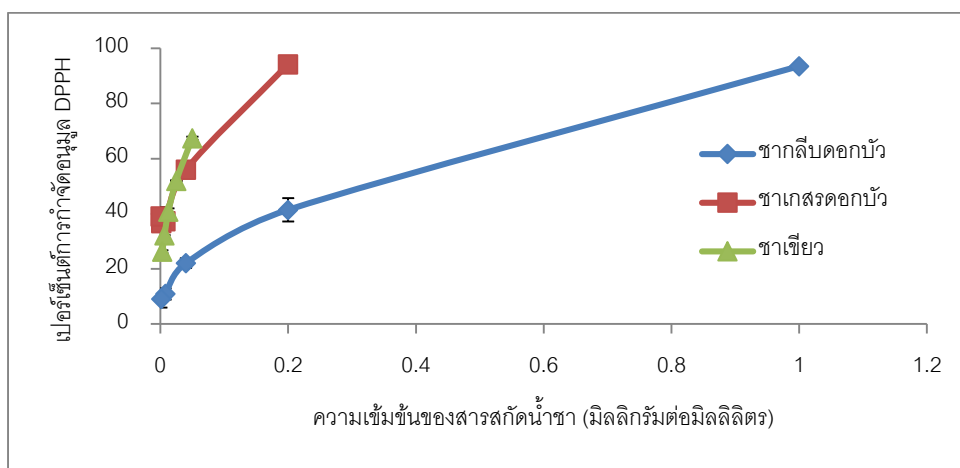
จากการนำชาไปสกัดด้วยน้ำร้อน ทำให้ได้สารสกัดในรูปของน้ำชาเพื่อเลียนแบบเวลาที่บริโภคจริง โดยชาเขียวมีลักษณะเป็นน้ำ มีสีเขียวเข้ม ส่วนสารสกัดของชาเกสรดอกบัวจะมีลักษณะเป็นน้ำ มีสีน้ำตาลเข้ม และสารสกัดของชากลีบดอกบัวก็มีลักษณะเป็นน้ำ มีสีน้ำตาลอ่อน ชาแต่ละประเภทมีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไปตามกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลในชา เนื่องจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีในใบชา

### การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH

การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ของชาเขียว และชาดอกบัวจากส่วนที่เป็นกลีบดอกและเกสร นำสารสกัดเจือจางด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ชาเขียว ชาเกสรดอกบัว ชากลีบดอกบัว และวิตามินซีมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด (ภาพที่ 1 และ 2) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ชาเขียวมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลสูงที่สุดในชาทั้ง 3 ชนิด โดยที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว อย่างไรก็ตาม ชาเขียวก็ยังมีฤทธิ์น้อยกว่าวิตามินซี (ภาพที่ 1) จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า วิตามินซีมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH มากที่สุด โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $0.0051 \pm 0.00$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารสกัด (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) รองลงมา คือ ชาเขียว มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $0.0245 \pm 0.00$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารสกัด ชาเกสรดอกบัวมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $0.0499 \pm 0.01$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารสกัด และชากลีบดอกบัวมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH น้อยที่สุด โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $0.4295 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารสกัด (ตารางที่ 1) สำหรับการทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ปรากฏว่าชาเขียวมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลสูงที่สุดในชาทั้ง 3 ชนิด เมื่อเทียบกับชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว ซึ่งน้อยที่สุดในชา 3 ชนิดที่ได้นำมาศึกษา จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะใช้ชาเขียวที่ความเข้มข้นน้อยกว่าชาเกสรดอกบัวและชากลีบดอกบัวก็ยังสามารถในการกำจัดอนุมูลได้ถึง  $69.41 \pm 1.47\%$  และแม้ว่าชาเขียวมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลสูงที่สุดในชาทั้ง 3 ชนิด แต่ก็ยังมีฤทธิ์น้อยกว่าวิตามินซีซึ่งมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH ได้มากที่สุด ก่อนหน้านี้นี้มีการศึกษาคาเทชิน (catechin) ที่พบในชาเขียวว่ามีความสามารถในการจับอนุมูลจำพวก reactive oxygen species (ROS) เช่น superoxide radical, singlet oxygen, hydroxyl radical, peroxy radical, nitric oxide, nitrogen dioxide และ peroxy nitrite ซึ่งจะช่วยลดการถูกทำลายในเนื้อเยื่อไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิกในเซลล์ (Erba et al., 2005) และมีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากส่วนต่างๆ ของบัวหลวงด้วยวิธี DPPH โดยพบว่า กลีบบัวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดโดยมีค่า  $IC_{50}$  ต่ำสุดคือ 16.32 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ ก้านดอก และรังไข่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.98 และ 38.23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Wongklang et al., 2014)



ภาพที่ 1 เปอร์เซนต์การกำจัดอนุมูล DPPH ของวิตามินซี



ภาพที่ 2 เปอร์เซนต์การกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดน้ำชาต่างๆ

ตารางที่ 1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของชาเขียว ชาเกสรดอกบัว ชากลีบดอกบัว และวิตามินซี

ตัวอย่างสารสกัด	IC <sub>50</sub> (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของสารสกัด)	FRAP value (มิลลิกรัมเฟอร์ริซัลเฟตต่อ มิลลิลิตรของสารสกัด)	TEAC* (ต่อมิลลิกรัมโทรลิกซ์) มิลลิลิตรของสารสกัด	TPC# (มิลลิกรัมสมมูลของกรด แกลลิกต่อมิลลิลิตรของสาร สกัด)
ชาเขียว	0.0245±0.009 <sup>b</sup>	16.08 <sup>c</sup>	0.00±0.099 <sup>c</sup>	0.0±212.111 <sup>b</sup>
ชาเกสรดอกบัว	0.0499±0.010 <sup>c</sup>	5.60 <sup>b</sup>	0.0±0.0408 <sup>b</sup>	0.0±237.671 <sup>c</sup>
ชากลีบดอกบัว	0.4295±0.020 <sup>d</sup>	2.18 <sup>a</sup>	0.01±0.02 <sup>a</sup>	0.0±93.545 <sup>a</sup>
วิตามินซี	0.0051±0.004 <sup>a</sup>	-	0.01±0.05 <sup>b</sup>	-

หมายเหตุ : \*TEAC = Trolox Equivalent Antioxidant Capacity; #TPC = Total Phenolic Content

<sup>a, b, c, d</sup> แสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละคอลัมน์ (P<0.05)

#### การวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์ของชาเขียว ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นการอาศัยคุณสมบัติของการเป็นตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยา redox-linked colorimetric

method โดยที่ ferric-tripyridyltriazine ( $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ) complex จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ทำให้เกิด  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ complex (Thepthong et al., 2012) ผลการศึกษาพบว่า ชาเขียวมีค่า FRAP value สูงสุด (16.08 มิลลิกรัมเฟอร์ริซัลเฟตต่อมิลลิลิตรของสารสกัด) รองลงมาคือ ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว โดยมีค่า FRAP value เท่ากับ 5.60 มิลลิกรัมเฟอร์ริซัลเฟตต่อมิลลิลิตรของสารสกัดและ 2.18 มิลลิกรัมเฟอร์ริซัลเฟตต่อมิลลิลิตรของสารสกัด ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งความสามารถในการรีดิวซ์ของชาเขียว ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานของเฟอร์ริซัลเฟต สมการเส้นตรงที่ได้คือ  $y = 4.5486x + 0.1028$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9999 เนื่องจากชาเขียว ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว มีสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สารชนิดนี้มีวงแหวนไพแรน (pyran ring) อยู่ตรงกลางสามารถจับกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายจึงทำหน้าที่ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Graham, 1992)

#### **วิธีการทดสอบการฟอกสีอนุมูลเอบีทีเอส (ABTS free radical-scavenging activity)**

จากการวัดความสามารถในการฟอกจางสีอนุมูล  $\text{ABTS}^{\cdot+}$  เป็นการทดสอบโดย 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt (ABTS) จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุบวก ( $\text{ABTS}^{\cdot+}$ ) ด้วยการเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นไม่มีสี แสดงผลเป็นค่า Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ที่ความเข้มข้น 0.0125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า ชาเขียวมีค่า TEAC มากที่สุดที่  $0.09 \pm 0.009$  มิลลิกรัมโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตรของสารสกัด รองลงมาคือ ชาเกสรดอกบัว และชากลีบดอกบัว มีค่า TEAC เท่ากับ  $0.04 \pm 0.008$  มิลลิกรัมโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตรของสารสกัด และ  $0.02 \pm 0.01$  มิลลิกรัมโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตรของสารสกัด ตามลำดับ วิตามินซีที่ความเข้มข้น 0.00625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า TEAC เท่ากับ  $0.05 \pm 0.01$  มิลลิกรัมโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตรของสารสกัด (ตารางที่ 1) ค่า TEAC คำนวณได้จากสมการเส้นตรงที่ได้ คือ  $y = -60.101x + 0.664$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9845 สารสกัดน้ำชาเขียว ชาเกสรดอกบัวและชากลีบดอกบัวยังให้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่น้อยกว่าวิตามินซีที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในพืชแต่ละชนิดมีชนิดและปริมาณสารที่แตกต่างกัน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารที่ออกฤทธิ์ด้วยเช่นกัน (Mukhtar & Ahmad, 1999)

#### **การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม**

จากการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของชาเขียว และชาดอกบัวจากส่วนที่เป็นกลีบดอกและเกสรตัวผู้ (ตารางที่ 1) โดยใช้ความเข้มข้นที่ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นการทำให้ปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน molybdenum blue ที่มีสีน้ำเงิน พบว่าชาเกสรดอกบัวมีปริมาณฟีนอลรวมสูงที่สุดเท่ากับ  $237.67 \pm 0.01$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของสารสกัด มากกว่าชาเขียวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมเท่ากับ  $212.11 \pm 0.01$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของสารสกัด และชากลีบดอกบัวมีปริมาณฟีนอลรวมเพียง  $93.54 \pm 0.05$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของสารสกัด การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของชาเขียว ชาเกสรดอกบัวและชากลีบดอกบัว คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก สมการเส้นตรงที่ได้ คือ  $y = 1.7255x + 0.0754$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9985 จากการศึกษาของ Pattalee (2008) พบว่า พืชที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมักจะมีสารประกอบฟีนอล ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีที่พบในชาเขียวพบสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ฟลาโวนอยด์ที่พบมากในยอดใบชาสดและชาเขียวเป็นกลุ่มฟลาโวน

นอล หรือฟลาโวน-3-อล (flavanols หรือ flavan-3-ols) ฟลาโวนอลในชาที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่าคาเทชิน (catechins) ซึ่งมีประมาณ 75% ของโพลีฟีนอลทั้งหมด (Zhen et al., 2002) คาเทชินเป็นสารไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี ให้รสชาติฝาด (Balentine et al., 1997) ในดอกและเกสรเพศผู้ของบัวหลวง พบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ซึ่งส่วนมากให้ผลการต้านอนุมูลอิสระ คือ kaempferol ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอล (flavonols) ที่เกิดจากสารประกอบฟลาโวน (flavones) มีการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งที่ 3 (Jung et al., 2003)

## สรุป

หลังจากทำการทดลองสารสกัดน้ำชาเขียว ชาเกสรดอกบัว และชากลิบดอกบัว เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะเห็นได้ว่า ชาเขียวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์ และความสามารถในการฟอกจางสีอนุมูล ABTS<sup>•+</sup> สูงที่สุด ตามมาด้วยชาเกสรดอกบัว และชากลิบดอกบัว แต่อย่างไรก็ตาม ชาเขียวยังมีฤทธิ์น้อยกว่าวิตามินซี ทั้งนี้เมื่อทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม พบว่าชาเกสรดอกบัวมีมากกว่าชาเขียวและชากลิบดอกบัว ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำชาเกสรดอกบัวและชากลิบบัวจากจังหวัดสุพรรณบุรีมาใช้ในเชิงอาหารหรือเครื่องดื่ມเพื่อสุขภาพต่อไป

## คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาชีวเคมี และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เงินสนับสนุนการทำวิจัยเรื่องนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่หน่วยบริการนวัตกรรมการทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ

## เอกสารอ้างอิง

- Balentine, D.A., Wiseman, S.A., & Bouwens, L.C.M. (1997). The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37, 693–704.
- Chaowanalikhit, A.) 2011 .(Extraction and determination of anthocyanin.*Srinakharinwirot University Journal of Science and Technology*, 3)6(, 26-36.
- Erba, D., Riso, P., Bordoni, A., Foti, P., Biagim, P.L., & Testolin, G. (2005). Effectiveness of moderate green tea consumption on antioxidative status and plasma lipid profile in humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16, 144–149.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Internationally coordinated action for the promotion of tea consumption*. Committee on Commodity Problems-Intergovernmental Group on Tea, 18th Session. Hangzhou, China, 14–16 May.
- Graham, H.N. (1992). Green tea composition and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine*, 21, 334-350.
- Jung, H.A., Kim, J.E., Chung, H.Y., & Choi, J.S. (2003). Antioxidant principle of *Nelumbo nucifera* stamens. *Archives of Pharmacal Research*, 26(4), 279-285.



- Leamklang, W., Srisook, E., & Petchlert, C. (2015). Total phenolic content and antioxidant activities from *Barrington augusta* Kurz. leaf extract. In *Proceedings of the 7th Biennial Meeting of Society for Free Radical Research – Asia*. (pp. 42-34). Thailand : Society for Free Radical Research – Thai.
- Mukherjee, P.K., Mukherjee, D., Maji, A.K., Rai, S., & Heinrich, M. (2009). The sacred lotus (*Nelumbo nucifera*) - phytochemical and therapeutic profile. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 61(4), 407-422.
- Mukhtar, H., & Ahmad, N. (1999). Green tea in chemoprevention of cancer. *Toxicology Sciences*, 52(2), 111-117.
- Pattalee, S.) 2008(. Study of the quality of fermented beverage from maload fruit. M.Ed. (Science Education), Srinakharinwirot University.
- Petchlert, C., Romlee, S., & Kleansom, P. (2014). Antioxidant activity of some commercial spice powders (curry and pa-lo powders) from local markets at Chon Buri province. *Burapha Science Journal*, 19, 97-103.
- Shaw, J.C. (2001). Green tea polyphenols may be useful in the treatment of androgen-mediated skin disorders. *Archives of Dermatology*, 137(5), 663-664.
- Tantipiboonwong, P., & Jaikhiandee, S.) 2012). *Techniques for determination of free radicals, antioxidants and oxidative stress*. (pp. 202-4 .(Chiang Mai : Nopburi Publishing.
- Thephinlup, C., & Suwansom, N.) 2012). *Techniques for determination of free radicals, antioxidants and oxidative stress* .pp. 27-29(. Chiang Mai : Nopburi Publishing.
- Thepthong, P., Chanthongon, J., Prachuabjinda, O., Ruangnhoo, S., & Ittharat, A. (2012). Comparison of antioxidant activity and phenolic content of ethanolic extracts of black pepper and long pepper. In *Proceedings of the First National Conference of Graduate Studies* (p 60). Pathumthani : Thammasat University.
- Wongklang, S., Steinrut, L., & Itharat, A. (2014). Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* Gaerth. extract. *Journal of Agricultural Science*, 45(2), 673-676.
- Zhen, Y., Chen, Z., Chen, S., & Chen, M. (2002). *Tea: Bioactivity and Therapeutic Potential*. London : Tayler & Francis Inc.

# คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ลดความชื้นและเก็บรักษาในระบบที่ออกแบบด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

## Rice Seed Quality after Drying and Storage in the System Designed Using Computational Fluid Dynamics

จันทนา ทองสุก<sup>1</sup>, วีรชัย ชัยวรพฤกษ์<sup>2</sup>, ธาณี ศรีวงศ์ชัย<sup>1</sup>, สวิตา สุวรรณรัตน์<sup>3</sup>, ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล<sup>1</sup>

Chantana Thongsuk<sup>1</sup>, Weerachai Chaiworapuek<sup>2</sup>, Tanee Sreewongchai<sup>1</sup>, Sawita Suwannarat<sup>3</sup> and Damrongvudhi Onwimol<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

ราคาข้าวเปลือกตกต่ำเป็นปัญหาเรื้อรังของประเทศไทย เกษตรกรจึงหันมาผลิตข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงในระบบเกษตรอินทรีย์เพื่อเพิ่มอำนาจต่อรองทางการตลาด อย่างไรก็ตามข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์มักเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่มีความผันผวนซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ออกแบบตามหลักพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics – CFD) สร้างจากวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นเพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ไว้จนถึงฤดูปลูกถัดไป การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวทับทิมชุมแพ อาทิ ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ เชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์ แมลงในโรงเก็บ และสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้นและเก็บรักษาด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นใน 7 ช่วงเวลาคือ ก่อนลดความชื้น ระหว่างลดความชื้น หลังลดความชื้น และการเก็บรักษาที่ 2, 4, 6 และ 8 เดือน เปรียบเทียบกับการปฏิบัติของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่าความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้นและเก็บรักษาด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสูงกว่าวิธีการของเกษตรกร แต่ความชื้นของเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่น่าสนใจคือระบบที่พัฒนาขึ้นพบแมลงเมล็ดในโรงเก็บเพียง 1 ชนิดแต่วิธีการของเกษตรกรพบ 4 ชนิด อย่างไรก็ตามหลังผ่านกระบวนการ (ก่อนการเก็บรักษา) ยังไม่พบความแตกต่างของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์และสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ระหว่างทั้ง 2 วิธี

**คำสำคัญ :** ข้าว, การลดความชื้น, การเก็บรักษา, คุณภาพเมล็ดพันธุ์, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

### Abstract

Paddy price falls is a chronic problem in Thailand. Therefore, farmers produce high-nutritious rice in an organic farming system in order to increase the bargaining power in the market. However, rice in the organic system often faces to fluctuated environment condition which affect the quality of rice seeds. The

<sup>1</sup> ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>3</sup> ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>3</sup> Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

researchers have developed a drying and storage system that designed according to the Computational Fluid Dynamics (CFD), fabricated from local materials for maintaining rice seeds quality until next growing season. The objective of this research was to test seed quality of Tubtim Chumphae rice. Seed quality, i.e. seed moisture content, seed germination, seed borne fungi, stored insect and seed morphology was investigated at 7 periods namely; before drying, during drying, after drying, storage at 2, 4, 6 and 8 months. The developed system was compared with the conventional method. The results showed that seed germination and seed vigor after drying and storage with the developed system were higher than the conventional method but seed moisture content was not different in statistics between them. Interestingly, in developed system, one species of stored insect was found but there were found four species in the conventional method. However, after processing (before storage), there was no difference of seed borne fungi and seed coat morphology between the two methods.

**Keywords** : rice, drying, storage, seed quality, computational fluid dynamics

## บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีบทบาทสำคัญทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก มูลค่ากว่าแสนล้านบาทต่อปี (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2559) แต่ชาวนาส่วนใหญ่มักเป็นผู้มีรายได้น้อยและประสบปัญหาเหลื่อมล้ำด้านการเข้าถึงโอกาสในหลาย ๆ ด้านสูงกว่าภาคส่วนอื่น ๆ ของสังคม (สถาบันอนาคตไทยศึกษา, 2557) รายได้ของชาวนาสวนทางกับมูลค่าการส่งออกข้าวสาร โดยชาวนาไทยมีกำไรสุทธิที่ 1,555.97 บาทต่อไร่ต่อฤดูปลูก (ศูนย์ศึกษาการค้ำระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2557) ชาวนาจึงหันมาผลิตข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงในระบบเกษตรอินทรีย์เพื่อยกระดับราคา แต่ปัญหาสำคัญคือการถูกบังคับขายผลิตผลช่วงราคาตกต่ำเนื่องจากไม่มีเทคโนโลยีการลดความชื้นและเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม

การลดความชื้นข้าวเปลือกจนถึงระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา (ประมาณ 12 – 15 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก) เป็นกระบวนการที่จะช่วยชะลอการออกสู่ตลาด อีกนัยหนึ่งคือจะเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มอำนาจการต่อรองทางการตลาดของชาวนาที่ปลูกข้าวที่มีคุณสมบัติทางโภชนาการเหล่านี้ได้ ข้าวเปลือกสดมักมีความชื้นสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จำเป็นที่จะต้องลดความชื้นลงอย่างเร่งด่วนก่อนที่คุณภาพของข้าวและเมล็ดพันธุ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Whitehouse *et al.*, 2015) กลุ่มเกษตรกรที่ผลิตข้าวอินทรีย์จะลดความชื้นข้าวเปลือกสดหลังการเก็บเกี่ยวจากนาที่ลานตากโดยอาศัยแสงอาทิตย์ (natural drying) เนื่องจากปริมาณข้าวที่เก็บเกี่ยวได้มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการผลิตข้าวเชิงอุตสาหกรรม รวมทั้งยังเป็นพันธุ์เฉพาะ ไม่เหมาะสำหรับการนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่อาจทำให้ข้าวสูญเสียคุณภาพความเป็นเมล็ดพันธุ์ คุณภาพการสี และคุณสมบัติทางโภชนาการ รวมทั้งอาจเกิดการปะปนพันธุ์ในระหว่างการดำเนินการได้ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560) แต่การตากลานจะต้องมีการกลับกองบ่อย ๆ เพื่อให้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่และแรงงาน รวมทั้งยังมีความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่แน่นอนและการปนเปื้อนในระหว่างการดำเนินงาน คณะผู้วิจัยจึงได้ร่วมกันพัฒนาระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ประหยัดแต่มีประสิทธิภาพที่ออกแบบตามหลักพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics – CFD) แต่สร้างจากวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยจะถ่ายทอดองค์

ความรู้และนวัตกรรมที่ได้ให้กับกลุ่มชาวนาที่ปลูกข้าวที่มีคุณสมบัติทางโภชนาการหรือข้าวนาปีในพื้นที่น้ำฝน โดย ออกแบบระบบเป็นระบบขนาดเล็กเหมาะสมกับชาวนา และ/หรือกลุ่มชาวนา ที่ผลิตข้าวเปลือกในปริมาณน้อย

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นและการเก็บรักษา ข้าวที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อยืนยันว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถคงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ได้จนถึงฤดูปลูกถัดไป อันจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการลดความชื้นและการเก็บรักษา ช่วยเพิ่มราคาให้กับผลผลิต และรักษาคุณภาพของ เมล็ดพันธุ์เพื่อการปลูกหรือจำหน่ายต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพเชิงสรีรวิทยาและลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโภชนาการสูงที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นและการเก็บรักษาข้าวด้วยระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาข้าวที่ออกแบบตามหลักพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณโรคเมล็ดพันธุ์และแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าวที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว โภชนาการสูงที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นและการเก็บรักษาข้าวด้วยระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาข้าวที่ได้พัฒนาขึ้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในงานทดลองนี้คือพันธุ์ทับทิมชุมแพ ผลิตที่อำเภอหนองจาง จังหวัดอุทัยธานี ภายใต้มาตรฐาน EUGAP (ออร์แกนิกฟาร์ม, 2559) โดยเก็บเกี่ยววันที่ 15 พฤษภาคม 2562 จากนั้นลดความชื้นและเก็บรักษาไว้ในสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน 2 สภาพ ได้แก่ 1) วิธีการของเกษตรกร โดยการตากบนลานและเก็บใส่กระสอบไว้ในยุ้งฉางของเกษตรกร และ 2) การเก็บรักษาในระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาในที่พัฒนาขึ้น

สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์จากทั้ง 2 สภาพ ในช่วงเริ่มต้น ระหว่าง และสิ้นสุดกระบวนการลดความชื้น เพื่อนำไปทดสอบความชื้นของเมล็ดพันธุ์ คุณภาพเชิงสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ ชนิดและปริมาณโรคเมล็ดพันธุ์และแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าวที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวต่อไป

### 2. การทดสอบความชื้นของเมล็ดพันธุ์และคุณภาพเชิงสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์

การทดสอบความชื้นทำได้โดยนำเมล็ดพันธุ์ที่สุ่มได้มาทดสอบความชื้นโดยใช้วิธีวัดความชื้นทางตรง (high temperature constant) (ISTA, 2015) และวิธีวัดความชื้นทางอ้อม (EE-KU)

ประเมินคุณภาพเชิงสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ โดยการทดสอบความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ การทดสอบความงอกทำได้โดยนำเมล็ดพันธุ์ที่สุ่มได้จากเวลาและกระบวนการต่าง ๆ มาดำเนินการทดสอบความงอกตามกฎการทดสอบเมล็ดพันธุ์ของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (ISTA, 2015) ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จะดำเนินการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความเร็วของการแทงรากแรกเกิด โดยเฉพาะแบบ Top of paper ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตรวจนับความเร็วในการแทงราก (2 มิลลิเมตร) ที่ 62 ชั่วโมงหลังการเพาะเมล็ด (Onwimol et al, 2016)

### 3. การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เมล็ดพันธุ์ที่สุ่มได้จะนำไปทำให้แห้งแล้วติดบนเทปนำไฟฟ้าสองหน้าซึ่งอยู่บนสไลด์ ตามกรรมวิธีของ Bozzola and Russell (1999) เคลือบตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคาร์บอนก่อนจะนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Hitachi SU 1500, Japan)

#### 4. การประเมินชนิดและปริมาณโรคเมล็ดพันธุ์และแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าวที่สำคัญ

การตรวจสอบเชื้อราสาเหตุโรค วิเคราะห์ปริมาณเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดต่างที่สำคัญ เช่น *Curvularia lunata* และ *Fusarium moniliforme* เป็นต้น ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ที่สุ่มได้ ด้วยการเลี้ยงบนกระดาษ (blotter method) ตามกรรมวิธีของ Mew and Gonzales (2002) เป็นระยะเวลา 7 วัน

การตรวจสอบแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าว วิเคราะห์ชนิดและจำนวนแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าวที่สำคัญ เช่น *Rhyzopertha dominica* F. และ *Sitophilus oryzae* เป็นต้น

#### 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้ง 6 ลักษณะ (ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ความงอกของเมล็ด ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์ แมลงในโรงเก็บข้าวที่สำคัญและลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์) ระหว่างระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการของเกษตรกรในแต่ละช่วงเวลา (ก่อนลดความชื้น ขณะลดความชื้น และหลังลดความชื้น) โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทั้ง 2 วิธีการที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

## ผลและวิจารณ์

ผลการการศึกษาความชื้นของเมล็ดพันธุ์พบว่าหลังการลดความชื้นด้วยการตากลานมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดพันธุ์น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับขณะลดความชื้นและหลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น (Table 1) เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการลดความชื้นทั้ง 2 ระบบนั้นมีความชื้นต่ำกว่า 14 เปอร์เซนต์จะทำให้ปลอดภัยในการเก็บรักษาเพราะการลดความชื้นข้าวเปลือกจนถึงระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา (Whitehouse *et al.*, 2015)

หลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับขณะลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ดีกว่าหลังการลดความชื้นด้วยการตากลาน (Table 1) ซึ่งหลังการลดความชื้นด้วยการตากลานมีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่ถึง 80 เปอร์เซนต์ จึงสามารถนำไปจำหน่ายได้ เนื่องจาก พรบ.พันธุ์พืช พ.ศ. 2518 และที่แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550 ระบุไว้ว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวต้องมีเปอร์เซ็นต์ความงอกเกินกว่า 80 เปอร์เซนต์

ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสูงกว่าหลังการลดความชื้นด้วยการตากลาน และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการดำเนินการพบว่าเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้นมีความแข็งแรงไม่แตกต่างกันทางสถิติกับก่อนลดความชื้นและขณะลดความชื้นของทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นและการตากลาน (Table 1) ซึ่งความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถอนุมานความงอกกล้าปกติของเมล็ดพันธุ์เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงย่อมมีความงอกสูงตามไปด้วย (ISTA, 2001)

หลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นและหลังการลดความชื้นด้วยการตากลานเปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิดคือ *Alternaria padwickii*, *Aspergillus flavus* และ *Fusarium moniliforme* พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) แต่หลังการลดความชื้นมีแนวโน้มการพบเชื้อสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับไพโรจน์ (2551) ที่รายงานว่ามีปริมาณความชื้นแปรผันตรงกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ยั้งที่ความชื้นในช่วง 13-18 เปอร์เซ็นต์ ที่จะมีโอกาสเกิดเชื้อราได้สูงเนื่องจากเมล็ดมีความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเติบโตของเชื้อรา (Delouche, 1973)

การดำเนินการภายใต้ระบบที่พัฒนาขึ้นพบแมลงเพียงชนิดเดียวคือ *Rhyzopertha dominica* F. แต่การลดความชื้นโดยการตากลานพบแมลง 4 ชนิด คือ *Rhyzopertha dominica* F., *Monomorium pharaonis*, *Oecophylla smaragdina* และ *Sitophilus oryzae* (Table 3) หลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีจำนวนแมลง *Rhyzopertha dominica* F. มากที่สุด ขณะลดความชื้นด้วยการตากลานมีจำนวนแมลง *Monomorium pharaonis* มากที่สุดแต่ไม่มีนัยทางสถิติกับช่วงก่อนและหลังการลดความชื้นด้วยการตากลาน เช่นเกี่ยวกับแมลง *Sitophilus oryzae* ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติของการพบในกองเมล็ดพันธุ์ทั้งช่วงก่อน ขณะ และหลังลดความชื้นด้วยการตากลาน

จาก Fig 1 พบว่าบริเวณ seed coat epidermis หลังการลดความชื้นทั้งสองระบบมีความใกล้เคียงกันมากกว่าก่อนการลดความชื้นและ seed coat epidermis หลังการลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าหลังการลดความชื้นด้วยการตากลาน ซึ่งการขีดกันอย่างสม่ำเสมอของเนื้อเยื่อดังกล่าวส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดพันธุ์เข้าทำลายได้ยาก

อนึ่ง การทดลองนี้ดำเนินการภายหลังจากการลดความชื้น แต่จะดำเนินการทดสอบต่อไปจนถึง 8 เดือนหลังการเก็บรักษาเพื่อประเมินศักยภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นว่าจะสามารถคงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ได้จนถึงฤดูปลูกถัดไปได้หรือไม่ อันจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการลดความชื้นและการเก็บรักษา ช่วยเพิ่มราคาให้กับผลผลิต และรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เพื่อการปลูกหรือจำหน่ายในฤดูถัดไป

## สรุป

ระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาที่พัฒนาตามหลักพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแต่สร้างจากวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นสามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหลังลดความชื้นด้วยระบบการลดความชื้นและเก็บรักษาที่พัฒนาขึ้นเมล็ดพันธุ์สามารถรักษาคุณภาพในด้านความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ไว้ได้

## คำขอบคุณ

ทุนแผนบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ยุทธศาสตร์ที่ 2: การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (รหัสโครงการวิจัย ป-2.2(ข)4.62)

## เอกสารอ้างอิง

ไพโรจน์ ด้วนนคร. (2561). การศึกษาปริมาณการเกิดเชื้อราของเมล็ดขาน้ำมันในกระบวนการตากแดดตามธรรมชาติและการอบแห้งในตู้อบ. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12(1), 99-100. <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/issue/archive>  
ศูนย์ศึกษาระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. (2557). ผลวิเคราะห์ข้าวไทยในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. สืบค้น 1 ตุลาคม 2560, จาก <https://www.dailynews.co.th/economic/218763>

- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2560). ข้าวหอมมะลิ ห้อมหอม “คงความหอมข้าวหอมมะลิไทยตลอดห่วงโซ่” (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: หจก.อักษรสยามการพิมพ์.
- สถาบันอนาคตไทยศึกษา. (2557). ซีรีส์งานศึกษาเรื่องความเหลื่อมล้ำ. สืบค้น 1 ตุลาคม 2560, จาก <https://thaipublica.org/2014/04/ttf-inequality/>
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2559). สถิติการส่งออกข้าว. สืบค้น 1 ตุลาคม 2560, จาก [http://www.thairiceexporters.or.th/default\\_th.htm](http://www.thairiceexporters.or.th/default_th.htm)
- ออร์แกนิกฟาร์ม. (2559). มาตรฐานและการขอใบรับรองผักปลอดสาร. สืบค้น 7 ธันวาคม 2562, จาก <https://www.organicfarmthailand.com/how-to-obtain-an-organic-vegetable-certificate/>
- Bozzola, J.J. and L.D. Russell. (1999). *Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists*. Burlington: Jones and Bartlett.
- Delouche, J.C., (1973). Precepts of seed storage (Revised): *Proceedings of the Short Course for Seedmen: Vol.16 Seed Technology Laboratory* (pp: 97-122). Mississippi: Mississippi State University.
- International Seed Testing Association. (2001). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf: International Seed Testing Association.
- International Seed Testing Association. 2015). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf: International Seed Testing Association.
- Joosen, R.V.L., J. Kodde, L.A.J. Willems, W. Ligterink, L.H.W.v.d. Plas and H.W.M. Hilhorst. (2010). *The Plant Journal*. 62, 148–159.
- Mew, T.W. and P. Gonzales. (2002). *A handbook of rice seedborne fungi*. Manila: Science Publishers, Inc.
- Onwimol, D., W. Chanmprasert, P. Changsee and T. Rongsangchaichareon. (2016). Seed vigor classification using analysis of mean radicle emergence time and single counts of radicle emergence in rice (*Oryza sativa* L.) and mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Agriculture and Natural Resources* 50(5), 345-350.
- Whitehouse, K.J., F.R. Hay and R.H. Ellis. (2015). Increases in the longevity of desiccation-phase developing rice seeds: response to high-temperature drying depends on harvest moisture content. *Annals of Botany*. 116(2), 247-259.

**Table 1 Effects of drying process on seed moisture content, germination and seed vigour ( using radicle emergence test) of Tubtim Chumphae rice**

seed drying conditions	seed moisture content (%)	seed germination (%)	radicle emergence test (%)
The developed system (after drying)	11.32 <sup>ct</sup>	87.25 <sup>at</sup>	51.78 <sup>bt</sup>
The developed system (before drying)	23.64 <sup>a</sup>	75.50 <sup>b</sup>	60.39 <sup>ab</sup>
The developed system (during drying)	12.86 <sup>bc</sup>	82.75 <sup>ab</sup>	56.73 <sup>ab</sup>
The conventional method (after drying)	10.01 <sup>c</sup>	67.50 <sup>c</sup>	66.28 <sup>a</sup>
The conventional method (before drying)	23.07 <sup>a</sup>	63.75 <sup>c</sup>	59.28 <sup>ab</sup>
The conventional method (during drying)	15.71 <sup>b</sup>	67.00 <sup>c</sup>	61.91 <sup>ab</sup>
F-test	*	*	*
C.V.(%)	9.61	4.75	7.74

†Means with the same letter are not significant difference at P≤0.05 by Tukeys's HSD Test.

\* = Significant at P≤0.05.

**Table 2 Effects of drying process on seed borne fungi of Tubtim ChumPhae rice**

seed drying conditions	seed borne fungi		
	<i>Alternaria padwickii</i> (%)	<i>Aspergillus flavus</i> (%)	<i>Fusarium moniliforme</i> (%)
The developed system (after drying)	3.75 <sup>bct</sup>	1.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The developed system (before drying)	8.00 <sup>a</sup>	0.50 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The developed system (during drying)	4.75 <sup>ab</sup>	1.50 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The conventional method (after drying)	0.75 <sup>c</sup>	1.00 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>
The conventional method (before drying)	1.00 <sup>bc</sup>	3.75 <sup>a</sup>	6.75 <sup>a</sup>
The conventional method (during drying)	0.25 <sup>c</sup>	1.25 <sup>b</sup>	1.50 <sup>b</sup>
F-test	*	*	*
C.V.(%)	54.59	36.85	55.56

†Means with the same letter are not significant difference at P≤0.05 by Tukeys's HSD Test.

\* = Significant at P≤0.05.



Table 3 Effects of drying process on stored grain insect pest of Tubtim ChumPhae rice

condition	stored grain insect pest		
	<i>Rhyzopertha dominica</i> F.	<i>Sitophilus oryzae</i>	<i>Monomorium pharaonis</i>
The developed system (after drying)	5.25 <sup>a†</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The developed system (before drying)	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The developed system (during drying)	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
The conventional method (after drying)	0.00 <sup>b</sup>	2.00 <sup>ab</sup>	24.00 <sup>a</sup>
The conventional method (before drying)	0.00 <sup>b</sup>	1.00 <sup>ab</sup>	20.75 <sup>a</sup>
The conventional method (during drying)	0.50 <sup>b</sup>	2.25 <sup>a</sup>	36.75 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*
C.V.(%)	129.56	103.46	54.97

†Means with the same letter are not significant difference at  $P \leq 0.05$  by Tukeys's HSD Test.

\* = Significant at  $P \leq 0.05$ .

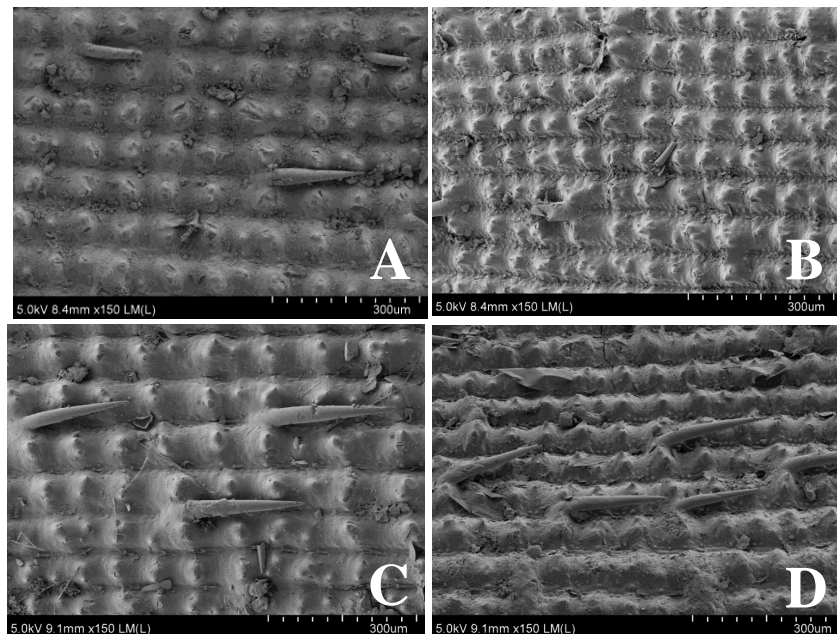


Fig 1 พื้นผิวข้าวเปลือกโดยใช้ Scanning Electron Microscope

A = ก่อนลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น, B = หลังลดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น, C = ก่อนลดความชื้นด้วยการตากลาน และ D = หลังความชื้นด้วยการตากลาน

# พฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาว (*Amphioctopus aegina*, Gray 1849) ในห้องปฏิบัติการ Reproductive behavior of Marbled Octopus (*Amphioctopus aegina*, Gray 1849) in Laboratory

ภาววิดา ประสพสุข<sup>1</sup>, จรรย์ สุขแสงจันทร์<sup>1</sup> และนาภาขวัญ แหวนเพชร<sup>1</sup>

Pawida Prasopsook<sup>1</sup>, Charuay Sukhsangchan<sup>1</sup> and Napakhwan Whanphetch<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

รวบรวมพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาว จำนวน 25 ตัว จากชาวประมงพื้นบ้านศาลาเขียว ตำบลเพ จังหวัดระยอง นำไปอนุบาลยังศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงอ่าวไทยตะวันออก ให้อาหารวันละ 2 มื้อ สังเกตพฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาวพบว่า หมึกสายขาวเพศผู้จะสอดแขนคู่ที่สามทางด้านขวา เข้าไปยังช่องตัวของเพศเมีย ใช้เวลาผสมพันธุ์ประมาณ 3-5 นาที หมึกสายเพศเมียจะเริ่มวางไข่ภายหลังการผสมพันธุ์ 3-5 วัน โดยไข่จะถูกอุ้มไว้ในวงแขนของเพศเมียตลอดเวลาจนกระทั่งฟัก ไข่ของหมึกสายขาวมีขนาดความยาวเฉลี่ย  $1.84 \pm 0.10$  มิลลิเมตร และความกว้างเฉลี่ย  $0.66 \pm 0.05$  มิลลิเมตร ใช้ระยะเวลาในการฟักไข่ 18-22 วัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส หลังจากลูกหมึกสายวัยอ่อนฟักออกจากไข่มีความยาวลำตัวเฉลี่ย  $2.02 \pm 0.04$  มิลลิเมตร ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน ให้ลูกปูระยะซู่เอีย 1 เป็นอาหาร และลูกหมึกสายขาวจะอาศัยหากินบริเวณพื้นเมื่อมีอายุ 27 วัน ความยาวลำตัวเฉลี่ย  $5.47 \pm 0.01$  มิลลิเมตร

**คำสำคัญ :** พฤติกรรม, การผสมพันธุ์, หมึกสายขาว

## Abstract

A total of 25 specimens of marbled octopus were collected from artisanal fishery (Baan Phe, Rayong province) then transferred to the laboratory at Eastern Marine Development Center. The marbled octopus were fed twice a day. Reproductive behavior was observed and the result showed that male octopus used third right arm insert spermatophores into the mantle cavity of females and the mating period was about 3-5 minutes/times. Female laid their eggs after mating for 3-5 days, and carried their eggs by her arms until hatching. The average egg size was  $1.84 \pm 0.10$  millimeters in length, and  $0.66 \pm 0.05$  millimeters in width. The incubation period was 18-22 days at 28 degrees Celsius. The average hatching size was  $2.02 \pm 0.04$  millimeters in mantle length. The paralarvae were planktonic and fed on crab zoea stage 1, and they will live on the ground habitat at the age of 27 days after hatching with an average size was  $5.47 \pm 0.01$  millimeter in mantle length.

**Keywords:** Behavior, Mating, Marbled Octopus

<sup>1</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Marine science, Faculty of Fishery, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

## บทนำ

หมึกเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่จัดอยู่ในไฟลัม Mollusca เช่นเดียวกับหอย แต่มีลักษณะและพฤติกรรม การดำรงชีวิตแตกต่างจากหอย หมึกจัดเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่วิวัฒนาการสูงที่สุด เนื่องจากมีพัฒนาการ ของสมองที่เจริญดี และมีดวงตาที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับดวงตาของสัตว์มีกระดูกสันหลัง (จรรยา, 2558) หมึกที่พบ ได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืดในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ กลุ่มหมึกกล้วย กลุ่มหมึกหอม กลุ่มหมึกกระดอง และกลุ่มหมึกสาย นอกจากนี้หมึกยังเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทั้งแบบสด และแบบแห้ง สามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลาย เป็นที่ต้องการทั้งในประเทศ และต่างประเทศ

หมึกสายขาว *Marbled octopus (Amphioctopus aegina, Gray 1849)* จัดอยู่ในครอบครัว Octopodidae มีลักษณะที่แตกต่างจากหมึกกลุ่มอื่น คือ มีแขน (arm) 8 เส้น ส่วนลำตัวกลมมนคล้ายกับลูกโป่ง มีพังผืดเชื่อม ระหว่างแขน ไม่มีวงเมดิอัส (Ocellus) ที่บริเวณโคนแขน บริเวณกึ่งกลางของลำตัวมีแถบสีขาวพาดยาวตลอดด้านหลัง จำนวน 1 เส้น ลักษณะของแขนคู่ที่สามด้านขวาสามารถนำไปใช้ในการแยกเพศ (บพิท และ นันทพร, 2558) หมึกสายขาวมีการเจริญเติบโตเป็นแบบ allometric growth ขนาดแรกสืบพันธุ์ในเพศผู้มีค่าเท่ากับ 40.78 กรัม และ เพศเมีย 78.78 กรัม ความดกไข่อยู่ที่ 2,962–8,820 ฟอง มีความสมบูรณ์เพศในเพศเมียสูงที่สุดในเดือนตุลาคม และ เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ (Ignatius et al. 2011) หมึกสายขาวอาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งที่ระดับความลึก 5-20 เมตร บริเวณพื้นดินทราย หรือทรายปนโคลน (Jereb et al., 2016) กินอาหารจำพวกปู กุ้ง และปลาขนาดเล็ก ประเทศไทย พบหมึกสายขาวชุกชุมทั้งบริเวณ อ่าวไทย และอันดามัน (จรรยา, 2558)

ในปัจจุบันหมึกสายขาวถูกนำมาบริโภคมากขึ้นทำให้มีราคาที่สูงขึ้นจากในอดีต จากเดิรราคา กิโลกรัม ละ 7.05 บาท (กรมประมง, 2531) ได้มีมูลค่าสูงขึ้นถึง 180 บาท และ 220 บาทในช่วงเทศกาลสำคัญ จัดได้ว่า เป็นสัตว์น้ำที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์จนเกินกำลังศักยภาพการผลิตตามในธรรมชาติเช่นในปัจจุบัน การเพาะเลี้ยง จัดเป็นทางเลือกที่ดีที่สามารถตอบสนองของความต้องการของมนุษย์ในด้านการเพิ่มผลผลิตและฟื้นฟูทรัพยากร ได้เป็นอย่างดี นักวิชาการด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันประสบความสำเร็จในการเพาะสัตว์น้ำ หลายหลายชนิด เช่น การเพาะเลี้ยงกุ้ง ปู ปลา และหอยอย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงปลาหมึกกลับพบอยู่ในวง ที่จำกัดถึงแม้ปลาหมึกจะจัดเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากความเฉพาะทางพฤติกรรม และ ลักษณะทางชีววิทยาบางประการของตัวปลาหมึกเอง ทำให้เกิดข้อจำกัดในการเพาะเลี้ยงปลาหมึก เช่น อาหารของ ลูกปลาหมึกวัยอ่อน หรือแม้กระทั่งอาหารของปลาหมึกตัวเต็มวัยเองก็ตาม (จารุวัฒน์, 2538) ดังนั้นการศึกษา เกี่ยวกับพฤติกรรมการผสมพันธุ์ของปลาหมึกจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีช่วยทำให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากร ในอนาคต

## วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาว (*Amphioctopus aegina, Gray 1849*) พฤติกรรมการเกี่ยวพาราสิ กระบวนการผสมพันธุ์ ตลอดจนพฤติกรรมการเลี้ยงดูตัวอ่อน

ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาด้านชีววิทยาของหมึกสายขาวตลอดจนแนวทางในการเพาะเลี้ยงหมึกสายขาว เพื่อเป็นสัตว์เศรษฐกิจของไทยในอนาคต

## วิธีการ

### การเลือกพ่อแม่พันธุ์และการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์

รวบรวมพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาวในช่วงเวลาเช้ามีด จำนวนทั้งสิ้น 25 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้จำนวน 12 และเพศเมียจำนวน 13 ตัว (ตารางที่ 1) จากเครื่องมือประมงลอบหมึกสาย (กรังกรัง) จากชาวประมงพื้นบ้านศาลาเขียว ตำบลเพ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง แยกเพศของหมึกสายโดยใช้ลักษณะภายนอก คือ รยางค์ที่ใช้สำหรับส่งเซลล์สืบพันธุ์ที่พบบริเวณแขนคู่ที่ 3 ข้างขวา (Hectocotylus arm) มีรูปร่างแบนตามขวางที่เกิดการลดรูปของปุ่มดูด (sucker) ซึ่งจะพบเฉพาะเพศผู้เท่านั้น ขนาดของพ่อแม่พันธุ์ของหมึกสายขาว ควรมีขนาดความยาวลำตัว (Mantle length) ไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร และพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาวที่นำมาศึกษาต้องมีลักษณะที่สมบูรณ์ ไม่มีบาดแผลบริเวณลำตัว รยางค์ไม่ขาด จากนั้นลำเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาวมายังโรงเพาะฟักสัตว์ทะเล ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงอ่าวไทยตะวันออก นำพ่อแม่พันธุ์ของหมึกสายขาวที่รวบรวมได้ทั้งหมด มาพักในบ่อทรงกลม ขนาด 2 ตัน จำนวน 1 บ่อ ใส่หมึกสายขาวเพศผู้และเพศเมียอยู่รวมกัน ในอัตราส่วนเพศ 1:1 ภายในบ่อใส่วัสดุหลบซ่อน เช่น เปลือกหอย ท่อ PVC และโองดินเผาขนาดเล็ก งดให้อาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่ความเค็มเฉลี่ย 32.0 ส่วนในพัน อุณหภูมิเฉลี่ย 28.0 องศาเซลเซียส ควบคุมการไหลของน้ำอยู่ที่ 2 ลิตร/นาที ให้อากาศตลอดเวลา และพรางบ่อด้วยพลาสติกสีดำ เพื่อลดความเครียด ให้อาหารมีชีวิต ได้แก่ ปู กุ้ง ปลา และหอย โดยที่เน้นกลุ่มปูเป็นหลัก ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 8.00 น. และ 20.00 น. ดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน วันละ 50 % ของน้ำในบ่อ

### การศึกษาพฤติกรรมการผสมพันธุ์ของหมึกสายขาว

หลังจากปล่อยพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาวลงในบ่อทดลองขนาด 2 ตันแล้ว สังเกตพฤติกรรมตั้งแต่เริ่มปล่อยหมึกสายลงในบ่อทดลองจนกระทั่งหมึกสายขาวผสมพันธุ์ และวางไข่ โดยบันทึกภาพนิ่งด้วยกล้องถ่ายภาพ และบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศนัยแบบได้น้ำ (Olympus stylus TG-4 tough series) พฤติกรรมการสืบพันธุ์ เช่น การเกี้ยวพาราสี (Courtship behavior), กระบวนการผสมพันธุ์ (Mating behavior) และการเลี้ยงดูตัวอ่อน (Parental care) โดยศึกษาสังเกตพฤติกรรมนี้จะกระทำตลอดเวลาทั้งในเวลากลางวัน และเวลากลางคืน

### การเลี้ยงลูกหมึกวัยอ่อน

นำลูกหมึกที่ฟักมาเลี้ยงในระบบปิดที่ความหนาแน่น 2 ตัว/มิลลิลิตร ให้ลูกปุระยะซูเอีย 1 เป็นอาหารวันละ 2 ครั้ง เสริมด้วยสาหร่ายสีน้ำตาล (*Chaetoceros sp.*, *Isochysis galbana*, *Thalassiosira sp.*) 30,000 – 50,000 เซลล์/มิลลิลิตร และโรติเฟอร์ (*Rotifer sp.*) 30,000 – 50,000 เซลล์/มิลลิลิตร วันละ 1 ครั้ง ดูดตะกอนและถ่ายน้ำวันละ 10 % ของน้ำในบ่อ ควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

## การเก็บและศึกษาตัวอย่างลูกหมึกสาย

สุ่มเก็บตัวอย่างลูกหมึกสายวัยอ่อนจากบ่อเลี้ยงเป็นประจำทุกวัน วันละ 5 ตัว ตั้งแต่เริ่มฟักจนกระทั่งลูกหมึกสายลงพื้นบ่อ สังเกตลักษณะภายนอก เช่น จำนวนเม็ดสี จำนวนปมดูด พร้อมทั้งวัดความยาวลำตัว

## ผลการศึกษา

### พฤติกรรมการผสมพันธุ์ของหมึกสายขาว

พฤติกรรมการผสมพันธุ์ของหมึกสายขาวเริ่มจากหมึกสายขาวเพศผู้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวพาราดี โดยการที่เพศผู้จะว่ายน้ำหรือพาตัวเข้าไปใกล้เพศเมีย ทำสีผิวลำตัวให้เข้มขึ้นจนเกือบดำ รยางค์แขนทำเป็นลายขาว สลับดำ มีติ่งเนื้อขนาดเล็กลื่นยาวออกมาบริเวณผิวของลำตัว เพื่อดึงดูดเพศเมีย หากเพศเมียไม่สนใจก็จะว่ายน้ำหลบหนีไป แต่หากตัวเมียสนใจและพร้อมที่จะผสมพันธุ์ก็จะอยู่นิ่ง ๆ รอการผสมพันธุ์ หลังจากนั้นเพศผู้จะใช้แขนคู่ที่ 3 ข้างขวาสัมผัสไปตามผิวตัว หัว และแขนของเพศเมีย จากนั้นเพศผู้จะสอดแขนคู่ที่ 3 ข้างขวาที่บรรจุสเปิร์มเข้าไปในช่องลำตัวของเพศเมีย โดยจะสอดแขนค้ำไว้ในช่วงตัวของเพศเมียประมาณ 3-5 นาที เมื่อการผสมพันธุ์เสร็จสิ้นหมึกสายเพศผู้ จึงแยกออกจากตัวเมียออกไป (ภาพที่ 1ก) หมึกสายเพศเมียที่ศึกษาวิจัยในบ่อทดลองนี้พบว่าได้รับการผสมพันธุ์จากหมึกสายเพศผู้เพียงตัวเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตามในธรรมชาติหมึกสายเพศเมียสามารถรับการผสมพันธุ์จากหมึกสายเพศผู้ได้มากกว่า 1 ครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าหมึกสายเพศเมียสามารถรับการผสมพันธุ์จากหมึกสายเพศผู้ได้หลายตัวในช่วงฤดูผสมพันธุ์ ซึ่งการสังเกตพฤติกรรมการผสมพันธุ์ในครั้งนี้พบว่ามีความพยายามในการเข้าผสมพันธุ์จากเพศผู้ตัวอื่น ๆ แต่เพศเมียที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้วแสดงการปฏิเสธโดยการพยายามว่ายน้ำหนีออกไป หรือแสดงพฤติกรรมข่มขู่โดยการพ่นน้ำ ชูแขน หรือปรับสีผิวบริเวณตัว เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าหลังจากเพศผู้ผสมพันธุ์กับเพศเมียแล้วจะเสียชีวิตในระยะเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ โดยหมึกสายเพศเมียจะเริ่มเก็บตัวอยู่ในวัสดุที่หลบซ่อน ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 3-5 วันจึงเริ่มวางไข่ หมึกสายเพศเมียใช้เวลาวางไข่เฉลี่ยประมาณ 1-2 วัน ปริมาณไข่ที่แม่หมึกสายขาวปล่อยออกมาจากการศึกษาอยู่ระหว่าง 5,607 ถึง 13,640 ( $10,642 \pm 4,373$ ) ฟอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและอายุของแม่หมึกสายขาว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แม่หมึกสายได้วางไข่ทั้งหมด 3 ตัว (ตารางที่ 2) แม่หมึกสายขาวจะอุ้มไข่ทั้งหมดไว้ในวงแขน (ภาพที่ 1ข) แม่หมึกสายจะใช้ปั๊มดูดคอยทำความสะอาดไข่ และพ่นน้ำ (water pumping) เพื่อให้ออกซิเจนแก่ไข่ จนกระทั่งไข่ฟักเป็นตัว โดยไข่ของหมึกสายขาวจะใช้เวลาในการฟักประมาณ 18-22 วัน หลังจากลูกหมึกฟักออกจากไข่หมดแล้วแม่หมึกสายก็จะตายภายในระยะเวลา 1-3 วัน

### ลักษณะไข่ของหมึกสายขาว

ไข่ของหมึกสายขาว มีลักษณะเป็นไข่เดี่ยว (single egg) ใส คล้ายผลองุ่น ไข่แต่ละฟองมีก้านยึดติด (Stalk) และพันกันเป็นพวงยาว ไข่หมึกสายขาวจัดเป็นไข่จม ไม่ติดวัสดุ เม็ดไข่แต่ละฟองมีขนาดความยาวเฉลี่ย  $1.84 \pm 0.10$  มิลลิเมตร และ มีความกว้างเฉลี่ย  $0.66 \pm 0.05$  มิลลิเมตร (ภาพที่ 2ก)

### ลักษณะของลูกหมึกสายขาว

เมื่อลูกหมึกสายวัยอ่อนฟักออกจากไข่ จะดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน อาศัยอยู่กลางมวลน้ำ ว่ายน้ำเป็นแนวเฉียงทำมุมกับพื้นบ่อ มีขนาดความยาวลำตัว เฉลี่ย  $2.02 \pm 0.04$  มิลลิเมตร ลูกหมึกสายระยะวัยอ่อนจะมีลักษณะคล้ายพ่อแม่และแม่ (Paralarvae) มีลำตัวคล้ายถุง ความยาวลำตัวคิดเป็นร้อยละ 60 ของความยาวเหยียด (Total length) สัดส่วนความยาวหัวคิดเป็นร้อยละ 20 และ แขนคิดเป็นร้อยละ 20 ของความยาวเหยียด หัวมีลักษณะค่อนข้างกลม มีดวงตาที่ใหญ่สองข้าง และแขนสั้น แขนแต่ละเส้นมีขนาดความยาวใกล้เคียงกัน มีปุ่มดูดแขนละ 6 ปุ่มเรียงเป็นแถวเดียว จำนวน 1 แถว เม็ดสี (Chromatophore) บริเวณผิวลำตัวด้านหลัง (Dorsal side) มีสีดำ และสีแดง ส่วนเม็ดสีบริเวณด้านท้อง (Ventral side) พบเฉพาะเม็ดสี สีดำเท่านั้น โดยพบเม็ดสีบริเวณผิวด้านหลังลำตัวมากกว่าด้านท้องของลำตัว (ภาพที่ 2ข) เมื่อลูกหมึกอยู่ในระยะที่ลงพื้น มีความยาวลำตัวคิดเป็นร้อยละ 40 ของความยาวเหยียด สัดส่วนความยาวหัวคิดเป็น 20 และความยาวแขนคิดเป็นร้อยละ 70 ของความยาวทั้งหมด มีปุ่มดูดบนแขนแต่ละเส้นจำนวน 20-25 ปุ่มดูด เรียงตัวเป็นแถวจำนวน 2 แถว พบเม็ดสีมีจำนวนมากเป็นจุดเล็ก ๆ ทั้งสีดำและสีแดงกระจายเต็มพื้นผิวของลำตัว หัวและแขน บริเวณกึ่งกลางลำตัวปรากฏเส้นสีขาวพาดกลางตลอดลำตัวเหมือนตัวเต็มวัย (ภาพที่ 3)

ลูกหมึกสายขาววัยอ่อนสามารถกินอาหารได้ทันทีที่ฟักออกจากไข่ ลูกหมึกที่ฟักออกจากไข่ จะมีการว่ายน้ำแบบไร้ทิศทาง หลังจากที่ได้รับตัวเข้าได้กับสิ่งแวดล้อมจะเริ่มกินอาหารโดยการว่ายน้ำจับเหยื่อ กินอาหารตลอดเวลาจนถึงระยะลงพื้น เหยื่อที่ให้ลูกหมึกสายเป็นลูกปุระยะซูเอียหนึ่ง จำนวน 25 ตัว/หมึก 1 ตัว ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ทั้งนี้พบว่าพฤติกรรมก่อนระยะลงพื้นพบว่าลูกหมึกสายขาววัยอ่อนจะเริ่มเกาะอยู่บริเวณขอบบ่อสามารถปีนคลานเป็นระยะทางสั้น ๆ (ภาพที่ 3) และจะไม่ออกไปหาอาหารเพียงแต่รอให้อาหารเข้ามาใกล้ แล้วจะจับอาหารเข้าสู่ปากต่อไป ลูกหมึกสายขาวระยะลงพื้นมีความยาวลำตัวเฉลี่ยอยู่ที่  $5.47 \pm 0.01$  มิลลิเมตร

### อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาว โดยเฉพาะผู้จะแสดงพฤติกรรมการเกี่ยวพาราซีเพศเมีย และสอดแซนคูที่สามทางขวาเข้าไปในช่องตัวของเพศเมียเพื่อผสมพันธุ์ หลังจากผสมพันธุ์แล้ว เพศเมียจะไม่กินอาหาร และเริ่มวางไข่หลังจากได้รับการผสมพันธุ์ 3-5 วัน ไข่จะถูกดูแลอย่างดีโดยเพศเมียจะมีพฤติกรรมการอุ้มไข่ตลอดเวลา พฤติกรรมการดูแลตัวอ่อนของหมึกสายพบว่ามีการศึกษาหลายท่าน เช่น การศึกษาของ Ylitalo et al. (2014) พบว่าหมึกสายชนิด *Octopus oliveri* ที่มีพฤติกรรมการเลี้ยงดูตัวอ่อน (Parental care) โดยเก็บไข่ไว้บริเวณแขนเช่นเดียวกัน และการศึกษาของ Tranter and Augustine (1973) พบว่าหมึกสายวงน้ำเงินเล็ก (*Hapalochlaena maculosa*) มีพฤติกรรมการเลี้ยงดูตัวอ่อนเช่นกันโดยหมึกสายวงน้ำเงินเล็กจะอุ้มไข่ไว้บริเวณปาก และให้แขนทั้งแปดเส้นโอบประคองไข่ไว้ และจากการศึกษาของ Overath and Boletzky (1974) พบว่าหมึกสายวงน้ำเงินเล็กใช้ระยะเวลาในการฟัก 25 – 35 วัน ที่อุณหภูมิ 21-22.5 องศาเซลเซียส ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการฟักออกจากไข่ 18 – 22 วัน อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Boletzky (1989) กล่าวว่า ช่วงเวลาพัฒนาการของตัวอ่อนของกลุ่มเซฟาโลพอด (Cephalopods) มีความสัมพันธ์ กับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้พัฒนาการเป็นไปได้เร็วขึ้น (ระยะเวลาที่อยู่ในไข่สั้นลง) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าหลังจากฟักออกจากไข่แล้วหมึกสายขาวที่ศึกษามีขนาดแรกฟักอยู่ที่  $2.02 \pm 0.04$  มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าหมึกสายขาวที่ทำการศึกษาในประเทศอินเดีย มีขนาดแรก

ฟักที่  $3.07 \pm 0.15$  มิลลิเมตร (Ignatius and Srinivasan, 2006) โดยความแตกต่างของขนาดแรกฟักนี้ต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไปถึงสาเหตุ ปัจจัยที่ทำให้ลูกหมีกสายขาวแรกฟักของทั้ง 2 แหล่งมีขนาดแตกต่างกันที่ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามลูกหมีกสายขาว (*A. aegina*) ที่ทำการศึกษามีขนาดใกล้เคียงกับ *O. hubbsorum* ที่มีขนาด  $1.20 \pm 0.16$  มิลลิเมตร (Alejo-plata and Alejo, 2014) เมื่อออกจากไขลูกหมีกสายดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน

การศึกษากาการเจริญเติบโตของหมีกสายชนิด *O. valgaris* มีการระยะลงพื้นในอยู่ที่ 47 วัน อุณหภูมิ 17-19 องศาเซลเซียส โดยให้ อาร์ทีเมีย และปูแมงมุมเป็นอาหาร มีอัตราการรอดตายอยู่ที่ 31.5 % และหลังจากลงพื้นได้ 2 อาทิตย์พบว่าอัตราการรอดตาย 10 % (Iglesias et al., 2004) ส่วนการศึกษาของ (Villanueva, 1995) เลี้ยงหมีกสายชนิดเดียวกัน มีระยะลงพื้นอยู่ที่ 60 วัน ที่อุณหภูมิ 21.2 องศาเซลเซียส ให้ปูทราย (*Liocarcinus depurator*) เป็นอาหาร พบว่าอัตราการรอดตาย 8.9% อย่างไรก็ตามการศึกษ้อัตราการรอดตายของหมีกสายขาวในครั้งนี้พบว่าอัตราการรอดตายที่ค่อนข้างต่ำเพียง 0.3% ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอาหาร และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหมีกสายในห้องปฏิบัติการต่อไป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าหมีกสายเพศเมียสามารถผสมพันธุ์และวางไข่เพียง 3 ตัว เท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์เพศของหมีกสายเพศเมีย และความพร้อมในการผสมพันธุ์ เช่นความเครียดของตัวหมีกสายเองที่ถูกนำมาพักชังในบ่อทดลอง ตลอดจนระยะเวลาในการสังเกตพฤติกรรมของผู้ศึกษาวิจัย อย่างไรก็ตามหมีกสายที่ได้รับการผสมพันธุ์และวางไข่พบว่าส่วนใหญ่เป็นหมีกสายที่มีขนาดใหญ่ คือ มีความยาวลำตัวมากกว่า 6 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานที่ว่าขนาดแรกสืบพันธุ์ของหมีกสายขาวเพศเมียควรมีขนาดความยาวลำตัวไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร หรือน้ำหนักไม่น้อยกว่า 78 กรัม

## บทสรุป

พฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมีกสายขาวเริ่มจากพฤติกรรมการเกี่ยวพาราซี ซึ่งเป็นสัญญาณความพร้อมต่อการสืบพันธุ์จากนั้นเมื่อเพศเมียมีความพร้อมเพศผู้จึงจะสอดแซนคูที่สามทางด้านขวาเข้าไปยังช่องตัวของเพศเมีย ใช้ระยะเวลาในการสืบพันธุ์ 3-5 นาที จากนั้นหมีกสายเพศเมียจะเก็บตัวใช้เวลาประมาณ 2 วันเพศเมียจะเริ่มปล่อยไข่ และเพศเมียจะอุ้มไข่ไว้กับตัว (Parental care) ไข่ที่ปล่อยออกมาจัดเป็นไข่จม ไม่ติดวัสดุ มีขนาดความยาวเม็ดไข่เฉลี่ย  $1.84 \pm 0.10$  มิลลิเมตร และความกว้างไข่เฉลี่ย  $0.66 \pm 0.05$  มิลลิเมตร ใช้ระยะเวลาในการฟักไข่ 18- 22 วัน อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส หลังจากลูกหมีกสายวัยอ่อนฟักออกจากไข่มีความยาวลำตัวเฉลี่ยอยู่ที่  $2.02 \pm 0.04$  มิลลิเมตรดำรงชีวิตในระยะแพลงก์ตอนเป็นเวลาเฉลี่ย 27 วัน โดยกินอาหารกลุ่มลูกปูระยะซูเบีย 1 และมีความยาวลำตัวเฉลี่ยระยะลงพื้นอยู่ที่  $5.47 \pm 0.01$  มิลลิเมตร

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงอ่าวไทยตะวันออก ตลอดจนเจ้าหน้าที่ พนักงาน ข้าราชการทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัยนี้ได้เสร็จลุล่วงไปอย่างดี ชาวประมงหมีกสายขาว และกลุ่มชาวประมงอวนจมปู บริเวณศูนย์วิจัยที่ให้ความอนุเคราะห์สัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงหมีกสายขาว

## เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2531. สถิติกรมประมงแห่งประเทศไทย ปี 2531. ฝ่ายเศรษฐกิจและแผนงาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 93 น.
- จรรยา สุขแสงจันทร์. (2558). *หมึกทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,*
- จารุวัฒน์ นีตะภัก. (2538). *ชีววิทยาและการเพาะเลี้ยงปลาหมึก* สรุปผลสัมมนาเชิงปฏิบัติการ. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 18 กรมประมง
- บพิธ จารุพันธุ์ และ นันทพร จารุพันธุ์. (2558). *สัตว์วิทยา*. (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alejo-plata C. M. and Alejo S.H. (2014). First description of egg and paralarvae of green octopus *Octopus hubbsorum* (Cephalopoda: Octopodidae) under laboratory conditions. *American Malacological Bulletin*. 32(1): 132-139.
- Boletzky V.S. (1989). Recent Studies on Spawning, Embryonic Development and Hatching in the Cephalopoda. *Advances in Marine Biology*. 25:85-115.
- Iglesias J., Otero J.J., Moxica C., Fuentes L. and Sanchez J.F. (2004). The completed life cycle of the octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier) under culture condition: paralarval rearing using Artemia and zoea, and first data on juvenile growth up to 8 months of age. *Aquaculture International* 12: 481-487.
- Ignatius B. and Srinivasan M. (2006). Embryonic development in *Octopus aegina* Gray, 1849. *Current science*. 91(8): 1089-1092.
- Ignatius B., Srinivasan M. and Balakrishnan S. (2011). Reproductive Traits of Sandbird Octopus, *Amphioctopus aegina* (Gray, 1849) from Mandapam Coastal Water (Palk bay), Southeast Coast of India. *Ocean science Journal*, 46(3): 145-154
- Jereb P., Roper C.F.E., Norman M.D. and Fin J.K. (2016). *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes No.4, Vol.3. Cephalopods of the world an annotated and illustrated catalogue of species know to date. Volume 3. Octopus and Vampire Squids*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Overath H. and Boletzky V. S. (1974). Laboratory Observations on Spawning and Embryonic Development of a Blue-Ringed Octopus. *Marine Biology*. 27:333-337.
- Tranter D. J. and Augustine O. (1973). Observations on the life history of the blue-ringed octopus *Hapalochlaena maculosa*. *Marine Biology*. 18: 115-128.
- Villanueva R. (1995). Experimental rearing and growth of planktonic *Octopus vulgaris* from hatching to settlement. *Fishery Aquaculture Science*. 52:2639-2650.



Ylitalo A.H., Watling L. and Toonen J.R. (2014). First description of hatching and egg of *Octopus oliveri* (Berry, 1914) (Cephalopoda: Octopodidae). Molluscan Research. 34(2): 79-83.

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปพ่อแม่พันธุ์หมึกสายขาว

เพศ	เพศผู้			เพศเมีย		
	ตัว	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)
ความยาวเหยียด			ความยาวลำตัว	ความยาวเหยียด		ความยาวลำตัว
1	28.20	17.80	5.20	58.70	22.70	6.85
2	37.20	20.10	6.30	86.67	28.60	7.30
3	24.10	17.80	4.30	116.10	29.00	7.90
4	135.75	30.00	8.00	81.40	21.40	6.30
5	58.60	19.70	6.10	92.60	26.70	7.30
6	113.35	28.00	7.50	110.00	21.85	6.5
7	154.35	29.00	7.20	32.95	19.20	5.20
8	29.90	18.90	5.40	50.20	18.70	4.55
9	66.87	25.50	7.00	47.30	22.70	5.60
10	36.60	21.40	5.50	110.20	19.5	6.5
11	102.10	28.00	7.50	31.85	19.80	4.20
12	52.10	21.80	6.10	24.35	18.40	4.30
13	-	-	-	106.65	26.80	7.70
ค่าเฉลี่ย±SD	69.93±45.19	23.17±4.62	6.34±1.12	73.00±32.15	22.72±3.67	6.17±1.24

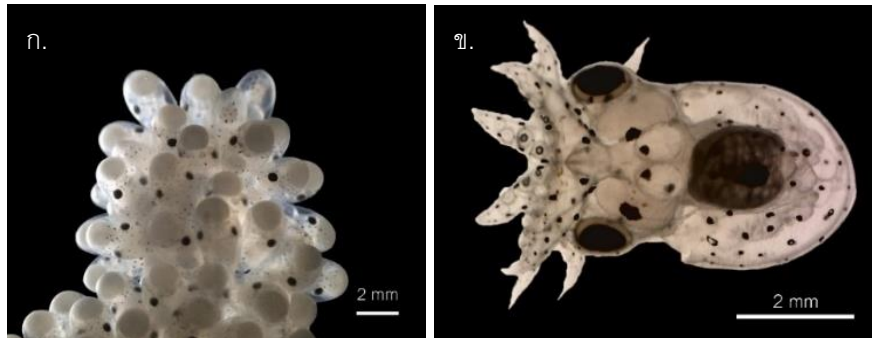
ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปแม่หมึกสายขาวจำนวน 3 ตัวที่วางไข่และความตกไข่

ตัวที่	น้ำหนักแม่หมึก (กรัม)	ความยาวลำตัว (เซนติเมตร)	น้ำหนักฟองไข่ (กรัม)	ขนาดไข่ (มิลลิเมตร)		ความตกไข่ (ฟอง)
				ความยาว	ความกว้าง	
1	110.0	6.50	15.59	1.54 -1.92	0.65 -0.77	13,640
2	110.0	6.50	16.82	1.78 -1.87	0.58 -0.72	12,618
3	50.20	4.55	3.24	1.54 -1.92	0.65 -0.77	5,607
ค่าเฉลี่ย±SD	90.07±34.53	5.85±1.13	13.42±4.86	1.84±0.10	0.66±0.05	10,622±4,373



ภาพที่ 1 ก. พฤติกรรมการสืบพันธุ์ของหมึกสายขาว (Reproductive Behavior)

ข. พฤติกรรมการอุ้มไข่ (Parental care)



ภาพที่ 2 ก. ไข่หมึกสาย ข. ลูกหมึกสายขาวระยะแรกฟัก



ภาพที่ 3 ลูกหมึกสายระยะลงพื้น

## สมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเพกติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกของเสาวรสที่ได้จากการทรีตด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

Prebiotic properties of pectic-oligosaccharides obtained from subcritical water treatment of passion fruit peel

ทวีศักดิ์ ถานะ<sup>1</sup> และ ปราโมทย์ คุวิจิตรจารู<sup>1</sup>

Thaweesak Tana<sup>1</sup> and Pramote Khuwittjaru<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเพกติกโอลิโกแซคคาไรด์ (POS) ที่ผลิตด้วยการทรีตเปลือกเสาวรสในน้ำกึ่งวิกฤต 2 ขั้นตอน และแยก POS ที่ได้ด้วยเมมเบรน ซึ่งสามารถแยก POS ได้ 4 ส่วนที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันและมีร้อยละผลผลิต (เทียบกับเพกตินทั้งหมด) เป็นดังนี้ คือ POS4 (>5 kDa) 72.56, POS3 (3-5 kDa) 10.62, POS2 (1-3 kDa) 5.34 และ POS1 (>1 kDa) 8.28 จากนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของเพกติน POS4 และ POS3 ที่ผลิตได้โดยการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR2365 และเปรียบเทียบกับฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ทางการค้า พบว่า POS3 มีคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกเช่นเดียวกับ FOS

**คำสำคัญ :** น้ำกึ่งวิกฤต เพกติกโอลิโกแซคคาไรด์ การหมัก และพรีไบโอติก

### Abstract

The objective of this research was to study the prebiotic properties of pectic-oligosaccharides (POS) obtained by two steps of subcritical water treatment of passion fruit peel and purification with membrane filtration. The oligosaccharides was separated into 4 parts with different molecular sizes and yield (% of total pectin) including POS4 (>5 kDa) 72.56, POS3 (3-5 kDa) 10.62, POS2 (1-3 kDa) 5.34, and POS1 (>1 kDa) 8.28. Then, prebiotic properties of produced pectin, POS4 and POS3 by fermentation with *Lactobacillus acidophilus* TISTR2365, compared with commercial fructo-oligosaccharides (FOS) were analyzed and it was found that POS3 exhibited the similar prebiotic properties to FOS.

**Keywords:** subcritical water, pectic-oligosaccharide, fermentation, prebiotic

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมน้ำผลไม้มีความหลากหลายมากขึ้น และเพื่อตอบสนองวิถีชีวิตการดูแลสุขภาพของผู้บริโภคมากขึ้น เสาवरสจึงเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำผลไม้และรับประทานผลสด โดยปริมาณผลผลิตเสาวรสในประเทศไทย ในปีพุทธศักราช 2558 มีประมาณ 12,254 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) เสาवरส 1 ผลสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งผล โดยส่วนที่ทานได้ของเสาวรสนั้นอุดมไปด้วยวิตามินซี สารแอนติออกซิแดนซ์ มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน และมีกลิ่นหอมมากกว่าผลไม้ชนิดอื่น ส่วนเปลือกของเสาวรสนั้นเหมาะสมในการเป็นแหล่งวัตถุดิบใหม่ในการผลิตเพคตินเป็นอย่างมาก เนื่องจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักผลสด และมีปริมาณเพคตินได้สูงถึงประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักเปลือกทั้งหมด (Khuwijitjaru & Klinchongkon, 2019) โดยเปลือกเสาวรสสายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไทยมีปริมาณเพคตินที่สกัดได้ด้วยกรดไนตริกร้อยละ 10.4 โดยน้ำหนักแห้ง (Klinchongkon et al., 2017)

นอกจากเปลือกเสาวรสมีความเหมาะสมในการผลิตเพคตินแล้ว เปลือกเสาวรสยังเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการสกัดโอลีโอแซคคาไรด์ ด้วยเช่นกัน เนื่องจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณเส้นใยอาหารถึงร้อยละ  $62.65 \pm 0.33$  โดยแบ่งเป็นเส้นใยไม่ละลายน้ำร้อยละ  $43.43 \pm 1.74$  และเส้นใยละลายน้ำร้อยละ  $19.22 \pm 2.07$  (Macagnan et al., 2015) โดยตัวอย่างเส้นใยละลายน้ำก็คือ เพคตินหรือเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก

สารพรีไบโอติก คือส่วนผสมอาหารที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้และมีประโยชน์ต่อร่างกายเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการเจริญและเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในร่างกาย (Sabater et al., 2019) ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ก็จะนำมาซึ่งสารประกอบที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นด้วย เช่น กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid, SCFA) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะทำให้ร่างกายมีระบบภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น (Lomax & Calder, 2008) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่สำคัญในการสร้างกรดไขมันสายสั้น จากการหมักสารประกอบคาร์โบไฮเดรต คือ *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* และ *Eubacterium* (Gómez, Gullón, Yáñez, Schols, & Alonso, 2016)

การผลิตเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์สามารถทำได้โดยการนำสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ เช่น เพคติน ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มาลดขนาดโมเลกุลลง ซึ่งอาจเป็นการใช้เอนไซม์ การใช้กรด การใช้คลื่นไมโครเวฟ หรืออัลตราซาวด์ และการใช้น้ำกึ่งวิกฤต เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีไฮโดรไลซิสด้วยน้ำกึ่งวิกฤต (subcritical water) โดยวิธีดัดตัวอย่างในภาชนะแบบกะ (batch-type) เพื่อให้ได้เพคตินในขั้นแรก จากนั้นวิธีอีกครั้งด้วยน้ำกึ่งวิกฤตในภาชนะแบบต่อเนื่อง (flow-type) เพื่อให้ได้สารสกัดเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์ จากนั้นนำสารสกัดเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์ที่ได้ไปทำบริสุทธิ์ต่อด้วยการใช้เมมเบรน ซึ่งจะสามารถแยกเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์ได้ 4 ส่วน คือ POS4 (>5 kDa), POS3 (3-5 kDa), POS2 (1-3 kDa) และ POS1 (>1 kDa) จากนั้นเพคติกโอลีโอแซคคาไรด์ที่ได้ทั้ง 4 ส่วนจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเพกติกโอลิโกแซคคาไรด์ (POS) ที่ผลิตได้ด้วยการทรีตเป็ลือกเสาวรสดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

## อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง นำผลเสาวรสด มาผ่าออกแล้วแยกเนื้อและเมล็ดออกไป จากนั้นนำส่วนของเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด Hummer mill โดยใช้ตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร และเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอศึกษาต่อไป

การทรีตเป็ลือกเสาวรสดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต ในภาชนะแบบกะ (batch-type) นำผงเปลือกเสาวรสดแห้ง 5 กรัม มาผสมน้ำ 80 กรัม ในเวสเซลทนความร้อนและความดัน ปิดเวสเซลแล้วนำไปใส่ใน mantle heater (200 W, Heater Engineer, Tokyo, Japan) เพื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองตัวอย่างที่ทรีตแล้วด้วยผ้าไนลอนขนาด 32 ไมครอน นำของเหลวที่แยกได้นั้นไปปั่นเหวี่ยง 12,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที นำของเหลวหลังปั่นเหวี่ยงได้ทำให้เข้มข้นขึ้น 4 เท่า ด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน และตกตะกอนเพกตินด้วยเอทานอล 95% ในอัตราส่วนของเหลวเข้มข้นต่อเอทานอล 1:2 v/v ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นแยกตะกอนเพกตินที่ได้และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การทรีตเพกติกโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้ด้วยน้ำกึ่งวิกฤตในระบบแบบต่อเนื่อง (flow-type) นำเพกติน (pectin) ที่ได้มาละลายในน้ำอุ่น (ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส) ภายใต้การกวนตลอดเวลา ให้ได้ความเข้มข้น 0.4% w/v จากนั้นนำสารละลายเพกตินที่เตรียมไปทรีตด้วยน้ำกึ่งวิกฤตในภาชนะแบบต่อเนื่อง (flow-type) ดังภาพที่ 1 โดยระบบการทรีตด้วยน้ำกึ่งวิกฤต ในภาชนะแบบต่อเนื่องประกอบไปด้วย บั๊มความดันสูง (LC-20AD ที่ดูดสารละลายเพกตินเข้าสู่ท่อ สแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตร ยาว 9.85 เมตรโดยท่อจะถูกจุ่มในซิลิโคน (silicone oil) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยมีเทอร์โมคัปเปิล type K เป็นตัวติดตามอุณหภูมิ ซึ่งสารจะไหลผ่านท่อที่จุ่มในซิลิโคนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจะไหลผ่านท่อที่ถูกแช่ในอ่างน้ำเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา ความดันภายในท่อถูกควบคุมด้วย back-pressure valve ให้มีค่า 5 MPa ตลอดการทดลอง (Klinchongkon, Khuwijitjaru, & Adachi, 2017)

การทำบริสุทธิ์เพกติกโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้ด้วย ultrafiltration นำสารสกัดที่ได้จากการทรีตอีกครั้งด้วยน้ำกึ่งวิกฤตแบบต่อเนื่อง (Crude POS) มากรองด้วย ultrafiltration ใน Amicon® stirred cell (Merck Millipore, Germany) โดยใช้เมมเบรนที่มี MWCO (molecular weight cut off) ขนาดที่เหมาะสมกับขนาดโมเลกุลที่ต้องการ คือ 5, 3 และ 1 kDa ซึ่งจะได้ตัวอย่างแต่ละส่วนดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้น POS ที่ได้แต่ละส่วนจะถูกนำไปทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-dry)

การทดสอบคุณสมบัติฟรีไบโอติกของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ MRS ที่เติมแหล่งคาร์บอนแตกต่างกันในปริมาณ 10 g/L โดยออกเป็น 5 สูตร คือ control (ไม่มีแหล่งคาร์บอน), POS3, POS4, Pectin และ FOS จากนั้นเติมเชื้อจุลินทรีย์ (inoculum) *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ที่ผ่านการบ่มในอาหาร MRS ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน จนมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1 (เอกภพ, 2555) ลงในอาหารแต่ละสูตรที่ถูกเตรียมในหลอดทดลองที่ระดับ 1%v/v จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน และเก็บผลการทดลองที่เวลาผ่านไป 0, 6, 12, 18, 24, 36, 60 และ 72 ชั่วโมง และติดตามผลการทดลองโดยการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

## ผลและวิจารณ์

ร้อยละผลผลิตของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ พบว่า POS ที่แยกได้ทั้ง 4 ส่วนมีปริมาณร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้ คือ POS4 (72.56), POS3 (10.62), POS2 (5.34) และ POS1 (8.28) ซึ่งจะเห็นได้ว่า POS4 มีปริมาณร้อยละผลผลิตมากที่สุด ตามมาด้วย POS3, POS1 และ POS2 เนื่องจากกระบวนการฟิตด้วยน้ำกึ่งวิกฤต ในภาชนะแบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ยังคงเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรง และได้ผลผลิต POS ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า 5 kDa ในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gómez, Gullón, Yáñez, Schols, & Alonso (2016) ที่ผลิต POS จากเปลือกเลมอน และกากหับพีท ด้วยวิธี hydrothermal treatment ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าได้ POS ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในช่วง 5.9-11.8 kDa เช่นเดียวกัน และเมื่อดูในภาพที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่า ส่วนของ POS4 มีสีน้ำตาลที่อ่อนกว่า POS1 หรือ POS2 ทั้งนี้เนื่องจาก POS4 ประกอบไปด้วยสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่ POS1 และ POS2 น่าจะประกอบด้วยด้วยสารประกอบที่ได้มาจากการย่อยสลายของสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ที่อุณหภูมิสูง เช่น สารประกอบจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือสารประกอบจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล เป็นต้น

การทดสอบคุณสมบัติฟรีไบโอติกของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ จากการนำ Pectin, POS4, POS3 ที่เตรียมได้ไปทดสอบความเป็นฟรีไบโอติก โดยเปรียบเทียบกับ FOS ทางการค้า พบว่า POS3 และ POS4 พบว่ามีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ ดังภาพที่ 4a โดยเห็นได้ชัดว่า เมื่อทำการหมักเชื้อจุลินทรีย์ไป 18 ชั่วโมง พบว่ามีค่า OD 600 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 36 ชั่วโมง เช่นเดียวกับค่า pH ในภาพที่ 4b ที่มีค่าลดลงในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งค่า pH ที่ลดลงนั้นเนื่องมาจากกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นในระหว่างมีการเจริญเติบโต เช่น lactate, acetate และ propionate เป็นต้น (Gullón, Gullón, Sanz, Alonso, & Parajó, 2011)

## สรุป

จากผลการทดลองพบว่าน้ำกึ่งวิกฤตสามารถนำมาใช้ในการผลิตเพกติกโพลิโกแซคคาไรด์ (POS) จากเปลือกเสาวรสได้ ตลอดจนเทคนิคการทำบริสุทธิ์ด้วยเมมเบรนดีก็สามารถนำมาใช้เพื่อแยกขนาดโมเลกุลของเพกติกโพลิโกแซคคาไรด์ได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเพกติกโพลิโกแซคคาไรด์ในส่วนของ POS3 ที่มีขนาดโมเลกุลประมาณ 3 kDa มีคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกเช่นเดียวกับฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ทางการค้าอีกด้วย

## คำขอขอบคุณ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การผลิตและสมบัติของเพกติกโพลิโกแซคคาไรด์จากเศษเปลือกเหลือทิ้งของเสาวรสด้วยน้ำกึ่งวิกฤต” ได้รับทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559 (SURDI 59/01/51) ผ่านสำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). รายงานข้อมูลภาวะการผลิตพืช (รต.01) แบบรายปี 2558/59.

<http://production.doae.go.th/>

เอกภพ สีนงาม. (2555). การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากแก่นตะวัน.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

de Oliveira, C. F., Giordani, D., Lutckemier, R., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., & Marczak, L. D. F. (2016).

Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 110-115.

Gómez, B., Gullón, B., Yáñez, R., Schols, H., & Alonso, J. L. (2016). Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation. *Journal of Functional Foods*, 20, 108-121.

Gullón, B., Gullón, P., Sanz, Y., Alonso, J. L., & Parajó, J. C. (2011). Prebiotic potential of a refined product containing pectic oligosaccharides. *LWT-Food Science and Technology*, 44(8), 1687-1696.

Klinchongkon, K., Chanthong, N., Ruchain, K., Khuwijitjaru, P., & Adachi, S. (2017). Effect of ethanol addition on subcritical water extraction of pectic polysaccharides from passion fruit peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5): e13183.

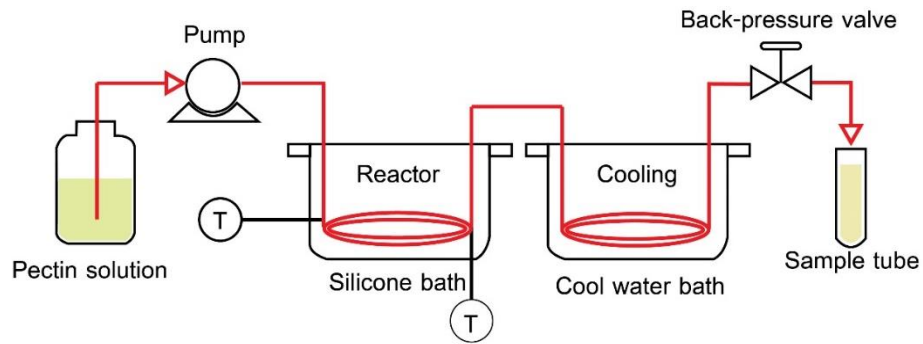
Klinchongkon, K., Khuwijitjaru, P., & Adachi, S. (2017). Degradation kinetics of passion fruit pectin in subcritical water. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 81(4), 712-717.

Khuwijitjaru, P. & Klinchongkon, K. (2019). Passion fruit. In *Valorization of Fruit Processing By-Products*, Galanakis, C. (ed). pp. 183-202. Academic Press.

Lomax, A. R., & Calder, P. C. (2008). Prebiotics, immune function, infection and inflammation: a review of the evidence. *British Journal of nutrition*, 101(5), 633-658.

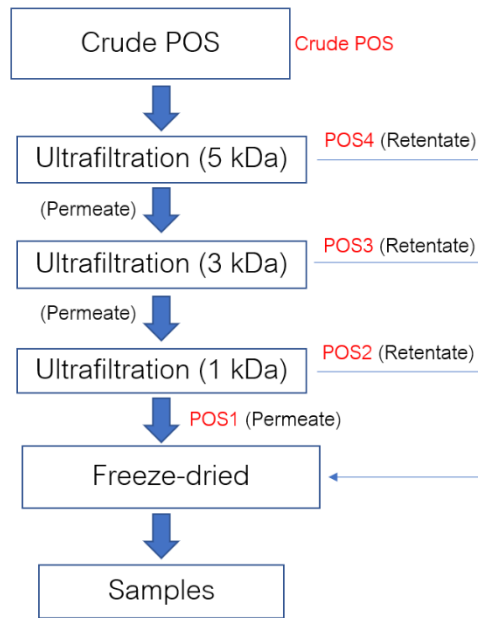
Macagnan, F. T., dos Santos, L. R., Roberto, B. S., de Moura, F. A., Bizzani, M., & da Silva, L. P. (2015). Biological properties of apple pomace, orange bagasse and passion fruit peel as alternative sources of dietary fibre. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 6(1), 1-6.

Sabater, C., Fara, A., Palacios, J., Corzo, N., Requena, T., Montilla, A., & Zárata, G. (2019). Synthesis of prebiotic galactooligosaccharides from lactose and lactulose by dairy propionibacteria. *Food microbiology*, 77, 93-105.

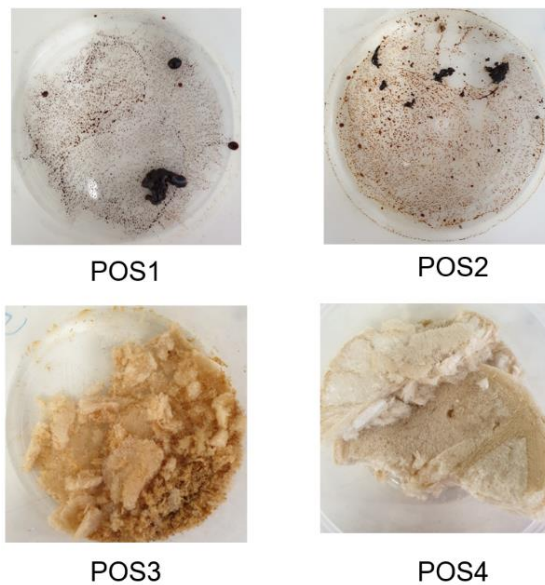


ภาพที่ 1 น้ำกึ่งวิกฤตในระบบแบบต่อเนื่อง (flow-type)

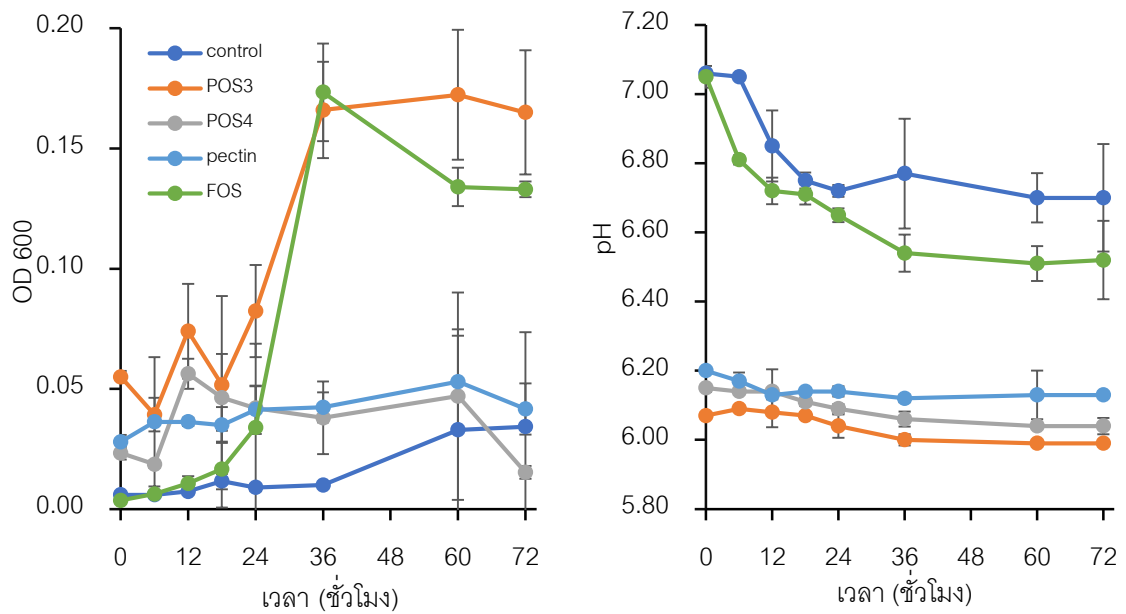




ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการแยกเพคติกโพลีไกลูแซคคาไรด์



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ส่วน ที่ได้จากการทำบริสุทธิ์ด้วยเมมเบรน



ภาพที่ 4 (a) การเจริญเติบโต และ (b) ค่า pH ของเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ในอาหาร 5 สูตร คือ control (ไม่เติมแหล่งคาร์บอน), POS3, POS4, Pectin และ FOS

# การศึกษาและออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็นแบบปิด

## The Study and Design of Heat Transfer Enhancement of Close Wet Cooling Tower

พรชัย เศรษฐพงษ์<sup>1</sup>, ศิริพล ทองอ่อน<sup>2</sup> และ จันทิมา รวีฉายเงิน<sup>3</sup>

Pornchai Saththapong<sup>1</sup>, Siripol Tongorn<sup>2</sup> and Chantima Rewlay-ngoeng<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหอทำความเย็นระบบปิด (Closed Wet Cooling Tower) ขนาด 200 ตันทำความเย็น จากการศึกษาพบว่าหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนคืออุณหภูมิบรรยากาศ ช่วงเวลา 13.00-16.00 น. อุณหภูมิบรรยากาศของประเทศไทย โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนสูงกว่า  $36^{\circ}\text{C}$  ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจึงทำการเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าวโดยการลดอุณหภูมิรอบแผงทำความเย็น โดยการพ่นละอองน้ำขนาด 20-70 ไมครอน ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 10 ลิตรต่อวินาที และเปลี่ยนระยะห่างการพ่นละอองน้ำ 20,30,40, 50 และ 60 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะห่างการพ่นละอองน้ำที่ 30 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ  $2.68^{\circ}\text{C}$  รองลงมาคือที่ 40 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ  $2.23^{\circ}\text{C}$  และที่ระยะห่าง 20 และ 50 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ  $2.06^{\circ}\text{C}$  และ  $1.68^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ขณะที่ 60 เซนติเมตร ไม่สามารถลดอุณหภูมิของการแลกเปลี่ยนความร้อนลงได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่า จะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 เดือน ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมได้ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการฉีดพ่นสเปรย์

**คำสำคัญ :** การระบายความร้อนด้วยน้ำ วิธีการสเปรย์น้ำ หอทำความเย็น

### Abstract

The objective of this research is to increase heat transfer efficiency in a 200-ton closed wet cooling tower. According to the study, it was found that one of the factors affecting heat transfer is the atmospheric temperatures from 13.00 - 16.00 hrs. The atmosphere temperatures in Thailand, especially in the summer season are usually higher than  $36^{\circ}\text{C}$ , resulting in the reduction of heat transfer efficiency. Therefore, to increase the efficiency of the heat transfer, it could be done by reducing the temperature around the cooling panel with the methods of spraying 20-70 microns of water with a flow rate of 10 liters per minute and changing the spraying distance of 20, 30, 40, 50 and 60 centimeters. The results showed that at the spray distance at 30 centimeters can decrease the temperature to a maximum of  $2.68^{\circ}\text{C}$ , followed by at 40

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร แขวงวงศ์สว่าง บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800, Thailand

centimeters being able to decrease the temperature to about 2.23 °C, and at a distance of 20 and 50 centimeters being able to decrease the temperature about 2.06 °C and 1.68 °C respectively, while at 60 centimeters cannot decrease the temperature of the heat transfer. Moreover, when analyzing the breakeven point, it was found that there will be a payback period of approximately 7 months. The results of this study could be used as a way to increase heat transfer efficiency in industrial plants. However, there should be some additional studies on the water flow rate used for spraying.

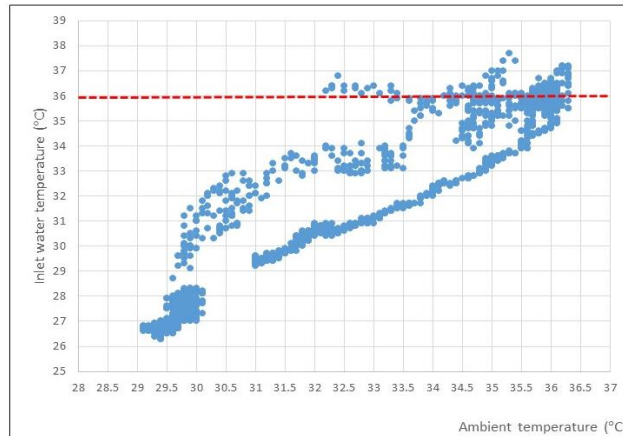
**Keywords:** Water cooling, Water spray method, Closed wet cooling tower

## บทนำ

ในกระบวนการการผลิตของอุตสาหกรรมต่างๆส่วนหนึ่งของกระบวนการจะเกิดความร้อน โดยความร้อนส่วนที่เกินต้องถูกระบายทิ้ง ได้แก่บรรยากาศ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ระบายความร้อนสู่บรรยากาศ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามรูปแบบการถ่ายเทความร้อนได้แก่ การส่งอากาศเข้าไปรับความร้อน โดยอาศัยหลักการการถ่ายโอนความร้อนสัมผัส (Sensible heat) อากาศที่เข้าไปรับความร้อนจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศและสารที่เป็นตัวกลางในการระบายความร้อนและรูปแบบที่สองคืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง (Latent heat) ร่วมด้วย อุปกรณ์ที่เรียกว่าหอทำความเย็น (Cooling tower) มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง โรงงานอุตสาหกรรมนิยมทำหอทำความเย็นมาใช้เป็นตัวกลางรับความร้อน โดยหลักการทำงานของหอทำความเย็นจะใช้น้ำเป็นตัวกลางรับความร้อนและวนเข้าไปในหอทำความเย็นผ่านหัวฉีดน้ำให้เป็นละอองฝอยและไหลผ่านแผงกระจายละอองน้ำและไหลผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ขณะเดียวอากาศจะถูกดูดให้สัมผัสกับน้ำ เกิดการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสจากน้ำสู่บรรยากาศ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิของกระเปาะเปียกของอากาศ (Wet temperature) และเกิดการระเหยของน้ำบางส่วนออกจากน้ำไหลเวียน ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนแฝง ในงานอุตสาหกรรมน้ำมันหล่อลื่น จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่ต้องนำระบายความร้อนจากหอทำความเย็นที่สะอาดไม่มีตะกรันและตะไคร่น้ำ ดังนั้นการระบายความร้อนด้วยหอทำความเย็นจะต้องเป็นระบบปิด (Closed cooling tower) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง เนื่องจากการสัมผัสโดยตรงจะทำให้เกิดความสกปรกและมีสิ่งปนเปื้อนเช่น ฝุ่นละออง จากรูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องเป่าพลาสติกจะต้องน้อยกว่า 37 °C ปัจจุบันอุณหภูมิเฉลี่ยโดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ตั้งแต่มีนาคม – พฤษภาคม ค่อนข้างสูง ส่งผลต่อระบบกับงานที่ออกแบบไว้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนของหอทำความเย็น ระบบการฉีดพ่นสเปรย์น้ำจะทำงานเมื่ออุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่า 36 °C โดย หนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำคืออุณหภูมิภายนอก พบว่าช่วงเวลา que อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสูงกว่า 36 °C คือตั้งแต่ 13.00-16.00 น.

การระบายความร้อนในหอทำความเย็นนิยมใช้ 3 รูปแบบ คือแบบพ่นฉีด เซาวิตรและคณะ (2557) แบบหยด และแบบใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแต่ละแบบต่างก็มีข้อจำกัด เช่น แบบใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำมีต้นทุนที่สูง ส่วนแบบหยดการระบายความร้อนเหมาะเฉพาะตำแหน่งเท่านั้น เป็นต้น

งานวิจัยนี้สนใจการระบายความร้อนแบบพ่นฉีดเนื่องจากการทำงานของซิลเลอรันั้นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากและทั้งนี้ก็จะพิจารณาความคุ้มค่ากับเงินลงทุนเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดสำหรับพ่นละอองน้ำ



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

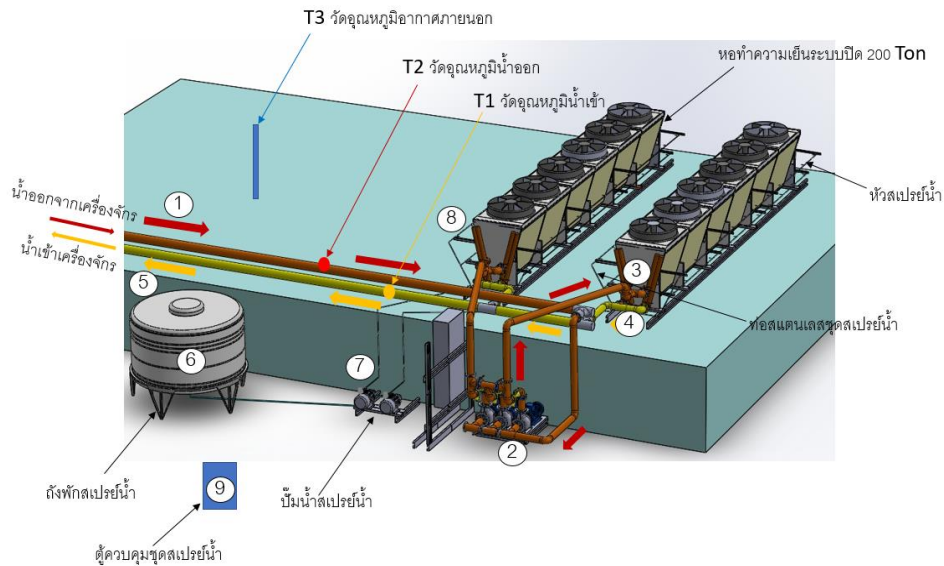
## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำความเย็นด้วยวิธีพ่นละอองน้ำ
2. เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำความเย็นด้วยวิธีพ่นละอองน้ำ

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. ทำการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบการทดลอง เช่น อุณหภูมิบรรยากาศ ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกระบบ สำหรับหอทำความเย็นที่ใช้ในการทดลองคือหอทำความเย็นยี่ห้อ Green Box รุ่น Fc 61/91 AC ของประเทศอิตาลี มีขนาด 200 ตันความเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศด้วยการใช้พัดลมด้านบนดูดอากาศภายนอกผ่านท่อคอนเดนเซอร์ที่อยู่ด้านในแต่ละด้านของชุดของชุดตัวเครื่องโดยหอทำความเย็นมีด้วยกัน 2 ชุด ใน 1 ชุดจะมีพัดลมระบายความร้อน 6 ตัว ทำงานตามภาระ (Load) โดยจะมีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรล โดยระบบทำความเย็นดังกล่าวใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันหล่อลื่น จ.ปทุมธานี

2. การออกแบบระบบพ่นละอองน้ำ จากรูปที่ 2 เส้นทางการไหลของน้ำที่ต้องการระบายความร้อนซึ่งอยู่ใน โดยที่ออกจากเครื่องจักรหมายเลข ① เข้าไปหาปั๊มน้ำหอทำความเย็นหมายเลข ② หลังจากนั้นน้ำในระบบจะเข้าส่งหอทำความเย็นหมายเลข ③ ทั้ง 1 ชุดหลังจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วน้ำจะไหลออกไปหมายเลข ④ และจะไปเข้าเครื่องหมายเลข ⑤ ในกรณีที่อุณหภูมิน้ำ  $T_1$  สูงเกิน 37 °C ระบบสเปร์รี่จะทำงานโดยชุดควบคุมที่ระบบคอนโทรลเลอร์ในการวัดค่าหมายเลข ⑨ จะสั่งให้ปั๊มน้ำสเปร์รี่หมายเลข ⑦ ทำงาน น้ำสเปร์รี่จะพ่นไปในคอนเดนเซอร์หมายเลข ③ ทั้ง 2 ด้าน หลังจากอุณหภูมิน้ำเข้า  $T_1$  ในระบบต่ำกว่า 35 °C ระบบสเปร์รี่จะหยุดทำงาน ทั้งนี้ น้ำที่ใช้ในการพ่นละอองน้ำจะใช้น้ำที่ผ่านการกรองในระบบ Reverse Osmosis (R.O.) ซึ่งจะอยู่ในถังพักน้ำหมายเลข ⑥



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของหอทำความเย็นหลังปรับปรุง

### 3. หัวฉีดละอองน้ำ

หัวฉีดละอองน้ำที่เลือกใช้เป็นชนิดพ่นละอองน้ำแบบกระจายตัวแบบ Atomizing hydraulic fine mist หัวฉีดทำโดยสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร น้ำละอองที่พ่นออกมามีลักษณะดังรูปที่ 3 โดยที่มีการพ่นน้ำที่มุม 20-70 องศา



รูปที่ 3 ชูตพ่นละอองน้ำ(PP Systems Co.,Ltd. 2012)

4. งานวิจัยนี้กำหนดอัตราการไหลของน้ำ 10 ลิตรต่อวินาที ความดัน 50 บาร์ และระยะห่างที่พ่นละอองน้ำจากแผงคอนเดนเซอร์ 0, 20, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ และช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคือ 13.00-16.00 น.

5. อัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการคำนวณ ร้อยละ 6.345 ต่อปี (ธ.กรุงไทย, 2563)

6. ค่าพารามิเตอร์การถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) ผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน, (2563) และระยะเวลาการคืนทุนข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำในหอ น้ำสเปร์ย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$Q = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \tag{1}$$

เมื่อ  $Q$  คือปริมาณการถ่ายเทความร้อน (kW);  $m$  คืออัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s);  $C_p$  คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ตรวจวัด (kJ/kg°C);  $T_1$  คืออุณหภูมิน้ำทางเข้าเครื่องลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (°C);  $T_2$  คืออุณหภูมิน้ำทางออกเครื่องลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (°C)

สำหรับการศึกษานี้ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉากกัน (Cross flow) การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$Q = UAF_t (LMTD) \quad (2)$$

เมื่อ  $U$  คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม  $W/(m^2K)$ ;  $A$  พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ( $m^2$ );  $LMTD$  คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิแบบล็อกมีน (Logarithmic Mean Temperature Difference: LMTD);  $F_t$  คือแฟคเตอร์แก้ไข (Correction factor) ของ LMTD โดยมีค่าไม่เกิน 1

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) คือปริมาณความเย็นที่ได้ ( $Q$ ) เทียบกับพลังงานที่ใช้ ( $W$ ) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (3)$$

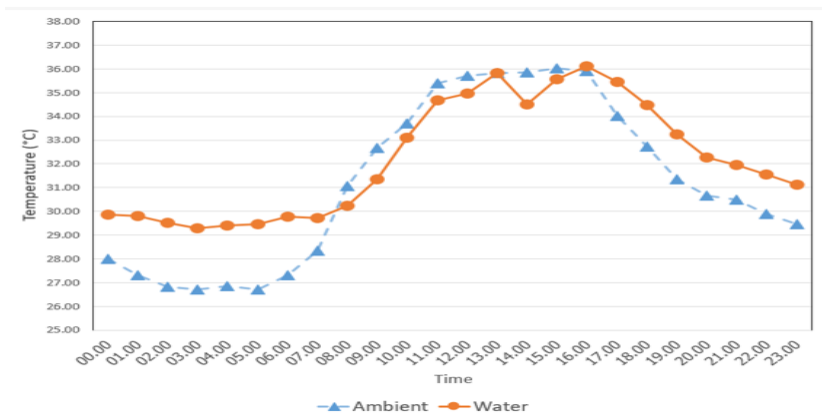
การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

เมื่อ NPV คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท);  $C_0$  คือเงินลงทุนในโครงการ (บาท);  $C_t$  คือต้นทุนในการดำเนินงานของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่  $t$  (บาท);  $B_t$  คือผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่  $t$  (บาท)  $t$  คือระยะเวลา (ปี);  $r$  คือดอกเบี้ย (%) ;  $n$  คือจำนวนปีที่ดำเนินโครงการ (ปี)

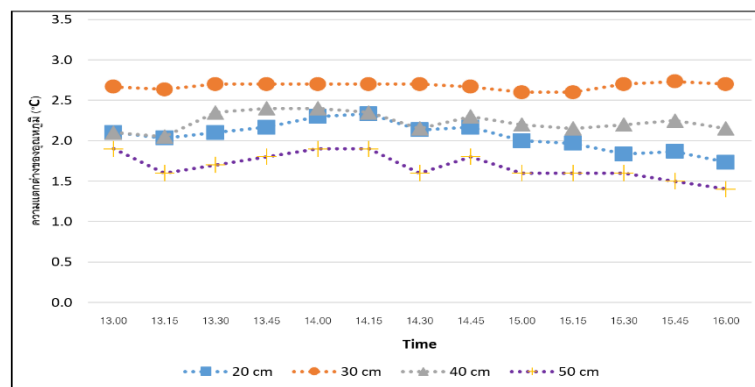
## ผลและวิจารณ์

1. ความสัมพันธ์อุณหภูมิน้ำ ( $T_1$ ) และอุณหภูมিবรรยากาศในแต่ละช่วงเวลา ดังรูปที่ 4 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่า  $36^\circ C$  ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำคืออุณหภูมิภายนอกพบว่าช่วงเวลาที่อุณหภูมิของน้ำสูงกว่า  $36^\circ C$  คือโดยเฉลี่ยพบว่าตั้งแต่ 13.00-16.00 พบว่าช่วงเวลาที่น้ำสูงกว่า  $36^\circ C$  ดังนั้นการศึกษานี้จึงพิจารณาเฉพาะนี้เท่านั้น ทั้งนี้จากรูปอาจจะมีความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิน้ำ เนื่องจากในช่วงที่ทำการทดลองส่วนใหญ่อุณหภูมิ  $T_1$  ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00 น. จะสูงกว่า  $36^\circ C$  ดังนั้นจำเป็นต้องลดอุณหภูมิเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิของน้ำ ( $T_1$ ) ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิ ( $T_2 - T_1$ ;  $\Delta T$ ) กับระยะที่สเปรย์น้ำในช่วงการทดลองตามข้อมูลดังรูปที่ 5 หากมีการสเปรย์น้ำที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที ความดัน 50 บาร์ พบว่าที่ระยะ 60 cm ไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้ เนื่องจากน้ำที่สเปรย์เข้าไปไม่ถึงแผงคอนเดนเซอร์และ ที่ระยะ 20 และ 30 cm สามารถลดอุณหภูมิได้ไม่แตกต่างกัน ประมาณ  $2.15^\circ\text{C}$  ที่ระยะ 30 cm เซนติเมตร ยังสามารถลดได้แต่ไม่มากพอประมาณ  $1.68^\circ\text{C}$  ส่วนระยะ ที่ 30 cm เป็นระยะที่สามารถลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด คือประมาณ  $2.68^\circ\text{C}$  เนื่องจากสามารถฉีดละอองน้ำได้เต็มหน้าสัมผัสของแผงคอนเดนเซอร์มากกว่าทุกระยะที่ทำการศึกษา

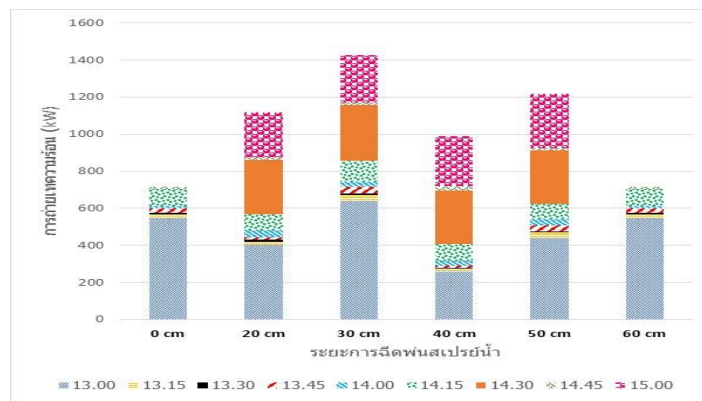


รูปที่ 5 การลดลงของอุณหภูมิจากการระบายความร้อนจากการสเปรย์น้ำ

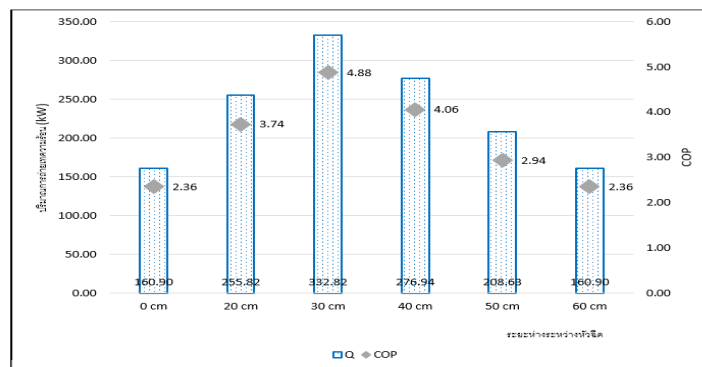
3. การคำนวณทางด้านถ่ายเทความร้อน จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงการถ่ายเทความร้อนในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากเป็นการรวบรวมข้อมูลจริงของโรงงานอุตสาหกรรม ที่ระยะ 0 บางช่วงเวลาไม่มีการถ่ายเทความร้อน หมายความว่า ช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถรวบรวมข้อมูลได้ ต้องมีการฉีดพ่นสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และที่ระยะการฉีดพ่นสเปรย์น้ำที่ 60 เซนติเมตร ก็เช่นเดียวกัน จำเป็นต้องลดอุณหภูมิเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ปกติ ในการศึกษานี้ได้กำหนดเวลาฉีดสเปรย์น้ำ เวลา 14.30 และ 15.30 และช่วงประมาณ 12.30 มีการฉีดพ่นสเปรย์น้ำทุกวัน เนื่องจากน้ำที่เข้าสูงเกินกว่า  $36^\circ\text{C}$  ซึ่งระบบการทำงานไม่สามารถทำงานได้ จึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำขาเข้า ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนระยะเริ่มต้นไม่เท่ากัน จากนั้นระบบจะมีการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็น จะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนแต่ละช่วงเวลา และแต่ละระยะใกล้เคียงกัน และเมื่อมีการฉีดสเปรย์น้ำสเปรย์น้ำพบว่า ที่ระยะ 30 cm มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด



เนื่องจากน้ำที่ระยะดังกล่าวสามารถพ่นได้ทั้งแผง และเมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวม พบว่าที่ระยะ 20 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน 255.82 kW ที่ระยะ 30 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน 332.82 kW ที่ระยะ 40 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน 276.82 kW ที่ระยะ 50 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน 208.63 kW ที่ระยะ 60 เซนติเมตร มีอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน 160.96 kW (เพราะไม่สามารถลดอุณหภูมิ) และเมื่อเปรียบเทียบค่า COP เฉลี่ยในแต่ละระยะพบว่าหอทำความเย็นที่ติดตั้งชุดสปริงที่ระยะ 30 cm มีสมรรถนะสูงที่สุดคือ 4.88 และระยะห่างที่ 40 คือ 4.06 ระยะห่างที่ 20 คือ 3.74 ระยะห่างที่ 50 คือ 2.94 ตามลำดับ

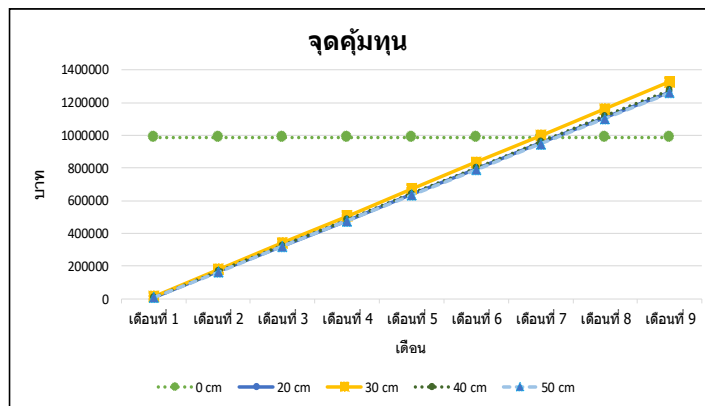


รูปที่ 6 การถ่ายเทความร้อนในหอทำความเย็นในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 7 ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Q) และ COP

4. การแสดงจุดคุ้มทุนหลังการติดตั้งสปริงน้ำและระยะเวลาคืนทุน ดังรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าหากไม่มีการติดตั้งเครื่องฉีดสปริงน้ำจะมีค่าใช้จ่ายประมาณเดือนละ 988,788 บาท/เดือน โดยต้นทุนการติดตั้งหัวฉีดประมาณ 150,000 บาท ถ้าอัตราดอกเบี้ย 6.345% ต่อปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.70 บาท/เดือน พบว่าทุกระยะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7-8 เดือน แต่ที่ระยะ 30 เซนติเมตร คืนทุนเร็วที่สุด ประมาณ 7 เดือน



รูปที่ 8 จุดคุ้มทุนของการฉีดพ่นสเปรย์น้ำ

### สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยกรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาแนวทางการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของหอทำความเย็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ แนวทางการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีหลายวิธีงานกรณีศึกษานี้ทำการลดอุณหภูมิรอบแฉงทำความเย็น โดยการพ่นละอองน้ำขนาด 20-70 ไมครอน ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 10 ลิตรต่ออนาที และเปลี่ยนระยะห่างการพ่นละอองน้ำ 20,30 ,40 , 50 และ 60 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะห่างการพ่นละอองน้ำที่ 30 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 2.68 °C รองลงมาคือที่ 40 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 2.23 °C และที่ระยะห่าง 20 และ 50 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 2.06 และ 1.68°C ตามลำดับ ขณะที่ 60 เซนติเมตร ไม่สามารถลดอุณหภูมิของการแลกเปลี่ยนความร้อนลงได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนความร้อนต่อตันของหอทำความเย็นพบว่า ที่ระยะ 30 cm ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนประมาณ 1.66 kW/ton รองลงมาคือที่ระยะ 40 และ 20 cm ประมาณ 1.33 kW/ton และที่ระยะ 50 cm ประมาณ 1.04 kW/ton และหากไม่มีการฉีดพ่นสเปรย์น้ำหอทำความเย็นดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อน 0.80 kW/ton เมื่อเปรียบเทียบค่า COP เฉลี่ยในแต่ละระยะพบว่าหอทำความเย็นที่ติดตั้งชุดสเปรย์ที่ระยะ 30 cm มีสมรรถนะสูงที่สุดคือ 4.88 และระยะห่างที่ 40 cm ค่า COP เท่ากับ 4.06 ระยะห่างที่ 20 cm ค่า COP เท่ากับ 3.74 ส่วนระยะห่างที่ 50 cm ค่า COP เท่ากับ 2.94

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่ากับการลงทุนพบว่าการติดตั้งเครื่องฉีดสเปรย์น้ำจะมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงและระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 เดือน

ทั้งนี้ในการศึกษาคั้งนี้ควรพิจารณาปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงจากความร้อนแฝง (Latent heat) และความร้อนสัมผัส (Sensible heat) เนื่องจากระบบดังกล่าวมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ คือช่วงน้ำที่สเปรย์ไปยังคอนยเดนเซอร์ และความร้อนแฝงจากการที่น้ำสเปรย์ไปยังแผงคอนเดนเซอร์ ที่ใช้อากาศในการระบายความร้อน รวมทั้งพิจารณาอัตราการไหลของน้ำเพิ่มเติม ซึ่งถือเป็นหนึ่งปัจจัยในการระบายความร้อนดวงฤติ และคณะ (2552) ได้สรุปข้อมูลไว้ว่าที่อัตราการไหลของน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพต่อการระบายความร้อน เช่นเดียวกับ Mahdi and Jaffal (2016) ได้สรุปเช่นเดียวกันคืออัตราการไหลของน้ำและอากาศส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน และ ปิยดน้อย (2559) ได้สรุปว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อาจส่งผลต่อการระบายความร้อนร่วมด้วย ซึ่งควรพิจารณาในการศึกษาร่วมด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ต้องขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ และขอขอบคุณ บริษัท พรีเมียมดูบริแค้นท์ ที่ให้ใช้สถานที่ในการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- เชาวลิตร ตีฉ่ำ กิติพงษ์ เจาจารีก.(2557). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยการพ่นละอองน้ำที่คอยล์ร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 15/17 ตุลาคม 2557 จ. ชอนแก่น.
- ดวงฤดี ชูตระกูล, พิชัย อัมมมงคล และอโณทัย สุขแสงพนม. (2553). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำน้ำเย็นระบบปิดแบบไหลขวางกัน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 2 ฉบับพิเศษที่ 1 หน้า 47-58.
- ธนาคารกรุงไทย (2563). อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ , [ออนไลน์] , แหล่งที่มา: <https://krungthai.com/th/rates> [25/4/2563]
- ปิยฉนัย ภาชนะพรรณณ์. (2559). การลดค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบซิลเลอร์: กรณีศึกษากระบวนการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 152 – 154.
- ผู้ตรวจฯ สอบ และรับ ร้อง การ จัด การ พ ลั ง งาน . ( 2 5 6 3 ) . [ สืบ คั น วัน ที่ 2 เม ษ า ย น 2 5 6 3 ] [www.Energyauditorthai.com/wp-content/uploads/2017/01/09-บทที่8-หอผึ่งน้ำ-.pdf](http://www.Energyauditorthai.com/wp-content/uploads/2017/01/09-บทที่8-หอผึ่งน้ำ-.pdf)
- Mahdi, Q.S. and Jaffal, H.M. (2016). Thermal Characteristics of Closed Wet Cooling Tower Using Different Heat Exchanger Tubes Arrangement. Journal of Engineering (1) Volume 22, 140 – 158.

# ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี

## EFFECT OF PLYOMETRIC TRAINING ON LEGS MUSCLE POWER IN WRESTLERS AT SUPHUNBURI SPORTS SCHOOL

วารภรณ์ แก้วเมฆ<sup>1</sup>

Varaporn Kaewmak<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยกึ่งทดลองครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี กลุ่มตัวอย่างวิจัยเป็นนักกีฬามวยปล้ำชายที่ศึกษาอยู่ในโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 30 คน อายุระหว่าง 13-18 ปี โดยได้มาจากการเลือกเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ได้รับการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ระยะเวลาในการฝึก 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน ได้แก่วันจันทร์ พุธและศุกร์ ใช้เวลาฝึกแต่ละครั้ง 60 นาที ทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาโดยการยืนกระโดดไกล ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ แล้วทำการหาค่าความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีการของซีแดค (Sidak) ผลการวิจัยพบว่า 1) ค่าเฉลี่ยของการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกหลังสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 178.30 (SD = 18.52), 185.97 (SD = 18.48) และ 197.77 (SD = 18.44) ตามลำดับ 2) ผลการทดสอบระดับสมรรถภาพทางกายพลังกล้ามเนื้อขา พบว่าก่อนการฝึก อยู่ในระดับดี 10 คน ปานกลาง 20 คน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีพัฒนาการของพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น คือ ระดับดี 17 คน ปานกลาง 13 คน และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีพัฒนาการของพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น คือ ระดับดีมาก 2 คน ดี 25 คน ปานกลาง 3 คน 3) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองเมื่อมีระยะเวลาการฝึกแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีการของซีแดค (Sidak) พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึกและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกัน

**คำสำคัญ :** โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก, พลังกล้ามเนื้อขา, นักกีฬามวยปล้ำ, โปรแกรมการฝึก

### Abstract

The purpose of this quasi-experimental research was to investigate the effect of plyometric training on leg muscle power among wrestlers in Suphanburi sports school. The participants were 30 male

<sup>1</sup> สาขาวิชา สุขศึกษาและพลศึกษา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110 ประเทศไทย

Health Education and Physical Education, Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand.

wrestlers, aged between 13-18 years old, and studying in Suphanburi sports school. The selection of the participants was conducted by purposive sampling and they were trained with the plyometric training developed by the researcher. This study took eight weeks, at three days a week, namely Monday, Wednesday, and Friday, and for one hour per time. The leg muscle power testing was used in the pre-test, the fourth week, and in the eighth week, the standing board jump. The obtained data were analyzed in term of mean, standard deviation, and one-way ANOVA with repeated measures. If there were any statistical differences, the method of Sidak would be used. It was found as follows: (1) the mean of leg muscle power test before and after the fourth and the eighth week of training were 178.30 (SD = 18.52), 185.97(SD = 18.48), 197.77 (SD = 18.44) respectively; (2) level of physical performance of leg muscle power before training was 10 at a good level, 20 at a moderate level. After the fourth week, the experimental group had more leg muscle power development; with 17 at a good level, 13 at a moderate level. After the eighth week, the experimental group had more leg muscle power development, two were at a very good level, 25 were at a good level, and three were at a moderate level; (3) the comparison of the mean of leg muscle power in the experimental group that the training period differed with a .05 level of significance and the Sidak method was used. The results were as follows: after the eighth week of training, the leg muscle power was more developed than before training and after the fourth week of training had a .05 level of significance. After the fourth week of training, the leg muscle power was more developed than before training with a .05 level of significance.

**Keywords:** Plyometric Training, Leg muscle power, Wrestlers, Program Training

## บทนำ

มวยปล้ำเป็นกีฬาต่อสู้ชนิดหนึ่งที่มีมาตั้งแต่ช้านานในสมัยอดีต ปัจจุบันมวยปล้ำในประเทศไทยได้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ลักษณะของการต่อสู้ในกีฬามวยปล้ำเป็นการเข้าประชิดตัวใช้การปล้ำกอดอวัยวะต่างๆ ทุกส่วนของร่างกาย จับยึด ควบคุม กัดดันคู่ต่อสู้เพื่อนำไปสู่การได้เปรียบ เพื่อเอาชนะคู่ต่อสู้ด้วยการควบคุมให้คู่ต่อสู้ล้มลงสู่พื้นอยู่ในท่าอันตราย ปัจจุบันกีฬามวยปล้ำได้มีการจัดการเรียนการสอนขึ้นมากมายหลายสถาบัน เพื่อพัฒนากีฬามวยปล้ำให้สู่ความเป็นเลิศ ซึ่งโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี เป็นโรงเรียนกีฬาที่เต็มรูปแบบ มีการจัดการเรียนการสอนวิชาการควบคู่กับกีฬา จัดการแข่งขันและเข้าร่วมการแข่งขันกีฬามวยปล้ำอย่างต่อเนื่อง การเป็นนักกีฬามวยปล้ำนั้น จำเป็นต้องใช้ความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการเคลื่อนไหวที่ต้องการความรวดเร็วด้วยแรงสูงสุด สนธยา สีละมาต (2560: 296) ได้กล่าวว่า พลังหมายถึง ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อในการที่จะก่อให้เกิดแรงมากที่สุดในช่วงเวลาอันสั้นที่สุดหรือเป็นการเอาชนะแรงต้านได้ด้วยกรหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว พลังเป็นผลของแรงกล้ามเนื้อและอัตราความเร็วของการเคลื่อนไหว จะเห็นได้ว่กีฬามวยปล้ำเป็นกีฬาที่ใช้การเคลื่อนไหวที่เคลื่อนไหวในการต่อสู้โดยใช้พลังของกล้ามเนื้อ ดังนั้นกล้ามเนื้อจะต้องมีพื้นฐานที่ดีและมีพลังกล้ามเนื้อที่ดี แต่ปัญหาที่พบคือ นักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรีนั้น มีสมรรถภาพ

ทางด้านของพลังกล้ามเนื้อขาอยู่ในเกณฑ์ไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ผลการแข่งขันที่ผ่านมาไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากขาดโปรแกรมฝึกซ้อมที่ดีในการพัฒนาไปสู่ความเป็นเลิศ

ปัจจุบันการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกเป็นการฝึกพลังรูปแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ฝึกกับนักกีฬา เจริญ กระบวนรัตน์ (2557) กล่าวว่า การฝึกพลัยโอเมตริกให้ประโยชน์และมีคุณค่าต่อการเพิ่มศักยภาพให้นักกีฬาสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มอัตราเร่งความเร็ว ในการเคลื่อนไหวหรือการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยการใช้น้ำหนักตัว เป็นแรงต้านทานสำหรับการฝึกร่างกายส่วนล่าง ส่งผลต่อการแข่งขันกีฬาประเภทที่ใช้กำลังหรือประเภทที่มีการเปลี่ยนจังหวะทิศทางการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับถาวร กมุตศรี (2560: 169) กล่าวว่า การฝึกแบบพลัยโอเมตริกเป็นการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ในการเล่นกีฬาด้วยความรวดเร็ว นั้นจะต้องใช้แรงจากการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ รูปแบบการเล่นกีฬาหลายประเภทมีการปรับเปลี่ยนทิศทางและจังหวะในขณะที่เคลื่อนไหว ตามลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นในการเล่นกีฬาแข่งขันกีฬาประเภทต่างๆ ที่ต้องอาศัยการประยุกต์ใช้แรง จากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ทำงานอย่างรวดเร็วพร้อมกับการหดตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดพลัง (Power)

จากการศึกษาดังกล่าว การฝึกแบบพลัยโอเมตริกเป็นการฝึกที่สามารถฝึกได้หลายรูปแบบ เช่นการฝึกด้วยการกระโดด การเขย่ง ในรูปแบบต่างๆ เป็นการฝึกที่รวมไว้ซึ่งกำลังความแข็งแรงและความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน นั่นก็คือพลังนั่นเอง ส่วนใหญ่นั้นจะนำมาใช้และพัฒนาในรูปแบบของพลังของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อส่วนล่าง ซึ่งสอดคล้องกับ กีฬามวยปล้ำที่เป็นกีฬาต่อสู้ที่ใช้พลังของกล้ามเนื้อขาในการเคลื่อนที่ เคลื่อนไหวเพื่อเอาชนะแรงต้านในการเข้ากระทำการกับคู่ต่อสู้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำโปรแกรมพลัยโอเมตริกมาทำการศึกษาเพื่อพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำนั่นเอง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อนำไปพัฒนาโปรแกรมการฝึกและสมรรถภาพพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี ให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี

## วิธีดำเนินการวิจัย

### กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย

นักกีฬามวยปล้ำชายที่กำลังศึกษาอยู่ในโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 30 คน โดยได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามเกณฑ์การคัดเลือก – คัดออกที่กำหนด

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการหาคุณภาพเครื่องมือ

1. โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น
2. แบบวัดพลังกล้ามเนื้อขา ยืนกระโดดไกล(กรมพลศึกษา ปี 2555)

นำโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม (Feasibility) ผลการประเมินผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่ามีเหมาะสมและผู้เชี่ยวชาญได้มีข้อเสนอแนะ

ให้ปรับปรุงแก้ไข ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขโปรแกรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญเรียบร้อยแล้วก่อนนำโปรแกรมการฝึกไปใช้ โดยแบบทดสอบการยืนกระโดดไกลมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ .89

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ติดต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อขอหนังสือขอความร่วมมือไปยัง โรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี เพื่ออำนวยความสะดวกเกี่ยวกับกลุ่มตัวอย่างที่จะทำการศึกษา ซึ่งแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับการฝึกและการทดลองให้เข้าใจ พร้อมนำกลุ่มตัวอย่าง ทำการทดสอบก่อนการฝึก (Pre - test) โดยการวัดพลังกล้ามเนื้อขาโดยใช้วิธีการยืนกระโดดไกล บันทึกผลระยะทางที่ผู้เข้ารับการทดสอบสามารถกระโดดได้ ลงใบบันทึกผล ทำการฝึกตามโปรแกรมเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 วัน ในวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์ เวลา 15.30 - 16.30 น. ทำการทดสอบหลังการฝึก (Post-test) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการยืนกระโดดไกล ในสัปดาห์ที่ 4 , 8 บันทึกผลระยะทางที่ผู้เข้ารับการทดสอบสามารถกระโดดได้ลงใบบันทึกผลและนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา ระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8
2. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้สถิติ (One way analysis of variance with repeated measures)
3. ถ้ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา ระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีการของซิดาค (Sidak) โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

### ผลการวิจัย

ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์สมรรถภาพทางกายพลังกล้ามเนื้อขา ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

ข้อมูลพื้นฐาน	ระยะเวลา	n	$\bar{x}$	S.D.
การทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา	ก่อนการฝึก	30	178.30	18.52
	สัปดาห์ที่ 4	30	185.97	18.40
	สัปดาห์ที่ 8	30	197.77	18.44

จากตาราง 1 พบว่าพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำชาย จากการทดสอบยืนกระโดดไกล ก่อนการฝึกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 178.30 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.52 เซนติเมตร หลังการฝึกหลังสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 185.97 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.40 เซนติเมตร และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 197.77 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.44 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์สมรรถภาพทางกายพลังกกล้ามเนื้อขา โดยการยื่นกระโดดไกลในนักกีฬามวยปล้ำชายอายุ 13 – 18 ปี

โปรแกรมการฝึกพลัยโอ	ระดับสมรรถภาพทางกาย (คน)				
	เมตริก	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	ต่ำ
ก่อนการฝึก	-	10	20	-	-
หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	-	17	13	-	-
หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	2	25	3	-	-

จากตาราง 2 พบว่า ระดับสมรรถภาพทางกายพลังกกล้ามเนื้อขา โดยการยื่นกระโดดไกลในนักกีฬามวยปล้ำชาย อายุ 13 – 18 ปี จากการทดสอบยื่นกระโดดไกล ก่อนการฝึก ผลการทดสอบอยู่ในระดับดี จำนวน 10 คน ระดับปานกลาง จำนวน 20 คน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 พบว่า นักกีฬามวยปล้ำชาย มีการพัฒนาพลังกกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น คือ ระดับดี จำนวน 17 คน ระดับปานกลาง จำนวน 13 คน และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า นักกีฬามวยปล้ำชายมีการพัฒนาพลังกกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น คือ ระดับดีมาก จำนวน 2 คน ระดับดี จำนวน 25 คน ระดับปานกลาง จำนวน 3 คน

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการทดสอบพลังกกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
ระยะเวลาในการฝึก	5769.69	1.36	4227.75	1367.99*	.01
ความคลาดเคลื่อน	122.31	39.58	3.09		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05.

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นว่า ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในการทดสอบพลังของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีการของซิดาค (Sidak)

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการทดสอบพลังของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของกลุ่มทดลอง

ระยะเวลาการฝึก	$\bar{x}$	ก่อนการฝึก	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8
		178.30	185.97	197.77
ก่อนการฝึก	178.30	-	-7.67*	-19.47*
หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	185.97		-	-11.80*
หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	197.77			-

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีพลังกกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีพลังกกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



## สรุปผลการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยของการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาเท่ากับ 178.30 ซม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.52 ซม. หลังการฝึกหลังสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 185.97 ซม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.40 ซม. และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 197.77 ซม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.44 ซม.

2. ผลการทดสอบระดับสมรรถภาพทางกายพลังกล้ามเนื้อขาจากการทดสอบยีนกระโดดไกล ก่อนการฝึก ผลการทดสอบอยู่ในระดับดี จำนวน 10 คน ระดับปานกลาง จำนวน 20 คน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 พบว่า นักกีฬา มวยปล้ำชายมีการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขามากขึ้น คือ ระดับดี จำนวน 17 คน ระดับปานกลาง จำนวน 13 คน และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า นักกีฬา มวยปล้ำชาย มีการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น คือ ระดับดีมาก จำนวน 2 คน ระดับดี จำนวน 25 คน ระดับปานกลาง จำนวน 3 คน

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลอง เมื่อมีระยะเวลาการฝึกแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีการของซีเดค (Sidak) พบว่า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึกและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกัน

## อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีผลต่อพลังกล้ามเนื้อขาในนักกีฬามวยปล้ำชายของโรงเรียนกีฬา จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ และทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 นักกีฬามวยปล้ำชายมีการพัฒนาสมรรถภาพของพลังกล้ามเนื้อขาอยู่ในระดับดีมาก จำนวน 2 คน ระดับดี จำนวน 25 คน ระดับปานกลาง จำนวน 3 คน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกอยู่ในระดับดี จำนวน 10 คนและระดับปานกลาง จำนวน 20 คน ซึ่งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึกและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 เพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยตั้งไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ไพรัช คงกิจมัน (2560: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาของนักเรียนบาสเกตบอลชายและทักษะกีฬาบาสเกตบอล ผลการวิจัยพบว่าภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 12 พลังกล้ามเนื้อขาช่วงบนและพลังกล้ามเนื้อขาช่วงล่างและทักษะกีฬาบาสเกตบอลภายในกลุ่มทดลองเพิ่มมากกว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองมีทักษะกีฬาบาสเกตบอลมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากผลการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่านักกีฬามวยปล้ำชายมีการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการฝึกเพียง 4 สัปดาห์ อันเนื่องมาจากนักกีฬามวยปล้ำได้รับรูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีความหนักที่เหมาะสม และสอดคล้องกับการเคลื่อนไหว ช่วงอายุของการเจริญเติบโตของสมรรถภาพทางกายของนักกีฬา ประกอบกับนักกีฬามวยปล้ำชายมีพื้นฐานของความแข็งแรงจากการฝึกความแข็งแรงจากโปรแกรมฝึกปกติอยู่แล้ว ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อขาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนและมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 สอดคล้องกับ Ryan, & Heaner (2000,p.23) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่

มีผลต่อพลังกล้ามเนื้อ คือความแข็งแรงและความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้น ถ้าหากต้องการที่จะพัฒนาพลังกล้ามเนื้อ สามารถปฏิบัติได้โดยการออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนที่ต้านกับแรงต้านอย่างรวดเร็วรวมถึงการกระโดด การยกน้ำหนัก การวิ่งระยะสั้น เป็นต้น สอดคล้องกับสนธิยา สีละมาต (2560:294) การพัฒนาพลัง หมายถึงพลังเป็นชนิดของความแข็งแรงที่มีความเฉพาะเจาะจงกับการเคลื่อนไหวของนักกีฬา การเคลื่อนไหวทางการกีฬาส่วนใหญ่จะมีลักษณะการทำงานที่ต้องเอาชนะแรงต้านทานทั้งภายในและภายนอกร่างกายด้วยอัตราความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ซึ่งการกระทำเช่นนั้นกล้ามเนื้อจะไม่ได้ต้องการความแข็งแรงสูงสุด แต่กล้ามเนื้อต้องการพลังเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามสำหรับการพัฒนาพลังให้เพิ่มขึ้น พลังเป็นชนิดหนึ่งของความแข็งแรงและความแข็งแรงจะมีความสัมพันธ์กับพลัง การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงจึงช่วยให้พลังเพิ่มขึ้นได้

ดังนั้น การฝึกพลัยโอเมตริกสามารถช่วยเสริมสร้างพลังของกล้ามเนื้อ พัฒนาในเรื่องของพลังกล้ามเนื้อขาในผู้ฝึกให้มีพลังกล้ามเนื้อขาได้ดีขึ้นได้ แต่ต้องมีพื้นฐานของความแข็งแรงเบื้องต้นอยู่แล้ว และมีรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อด้วยเช่นกัน การฝึกพลัยโอเมตริกจึงจะสามารถเป็นแนวทางเสริมสร้างในการพัฒนารูปแบบของพลังกล้ามเนื้อต่อไป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

## คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน อาจารย์ ดร.ทศพล ธาณี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทปริญญาตรีและอาจารย์ ดร. สาธิต ประจันบาน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทปริญญาตรีร่วม ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แก้ไขชี้แนะแนวทาง ให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จ ลุล่วง สมบูรณ์ได้ด้วยดี และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมพลศึกษา. (2555). แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของเด็กไทยอายุ 7-18 ปี. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา.
- จตุรงค์ เหมรา. (2561). หลักการและการปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โชติกา บุญทอง. (2557). ผลการฝึกพลัยโอเมตริกและการฝึกด้วยน้ำหนักที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในการกระโดดสกัดกั้นของนักกีฬาเซปักตะกร้อ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา). มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ถ่ายเอกสาร
- ถาวร กมูทศรี. (2560). การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย(ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หจก.มีเดียเพรส
- ธงชัย เจริญทรัพย์มณี. (2547). เอกสารคำสอนวิชา พล 412 หลักวิทยาศาสตร์ในการฝึกกีฬา. ภาควิชาพลศึกษา คณะพลศึกษา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ปราชญ์ อัคระสารกุล. (2555). ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาและความคล่องแคล่วไวในนักกีฬาบาสเกตบอลชายระดับมหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร
- ไพรัช ทศคำไชย. (2560) ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยเทคนิค Jump Over Barrier ที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาของ

ผู้เรียนวิชาิณนาสติก. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย  
รามคำแหง. ถ่ายเอกสาร

สนธยา สีละมาด. (2560). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ:  
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

David, E. (2001). "Plyometric". The Athletic Advisor .Retrieved April 20, 2018,  
from <<http://www.athleticadvisor.com/weightRoom/plyometrics.html>

Gehri, D.J. and others. (1998) "A Comparison of Plyometric Training Techniques for Improving  
Vertical Jump Ability and Energy Production," Journal Strength and Conditioning Research. 10(5):  
125-135.

Jack, S. (2001). Plyometric Training. Retrieved April 20, 2018,  
from<<http://www.member.tripod.com/~STRntHcOCH/plyotrain.html>

Jinovci, B., Idrizovic, K., Uljevic, O., & Sekulic, D. (2017). Plyometric Training Improves Sprinting, Jumping  
and Throwing Capacities of High-Level Female Volleyball Players Better Than Skill-Based  
Conditioning. Journal of sports science & medicine, 16(4), 527–535.

Rahman, R. and Naser, B. (2005). The Effect of Plyometric, Weight and Plyometric-Weight Training on  
Anaerobic Power and Muscular Strength, Physical Education and Sport. 3(5) : 81-91

# ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอจากส่วนสกัดย่อยเอทิลอะซิเตทของหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ลูกผสมในจังหวัดระยอง

## Antioxidant activity and oxidative DNA damage protective effect of ethyl acetate extract of *Nepenthes* from Rayong province

ภาณุชนารอด นนท์เทศา<sup>1,2</sup> และ ชัชวิน เพชรเลิศ<sup>1,2</sup>

Phanutchanat Nontesa<sup>1</sup> and Chatchawin Petchler<sup>1,2</sup>

### บทคัดย่อ

ความไม่สมดุลระหว่างอนุมูลและสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ ซึ่งการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเพิ่มขึ้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยปรับสมดุลดังกล่าวได้ ในงานวิจัยนี้ได้นำหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ลูกผสม (*Nepenthes mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black) ซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่ถูกพัฒนาโดยเกษตรกรในจ.ระยองให้มีความโดดเด่นและเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ยังขาดข้อมูลทางด้านฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นอันมาก ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอจากส่วนสกัดย่อยเอทิลอะซิเตท จากผลการทดลองพบว่าประกอบด้วยปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์เท่ากับ  $64.90 \pm 1.84$  mg GAE/g extract และ  $169.68 \pm 5.79$  mg QE/g extract ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay พบว่ามีค่า  $IC_{50}$  ของการกำจัดอนุมูล DPPH ได้ใกล้เคียงกับกรดแอสคอร์บิก ( $0.080 \pm 0.003$  และ  $0.010 \pm 0.0003$  mg/mL ตามลำดับ) นอกจากนี้เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าสามารถป้องกันการเปลี่ยนโครงสร้างจาก supercoiled form เป็น open circular form ได้ไม่ต่างแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นที่นำไปสู่การศึกษาในขั้นถัดไปในการค้นหาสารบริสุทธิ์ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระและป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอได้ดี อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดระยองซึ่งเป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกให้มีรายได้จากผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้นด้วย

**คำสำคัญ:** ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ความเสียหายของดีเอ็นเอ หม้อข้าวหม้อแกงลิง

<sup>1</sup> ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131, Thailand.

<sup>2</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Faculty of Science, Burapha University, Chonburi Province 20131, Thailand

## Abstract

The imbalance state between free radical and antioxidant leads to cell damage and various pathogenesis. *Nepenthes mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black is a man-made hybrid cultivar that is modified by the orchardist in Rayong province. Plant collectors have also desired because of its high value. It often uses for local consumption; however, it still lacks bioactivity data for preventing or treating several diseases. Therefore, this study aims to investigate antioxidant activity and DNA damage protective effect from ethyl acetate subextract of this hybrid species of *Nepenthes* (EMA). The results revealed that EMA contained total phenolic and total flavonoid contents were  $64.90 \pm 1.84$  mg GAE/g extract and  $169.68 \pm 5.79$  mg QE/g extract, respectively. For the DPPH assay, it indicated that the radical scavenging capacity of EMA closed to ascorbic acid as a reference standard ( $IC_{50} = 0.080 \pm 0.003$  and  $0.010 \pm 0.0003$  mg/mL, respectively). Furthermore, it also showed DNA damage protection at various concentrations. No DNA conformation change can be observed from supercoiled to open circular form. However, this study is a preliminary study of antioxidant activity that will be elucidated as a pure compound of EMA in the future. Additionally, it also encourages agricultural products of local orchardists in the Eastern Economic Corridor (EEC) area of Thailand.

**Keyword:** Antioxidant, DNA damage, *Nepenthes*

## บทนำ

Reactive oxygen species (ROS) เป็นอนุมูลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) หรือสภาวะที่อนุมูลอิสระในร่างกายถูกผลิตมากเกินไปจนสารต้านอนุมูลอิสระไม่สามารถกำจัดได้ทัน จึงก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ (Mirończuk et al., 2018) โดยเฉพาะอนุมูลไฮดรอกซิลซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) และแสง UV หรือ  $Fe^{2+}$  จากปฏิกิริยา Fenton reaction ให้เกิดความเป็นพิษและไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอจนก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง เบาหวาน อัลไซเมอร์ ตลอดจนโรคหัวใจและหลอดเลือดตามมา (Cooke et al., 2002; Mitra et al., 2019) ดังนั้นการบริโภคผักผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการช่วยสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายกำจัดอนุมูล

หม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes* sp.) เป็นพืชกินแมลงที่พบมากในทางตอนใต้ของทวีปเอเชีย และได้รับความนิยมในการปลูกเป็นไม้ประดับ โดยในอดีตหม้อข้าวหม้อแกงลิงถูกนำมาใช้เป็นยาพื้นบ้านในการสมานแผล รักษาอาการหวัด โรคเรื้อน แผลในกระเพาะอาหาร ดีซ่าน ความดันโลหิตสูง ตลอดจนดับอักเสบ และนิ่วในไต (Thanh et al., 2015; Thanh et al., 2015; Rosli et al., 2018) ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ผ่านมามีพบว่ามีหม้อข้าวหม้อแกงลิงประกอบไปด้วย Naphthoquinone ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลหลายชนิด

(Thanh et al., 2015; Thanh et al., 2015) อย่างไรก็ตาม ชาวสวนในจ.ระยองซึ่งเป็นผู้ประกอบการที่ทำทั้งการเพาะพันธุ์ การขยายพันธุ์ และจำหน่าย หนึ่งในนั้นคือ สวนหม้อข้าวหม้อแกงลิง Rayong Smile Plants ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ ในการอนุรักษ์และปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมกันของสายพันธุ์ดั้งเดิมระหว่าง *N. mirabilis* var. *globosa* และ *N. ampullaria* black miracle จนได้เป็นสายพันธุ์ลูกผสม (*N. mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black) ที่เกิดจากมนุษย์เป็นผู้ผสมให้ ซึ่งมีลักษณะโดดเด่นและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพโดยเฉพาะฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ลูกผสม ดังกล่าว เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ใหม่ที่ถูกปรับปรุงขึ้นโดยเกษตรกรในจ.ระยอง ซึ่งยังไม่มีการศึกษาวิจัยในด้านนี้ อีกทั้งงานวิจัยที่ศึกษาก่อนหน้านี้ในต่างประเทศส่วนใหญ่จะศึกษากันเพียงหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์แท้หรือสายพันธุ์ ผสมจากธรรมชาติ โดยจากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่า สารสกัดเอทานอลของส่วนใบหม้อข้าวหม้อแกงลิง มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลและปริมาณของสารประกอบฟีนอลที่น่าสนใจ จึงทำการสกัดด้วยสารละลายต่างๆ ต่อ โดย ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาผลของสารสกัดย่อยเอทิลอะซิเตทของหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ลูกผสมนี้ เพื่อแสดง ถึงบทบาทสำคัญในการลดความเสียหายแก่เซลล์โดยเฉพาะที่เกิดกับดีเอ็นเอ ซึ่งจะนำไปสู่การป้องกันหรือรักษาโรค ที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้

## วัตถุประสงค์

เพื่อทำการศึกษารอกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการป้องกันความเสียหาย ของดีเอ็นเอจากส่วนสกัดย่อยเอทิลอะซิเตทของหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ *N. mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black (ethyl acetate extract of *N. mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black; EMA)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### แหล่งที่มาของตัวอย่าง

กระเปาะหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์ *N. mirabilis* var. *globosa* x *N. ampullaria* black ได้รับความอนุเคราะห์ จากสวนหม้อข้าวหม้อแกงลิง Rayong Smile Plants ต.นาตาขวัญ อ.บ้านค่าย จ.ระยอง ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2562

### การเตรียมและการสกัดตัวอย่าง EMA

ทำความสะอาดกระเปาะหม้อข้าวหม้อแกงลิงด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 55°C บดให้เป็นผงละเอียดและสกัดด้วยเอทานอลด้วยวิธี maceration ในอัตราส่วน 1:10 (%v/v) ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศและนำไประเหยแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator เพื่อให้ได้ส่วนสกัดหยาบ จากนั้นนำส่วนสกัดหยาบเอทานอลมาสกัดต่อด้วยเอทิลอะซิเตทและน้ำเพื่อแยกองค์ประกอบ ทางเคมีตามความมีขั้วด้วยเครื่อง separatory funnel ก่อนนำไประเหยแห้งสำหรับเตรียมทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

### การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Total phenolic content)

ใช้วิธีของ Shaghghi et al. (2008) โดยการเตรียมกรดแกลลิกความเข้มข้น 0.0015625 ถึง 0.05 mg/mL หรือ ส่วนสกัดย่อย EMA ความเข้มข้น 0.5 mg/mL 125  $\mu$ L ผสมกับน้ำกลั่น 600  $\mu$ L 2% โซเดียมคาร์บอเนต 500  $\mu$ L และ

Folin–Ciocalteu reagent 25  $\mu\text{L}$  ให้เข้ากัน จากนั้นบ่มในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที และวัดด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมจะถูกคำนวณจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก และแสดงผลในหน่วย mg GAE/g extract

#### การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content)

ดัดแปลงมาจากวิธีของ Srisuwan et al. (2014) โดยการสร้างกราฟมาตรฐานของเคอร์เซตินที่ความเข้มข้น 0.0078125 ถึง 0.125 mg/mL จากนั้นนำส่วนสกัดย่อย EMA ที่ความเข้มข้น 1 mg/mL ปริมาตร 500  $\mu\text{L}$  5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100  $\mu\text{L}$  และ 10% อลูมิเนียมคลอไรด์ 200  $\mu\text{L}$  ผสมให้เข้ากันและบ่มในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M 500  $\mu\text{L}$  และน้ำกลั่น 200  $\mu\text{L}$  ก่อนนำไปบ่มไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ด้วยเครื่อง microplate reader ทั้งนี้ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารตัวอย่างจะถูกคำนวณจากกราฟมาตรฐานของเคอร์เซติน และแสดงผลในหน่วย mg QE/g extract

#### ความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH (DPPH radical scavenging assay)

เตรียมส่วนสกัดย่อย EMA ความเข้มข้น 0.03125 ถึง 2 mg/mL 100  $\mu\text{L}$  ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 mM 200 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง microplate reader จากนั้นคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ดังสมการที่ (1) แล้วคำนวณให้อยู่ในรูป IC<sub>50</sub> ในหน่วย mg/mL ผลที่ได้นำมาเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลกับกรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นตัวควบคุมเชิงบวก (Blaszczak et al., 2006)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $A_0$  = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

และ  $A_1$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

#### ความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอ (DNA-strand scission assay)

เตรียมพลาสมิดสำเร็จรูป pUC18 ความเข้มข้น 0.3  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$  ปริมาตร 4  $\mu\text{L}$  ผสมกับสารละลาย H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ความเข้มข้น 100  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$  4  $\mu\text{L}$  และสารมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  หรือส่วนสกัดย่อย EMA ความเข้มข้น 1 ถึง 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  4  $\mu\text{L}$  จากนั้นนำไปส่องแสง UV เพื่อเหนี่ยวนำให้พลาสมิดเกิดความเสียหายเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำมาบ่มทิ้งไว้ในที่มืดอีก 20 นาที ทั้งนี้นำสารละลายผสมที่ได้ไปตรวจสอบด้วย 1% agarose gel electrophoresis ใน TAE buffer pH 7.4 (Tris-acetate ความเข้มข้น 40 mM ผสมกับ EDTA ความเข้มข้น 1 mM) โดยใช้กระแสไฟฟ้า 100 V เป็นระยะเวลา 25 นาที และนำไปย้อมด้วยสารละลาย ethidium bromide ประมาณ 30 นาที ก่อนนำไปส่องไฟแสง UV ด้วยเครื่อง UV-transilluminator และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ImageJ (Leba et al., 2014)

#### การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

แต่ละการทดลองทำอย่างน้อย 3 ซ้ำ 3 ครั้ง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบ *t*-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $P < 0.05$ ) โดยใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 17.1 และ GraphPad Prism เวอร์ชัน 8 ขณะเดียวกันผลการทดลองที่ได้จะถูกแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## ผลและวิจารณ์

จากผลการศึกษารอกฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดย่อย EMA ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu method และ Aluminium chloride method พบว่าส่วนสกัดย่อย EMA ประกอบด้วยปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ  $64.90 \pm 1.84$  mg GAE/g extract และ  $169.68 \pm 5.79$  mg QE/g extract ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เนื่องจากส่วนสกัดย่อยของหม้อข้าวหม้อแกงลิงอุดมไปด้วยฟลาโวนอยด์ สเตอโรอยด์ อัลคาลอยด์ แทนนิน และฟีนอลิก เมื่อทำการตรวจวัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นด้วยวิธี Shinoda test, Lead acetate test, Libermann Burchard test, Libermann's test, Dragendorff's test, Mayer test, Hager's test, Wagner's test, 5% Ferric chloride, Dilute iodine solution และ Dilute  $\text{KMnO}_4$  (Uriah et al., 2015) อีกทั้งยังพบว่าประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของ Naphthoquinone และฟลาโวนอยด์หลายชนิด ได้แก่ nepenthones C F และ G, droserone, plumbagin, 3-methoxy-7-methyljuglone, 2-methoxy-7-methyljuglone, cis-isoshinanolone, quercetin, quercetin-3-O- $\beta$ -D-glucuronide, quercitrin, kaempferol-3-O- $\alpha$ -L-rhamnoside และ (-)-epicatechin เมื่อนำส่วนสกัดย่อยคลอโรฟอร์มและเอทิลอะซิเตทของ *N. mirabilis* มาวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค NMR และ ESI-MS นอกจากนี้การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC assay ก็ยังแสดงให้เห็นว่า quercetin และ quercetin-3-O- $\beta$ -D-glucuronide ในส่วนสกัดย่อยดังกล่าวมีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลเปอร์ออกซิลได้ค่อนข้างดี ( $32.03 \pm 0.27$  และ  $31.06 \pm 0.13$   $\mu\text{M}$  ตามลำดับ) (Thanh et al., 2015)

สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดย่อย EMA ด้วยวิธี DPPH assay จะถูกแสดงอยู่ในรูป  $\text{IC}_{50}$  ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของส่วนสกัดตัวอย่างที่สามารถกำจัดอนุมูล DPPH ได้ 50% จากผลการทดลองพบว่าส่วนสกัดย่อย EMA มีค่า  $\text{IC}_{50}$  เท่ากับ  $0.080 \pm 0.003$  mg/mL ซึ่งน้อยกว่าตัวควบคุมเชิงบวกหรือกรดแอสคอร์บิกประมาณ 8 เท่า ( $0.010 \pm 0.0003$  mg/mL) (ตารางที่ 1) นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อยของหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์แท้ พบว่าส่วนสกัดย่อย EMA มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ดีกว่า *N. ampullaria*, *N. rafflesiana* และ *N. hookeriana* เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระในหม้อข้าวหม้อแกงลิงมีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูล DPPH โดยเปลี่ยนโครงสร้างของ diphenylpicrylhydrazyl ซึ่งเป็นสารละลายสีม่วงให้กลายเป็น diphenylpicrylhydrazine ซึ่งเป็นสารละลายที่สีเหลืองอ่อน (Rosli et al., 2018; Kandi and Charles, 2019) ทั้งนี้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

จากการประเมินความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอที่เกิดจากปฏิกิริยา Fenton พบว่าพลาสมิดที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยแสง UV (รูปที่ 1 (A) lane 2) เกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสมิดที่ไม่ได้รับแสง UV (รูปที่ 1 (A) lane 1) และเกิดความเสียหายค่อนข้างมากเมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วย  $\text{H}_2\text{O}_2$  และแสง UV (รูปที่ 1 (A) lane 3) เนื่องจากการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลมักสร้างความเสียหายให้แก่โครงสร้างของดีเอ็นเอไม่ว่าจะเป็น DNA strand break, deoxyribose fragmentation หรือ base modification (Adinortey et al., 2018) โดย



เมื่อเติมส่วนสกัดย่อย EMA ที่ความเข้มข้น 1 10 และ 100 µg/mL (รูปที่ 1 (A) lane 4 ถึง 6) และสารมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 100 µg/mL (รูปที่ 1 (A) lane 7) พบว่าสามารถป้องกันความเสียหายของพลาสมิดได้ และสามารถป้องกันความเสียหายได้ใกล้เคียงกับพลาสมิดเริ่มต้น (รูปที่ 1 (A)) เนื่องจากความสามารถในการทำให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็กตรอนของส่วนสกัดย่อย EMA ให้แก่อนุมูลไฮดรอกซิล และการกระตุ้นกลไกการซ่อมแซมดีเอ็นเอ เช่น base excision repair, nucleotide excision repair หรือ mismatch repair (Skata et al., 2016; Helena et al., 2018) อย่างไรก็ตามสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอได้ด้วยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลไฮดรอกซิล ทั้งนี้พบว่าชนิดของตัวทำละลายของส่วนสกัดเป็นปัจจัยสำคัญในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของดีเอ็นเอ นั่นคือ ตัวทำละลายที่มีขั้วสูง เช่น เมทานอล และบิวทานอล สามารถป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอได้ค่อนข้างดีกว่าตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลางและขั้วต่ำ เช่น เอทิลอะซิเตท คลอโรฟอร์ม และเฮกเซน

## สรุป

จากผลการทดลองพบว่าส่วนสกัดย่อย EMA มีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมสูง โดยเมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวสามารถกำจัดอนุมูล DPPH ได้ใกล้เคียงกับกรดแอสคอร์บิก และมีความสามารถในการป้องกันการเปลี่ยนโครงสร้างของ supercoiled form ได้ไม่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบที่ทดสอบความเข้มข้นต่างๆ ของส่วนสกัดย่อย EMA ทั้งนี้ควรนำมาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสารบริสุทธิ์ที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอ ข้อมูลดังกล่าวน่าจะมีโอกาสในการส่งเสริมให้ชาวสวนหม้อข้าวหม้อแกงลิงในจังหวัดระยองซึ่งเป็นพื้นที่ EEC สามารถนำเอาพืชชนิดนี้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพหรือเครื่องสำอาง ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของพืชให้มากขึ้นและให้ความสำคัญกับการพัฒนาพืชให้มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น

## คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณประกิจต์ โพธิ์ศรี เจ้าของสวนหม้อข้าวหม้อแกงลิง Rayong Smile Plants ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างหม้อข้าวหม้อแกงลิงสำหรับทำการศึกษาวิจัย อีกทั้งภาควิชาชีวเคมี และหน่วยบริการนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือการทดลองเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมเคมีที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

Adinortey, M. B., Ansah, C., Weremfo, A., Adinortey, C. A., Adukpo, G. E., Ameyaw, E. O., & Nyarko, A. K. (2018). DNA damage protecting activity and antioxidant potential of *Launaea taraxacifolia* leaves extract. *Journal of Natural Science, Biology And Medicine*, 9, 6–13.

- Aung, H. H., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F., Ahmed, A. A., Pare, P. W., Mabry, T. J. (2002). Phenolic constituents from the leaves of the carnivorous plant *Nepenthes gracilis*. *Fitoterapia*, 73, 445-447.
- Blaszczyk, A., Skolimowski, J., Materac, A. (2006). Genotoxic and antioxidant activities of ethoxyquin salts evaluated by the comet assay. *Chemical-Biological Interactions*, 162, 268-273.
- Chana, N., Chaikaew, J. (2018). DNA damage protection activities of different solvents from *Scoparia dulcis* leaf and stem extracts. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(2), 397-408.
- Cooke, M. S., Evans, M. D., Dizdaroglu, M., Lunec, J. (2003). Oxidative DNA damage: mechanisms, mutation, and disease. *Federation of American Societies for Experimental Biology*, 17(10), 1195-1214.
- Helena, J. M., Joubert, A. M., Grobbelaar, S., Nolte, E. M., Nel, M., Pepper, M. S., Coetzee, M., & Mercier, A. E. (2018). Deoxyribonucleic acid damage and repair: Capitalizing on our understanding of the mechanisms of maintaining genomic integrity for therapeutic purposes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 1148 (1-23).
- Huda-Faujan, N., Noriham, A., Norrakiah, A. S., Babji, A. S. (2009). Antioxidant activity of plants methanolic extracts containing phenolic compounds. *African Journal of Biotechnology*, 8(3), 484-489.
- Kandi, S., Charles, A. L. (2019). Statistical comparative study between the conventional DPPH% spectrophotometric and dropping DPPH analytical method without spectrophotometer: Evaluation for the advancement of antioxidant activity analysis. *Food Chemistry*, 287, 338-345.
- Leba, L-J., Brunschwig, C., Saout, M., Martial, K., Vulcain, E., Bereau, D., Robinson, J-C. (2014). Optimization of a DNA nicking assay to evaluate *Oenocarpus bataua* and *Camellia sinensis* antioxidant capacity. *Internation Journal of Molecular Sciences*, 15(10), 18023-18039.
- Mirończuk-Chodakowska, I., Witkowska, A. M., Zujko, M. E. (2018). Endogenous non-enzymatic antioxidants in the human body. *Advances in Medical Sciences-Poland*, 63(1), 68-78.
- Mitra, S., Nguyen, L. N., Akter, M., Park, G., Choi, E. H., Kaushik, N. K. (2019). Impact of ROS generated by chemical, physical, and plasma techniques on cancer attenuation. *Cancers*, 11(7), 1-31.
- Rosli, M. A. F., Azizan, K. A., Goh, H. H. (2018). Antioxidant activity of pitcher extracts from three *Nepenthes* species. *Sains Malaysiana*, 47(12), 3069-3075.
- Skafa, E., Sitarek, P., Różalski, M., Krajewska, U., Szemraj, J., Wysokińska, H., Śliwiński, T. (2016). Antioxidant and DNA repair stimulating effect of extracts from transformed and normal Roots of *Rhaponticum carthamoides* against induced oxidative stress and DNA damage in CHO Cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1-11.

Shaghghi, M., Manzoori, J. L., Jouyban, A. (2008). Determination of total phenols in tea infusions, tomato and apple juice by terbium sensitized fluorescence method as an alternative approach to the Folin–Ciocalteu spectrophotometric method. *Food Chemistry*, 108, 695-701.

Srisuwan, S., Thonpho, A., Srihanam, P. (2014). Wild grape (*Ampelocissus martinii* Planch.) fruit extract: phytochemical and antioxidant activities. *Journal of Science and Technology of Mahasarakham University*, 10, 373-382.

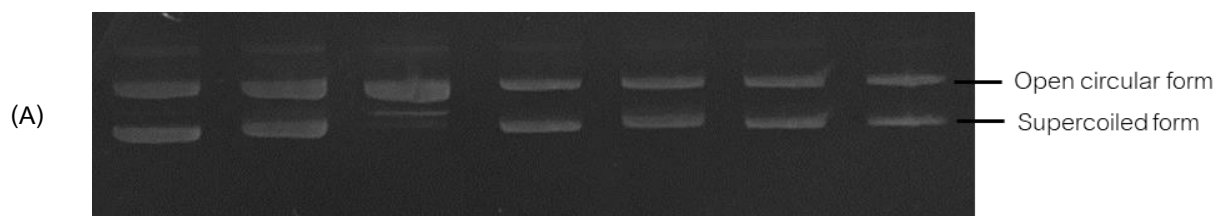
Thanh, N. V., Thao, N. P., Huong, P. T. T., Lee S. H., Jang, H. D., Cuong, N. X., Nam, N. H., Kiem, P. V., Kim, Y. H., Minh, C. V. (2015). Naphthoquinone and flavonoid constituents from the carnivorous plant *Nepenthes mirabilis* and their anti-osteoporotic and antioxidant activities. *Phytochemistry Letters*, 11, 254-259.

Thanh, N. V., Thao, N. P., Dat, L. D., Huong, P. T. T., Lee, S. H., Jang, H. D., Cuong, N. X., Nam, N. H., Kiem, P. V., Minh, C. V., Kim, Y. H. (2015). Two new naphthalene glucosides and other bioactive compounds from the carnivorous plant *Nepenthes mirabilis*, *Archives of Pharmacal Research*, 38, 1774-1782.

Uriah, T., Patil, M. B., Kumar, S. (2015). In vitro antioxidant and hepatoprotective potential of *Nepenthes khasiana* hook. against ethanol-induced liver injury in rats. *Journal of Pharmaceutical Research*, 14(4), 81-89.

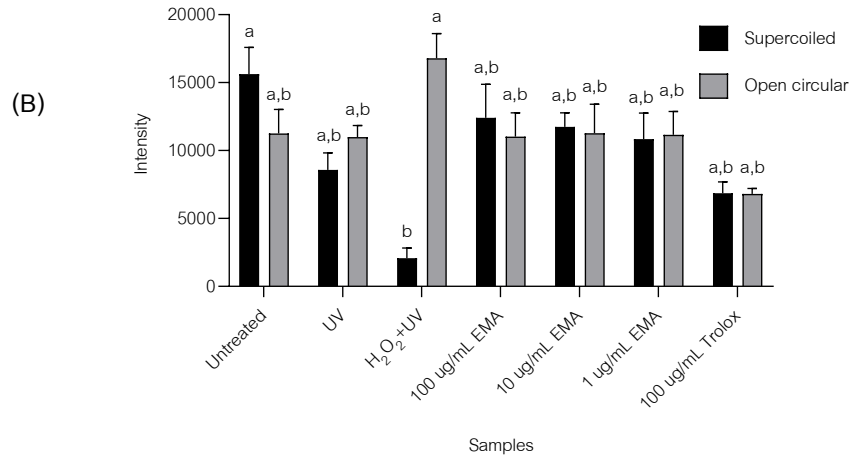
**ตารางที่ 1** ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดย่อย EMA

สารตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (mg GAE/ g extract)	ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (mg QE/g extract)	IC <sub>50</sub> ในการกำจัด อนุมูล DPPH (mg/mL)
ส่วนสกัดย่อย EMA	64.90 ± 1.84	169.68 ± 5.79	0.080 ± 0.003 <sup>b</sup>
กรดแอสคอร์บิก	-	-	0.010 ± 0.0003 <sup>a</sup>



lanes	1	2	3	4	5	6	7
0.3 µg/µL pUC18	+	+	+	+	+	+	+
5 mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	-	+	+	+	+	+
UV radiation	-	+	+	+	+	+	+

100 µg/mL Trolox	-	-	-	-	-	-	+
EMA	-	-	-	100 µg/mL	10 µg/mL	1 µg/mL	Trolox



**รูปที่ 1** ความสามารถในการป้องกันความเสียหายของดีเอ็นเอที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยแสง UV และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ของ Trolox และ ส่วนสกัดย่อย EMA โดย (A) ผลการทดลองผ่าน 1% agarose gel electrophoresis และ (B) ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

## การพัฒนาวิธีแยกโปรตีนหรือเปปไทด์ขนาดเล็กจากพิษแมงกะพรุน

### Method Development for Separation of Small Proteins/Peptides from Jellyfish Venom

นักสววรรณ ปัญญา<sup>1</sup>, วิไลวรรณ พวงสันเทียะ<sup>2</sup>, นัฐธิญา กาลพงษ์นุกุล<sup>3</sup>, พิริยะ วงศ์คงคาเทพ<sup>3</sup>, ไตรรักษ์ พิสิษฐ์กุล<sup>3</sup> และ แว วลี โชคแสวงการ<sup>1</sup>

Naphatsawan Panya<sup>1</sup>, Wilaiwan Phuangsanthia<sup>2</sup>, Nuttiya Kalpongkul<sup>3</sup>, Piriya Wongkongkathep<sup>3</sup>, Trairak Pisitkul<sup>3</sup> and Waeowalee Choksawangkam<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

พิษของแมงกะพรุนประกอบไปด้วยโปรตีนหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งถูกบรรจุในออร์แกเนลล์ที่เรียกว่านีมาโทซิสต์ การศึกษาโปรตีโอมของพิษมีความสำคัญต่อการพัฒนาวิธีการรักษาอาการบาดเจ็บจากพิษแมงกะพรุน ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคโปรตีโอมิกส์และแมสสเปกโตรเมทรีในการระบุชนิดโปรตีน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โปรตีนขนาดเล็กด้วยเทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากโดยส่วนใหญ่โปรตีนกลุ่มนี้จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ส่งผลให้ไม่สามารถระบุชนิดได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อระบุชนิดโปรตีนขนาดเล็ก โดยใช้แมงกะพรุนหนึ่ง (*Rhopilema hispidum*) เป็นโมเดลในการศึกษา วิธีที่ใช้ในการทดลองนี้คือเทคนิคการแยกโปรตีนตามขนาดโดยอาศัยการทำงานของเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 10 กิโลดาลตัน และเทคนิคการแยกโปรตีนตามคุณสมบัติไฮโดรโฟบิกโดยอาศัย C18 spin column โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสม ปริมาณ C18 silica bead ที่ใช้ในคอลัมน์ และการใช้สารละลายที่มีขั้วที่แตกต่างกันในการชะโปรตีนออกจากคอลัมน์ จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นโปรตีน 20 ไมโครกรัม เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการไหลลงคอลัมน์ และปริมาณ C18 silica bead ที่ 5 และ 6 มิลลิกรัม สามารถชะโปรตีนออกจากคอลัมน์ได้มากที่สุดโดยใช้สารละลายอะซีโตไนโตรลที่ความเข้มข้น 30% ซึ่งในการทดลองนี้สามารถระบุชนิดของโปรตีนได้ทั้งหมด 8 โปรตีน โดยจัดเป็นโปรตีนพิษ 2 ชนิด ได้แก่ u-actitoxin-Bcg2a และ toxin Bcg III 15.67 (fragment) ซึ่งข้อมูลโปรตีนพิษนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเพื่อใช้ในการทางการแพทย์ได้ ทั้งในด้านการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับพิษ และการพัฒนายาชนิดใหม่จากพิษแมงกะพรุน

**คำสำคัญ** : โปรตีนขนาดเล็ก, พิษแมงกะพรุน, แมงกะพรุนหนึ่ง, แมสสเปกโตรเมทรี

<sup>1</sup> ภาควิชาชีวเคมี และศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Department of Biochemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand.

<sup>2</sup> สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand.

<sup>3</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์ระบบ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Center of Excellence in Systems Biology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

## Abstract

Jellyfish venoms are composed of various active proteins with different properties. They are enclosed in specialized organelle called nematocyst. Understanding of the toxin proteome is crucial for the development of medical treatment for the jellyfish envenomation. Mass spectrometry-based proteomic analysis has been commonly used for the protein identification. However, there are several limitations for the analysis of small intact proteins, including the protein loss during sample preparation. This study focuses on method development for separation and identification of small intact proteins using the venom from *Rhopilema hispidum* as a model. Two methods of protein separation were evaluated including the separation based on their size using the 10 kDa molecular weight cut-off filter and based on their hydrophobicity using the C18 spin column. Optimization of the amount of protein loaded on the column, the amount of C18 silica beads, and the polarity of elution buffers were carried out. The results revealed that the optimized amount of proteins was 20 µg. Using 5 and 6 µg of the C18 silica beads in the columns and 30% acetonitrile as elution buffer led to the highest yield of eluted proteins. There were 8 proteins identified in this study, which two of those were classified as toxins; u-actitoxin-Bcg2a and toxin Bcg III 15.67 (fragment). This knowledge about toxin proteins could be advantageous for medical applications including the treatment of the jellyfish stings and the development of novel medicine.

**Keyword:** Small protein, jellyfish toxin, edible jellyfish, mass spectrometry

## บทนำ

แมงกะพรุนเป็นสัตว์มีพิษที่พบทั่วไปในท้องทะเล ซึ่งพิษของแมงกะพรุนสามารถทำอันตรายต่อนักท่องเที่ยวและชาวประมงได้ โดยอาการที่เกิดจากการได้รับพิษของแมงกะพรุนสามารถเกิดได้หลายรูปแบบ ได้แก่ อาการปวด บวม แดง คัน การตายของเซลล์ (necrosis) หรือบางรายอาจมีอาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต ทั้งนี้อาการที่แสดงออกมาจะขึ้นอยู่กับความแรงของพิษแมงกะพรุนแต่ละสายพันธุ์ พิษของแมงกะพรุนนี้จะถูกบรรจุอยู่ในนีมาโทซิสต์ (nematocyst) ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ชนิดพิเศษที่พบในสิ่งมีชีวิตในกลุ่มไนดาเรีย เช่นพิษภายในนีมาโทซิสต์สามารถถูกกระตุ้นและปลดปล่อยออกมาได้เมื่อมีการสัมผัสกับผิวหนัง ส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บต่าง ๆ ขึ้น โดยในประเทศไทยยังไม่มียาที่ใช้รักษาอาการบาดเจ็บจากพิษแมงกะพรุนโดยตรง วิธีการรักษาทำได้เพียงการปฐมพยาบาลเพื่อป้องกันการได้รับพิษเข้าสู่ร่างกายมากขึ้นและรักษาตามอาการเท่านั้น และเพื่อพัฒนารักษาอาการบาดเจ็บจากพิษแมงกะพรุน การศึกษาโปรไฟล์ของโปรตีนจากพิษของแมงกะพรุนจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อวิเคราะห์หน้าที่โปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการต่าง ๆ ในปัจจุบัน เทคนิคโปรตีโอมิกส์และแมสสเปกโตรเมตรีได้รับความนิยมในการศึกษาโปรตีโอมของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง และสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว โดยในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโปรตีนก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมสสเปกโตร

เมทรีจำเป็นต้องกำจัดสารรบกวนต่าง ๆ เช่น ไอออนของเกลือ และดีเทอร์เจนท์ ซึ่งส่งผลให้สูญเสียโปรตีนขนาดเล็กไปในช่วงขั้นตอนเหล่านี้ จึงทำให้ไม่สามารถระบุชนิดของโปรตีนขนาดเล็กได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีแยกโปรตีนขนาดเล็กออกจากโปรตีนขนาดใหญ่และระบุชนิดของโปรตีนจากพิษของแมงกะพรุนโดยใช้แมสสเปกโตรเมทรี โดยใช้แมงกะพรุนหนังซึ่งเป็นแมงกะพรุนที่พบมากบริเวณชายหาดบางแสนเป็นโมเดลในการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม

จากการศึกษาข้อมูลโปรตีนจากฐานข้อมูล UniportKB พบว่าโปรตีนพิษจากสิ่งมีชีวิตมีอยู่ประมาณ 54,000 ชนิด ซึ่งรวมทั้งโปรตีนที่พบในการทดลองและ hypothetical protein โดยพบว่า ประมาณ 20% ของโปรตีนเหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 10 กิโลดาลตัน ซึ่งถือเป็นปริมาณมากและอาจเป็นโปรตีนที่สำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การพัฒนาเป็นยารักษาอาการบาดเจ็บจากพิษ หรือการพัฒนาเพื่อใช้ในทางการแพทย์สำหรับรักษาโรคอื่น ๆ ทั้งนี้ มีรายงานการใช้ประโยชน์จากโปรตีนขนาดเล็กจากพิษของสัตว์ทะเลหลายชนิด เช่น โปรตีน conotoxin จากหอยเต้าปูน ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 8-25 เรซิดิว ถูกนำมาใช้เป็นยาลดอาการปวดที่รุนแรง และโปรตีน Stichodactyla toxin จากพิษของดอกไม้ทะเล ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 35 เรซิดิว ถูกค้นพบว่าช่วยในการรักษาโรคแพ้ภูมิคุ้มกันตัวเองได้และกำลังอยู่ระหว่างพัฒนาเป็นยารักษาโรค ในงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาวิธีศึกษาโปรตีนขนาดเล็กจากพิษของแมงกะพรุน ซึ่งอาจมีความสำคัญสำหรับใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ได้

## วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาวิธีการแยกโปรตีนขนาดเล็กจากพิษของแมงกะพรุนหนัง (*Rhopilema hispidum*) และทำการระบุชนิดของโปรตีนที่แยกได้โดยใช้ LC-MS/MS

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การสกัดกะเปาะพิษจากหนวดของแมงกะพรุนด้วยวิธี Autolysis

โปรตีนจากกะเปาะพิษแมงกะพรุนถูกสกัดด้วยวิธี autolysis ซึ่งดัดแปลงวิธีมาจาก Bloom et al. (1998) โดยหนวดของแมงกะพรุนหนังถูกตัดและนำมาแช่ในน้ำทะเลในอัตราส่วน 1 กรัม: 1 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้เกิดการเปื่อยของเนื้อเยื่อ โดยในแต่ละวันตัวอย่างจะถูกนำไปกวน (vortex) และสังเกตการหลุดออกมาของกะเปาะพิษด้วยกล้องจุลทรรศน์ เมื่อครบ 3 วัน หนวดของแมงกะพรุนจะถูกกรองออกด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำส่วนน้ำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 x g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส กะเปาะพิษในส่วน pellet ถูกนำมาสกัดโปรตีน โดยใช้สารละลาย 2% (w/v) SDS แล้วนำไป sonicate 3 รอบ รอบละ 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 x g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วเก็บส่วนใสมาวัดปริมาณโปรตีนโดยใช้ BCA protein assay kit

### 2. การแยกโปรตีนขนาดเล็กโดยใช้เยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 10 กิโลดาลตัน

นำโปรตีนพิษของแมงกะพรุนมาแยกตามมวลโมเลกุล (Ticono et al., 2010) โดยใช้ 10 kDa molecular weight cut-off filter (Merck Milipore, Germany) โดยตัวกรองจะถูก equilibrate ด้วยน้ำกลั่น 400 ไมโครลิตร แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 14,000 x g เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมสารละลายโปรตีน (100 ไมโครกรัม) แล้วปั่นเหวี่ยงที่ 14,000 x g

เป็นเวลา 20 นาที ส่วนที่ผ่านตัวกรองลงมาได้จะเรียกว่า filtrate และส่วนที่อยู่บนตัวกรองก็จะถูกคว่ำและปั่นเหวี่ยงที่ 1,000 x g เป็นเวลา 2 นาที เรียกส่วนนี้ว่า retentate จากนั้นทั้งสองส่วนจะถูกวัดปริมาณโปรตีนโดยใช้ BCA protein assay kit

### 3. การแยกโปรตีนขนาดเล็กโดยใช้ C18 spin column

คอลัมน์ถูกเตรียมโดยดัดแปลงวิธีจาก Rappsilber et al. (2007) โดยนำเมมเบรนที่ทำจากซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชัน C18 ใส่ลงในปิเปตทิปขนาด 200 ไมโครลิตร จากนั้นใส่ C18 silica bead ปริมาณ 2 มิลลิกรัม ที่ถูกเตรียมในอะซีโตไนโตรล์ จากนั้นนำทิปนี้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 x g เป็นเวลา 3 นาที และ equilibrate คอลัมน์ ด้วยสารละลายกรดฟอร์มิก 0.1% (v/v) และปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง จากนั้นใส่ตัวอย่างโปรตีนที่ละลายในสารละลายกรดฟอร์มิกเข้มข้น 0.1% ลงไป 100 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (100 50 และ 20 ไมโครกรัม) แล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง โดยตัวอย่างโปรตีนที่ไม่ได้จับกับคอลัมน์ C18 จะเรียกส่วนนี้ว่า Flow-through จากนั้นล้างคอลัมน์เพื่อทำการชะโปรตีนที่ไม่ได้จับอยู่กับคอลัมน์ออก โดยใช้สารละลายกรดฟอร์มิกเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 100 ไมโครลิตรและทำการปั่นเหวี่ยง โดยจะเรียกส่วนนี้ว่า Wash จากนั้นทำการชะโปรตีนขนาดเล็กที่มีความไฮโดรโฟบิกต่ำโดยใช้สารละลายอะซีโตไนโตรล์ที่ความเข้มข้น 20% (v/v) และ 30 % (v/v) เป็น elution buffer โดยเรียกส่วนนี้ว่า Elute จากนั้นทั้ง 3 แฟร็กชัน(Flow-through, wash และ elute) จะถูกนำมาตรวจวัดปริมาณโปรตีนด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร เพื่อตรวจสอบโปรตีนที่มีวงอะโรมาติก และ 215 นาโนเมตร เพื่อตรวจสอบพันธะเปปไทด์โดยใช้ NanoDrop spectrophotometer (Thermo Scientific, USA)

### 4. การวิเคราะห์โปรตีนโดยใช้ LC-MS/MS

โปรตีนขนาดเล็กที่ถูกแยกออกมาจาก C18 spin column จะถูกนำมาวิเคราะห์ต่อโดยใช้ LC-MS/MS โดยโปรตีน 400 นาโนกรัมจะถูกฉีดเข้าคอลัมน์ PepSwift Acclaim™ PepMap™ C18 ที่ต่ออยู่กับเครื่อง nano-high performance liquid chromatography รุ่น EASY-nLC 1000 (Thermo Scientific, USA) โดยโปรตีนจะถูกชะออกมาจากคอลัมน์โดยใช้ solvent A คือ กรดฟอร์มิก 0.1% (v/v) และ solvent B คือ อะซีโตไนโตรล์ 99.9% (v/v) /กรดฟอร์มิก 0.1% (v/v) โดยตั้งค่า gradient เป็น 0-95% solvent B เป็นเวลา 120 นาที และใช้ flow rate เท่ากับ 300 นาโนลิตร/นาที หลังจากนั้นโปรตีนที่ถูกชะออกจากคอลัมน์จะถูกทำให้เกิดเป็นไอออนโดยใช้ nano-electrospray ionization และถูกตรวจวัดมวล/ประจุ (m/z) ด้วย Q Exactive™ hybrid Quadrupole-Orbitrap mass spectrometer (Thermo scientific, USA) โดย precursor ion จะถูกบันทึกมวลในช่วง m/z เท่ากับ 350-1600 ที่ resolution เท่ากับ 70,000 โดยข้อมูลที่ได้จะถูกจัดเก็บในโหมด data dependent acquisition ซึ่ง precursor ion ที่มีปริมาณมากที่สุดจะถูกเลือกไปทำ fragmentation โดยใช้ collision- induced dissociation (CID) โดยมวลของ product ion จะถูกบันทึกที่ resolution เท่ากับ 17,500

### 5. การระบุชนิดและค้นหาหน้าที่ของโปรตีน

โปรตีนถูกระบุชนิดด้วยวิธี MS/MS ion search เพื่อวิเคราะห์ MS/MS spectra โดยการเปรียบเทียบกับโปรตีนในฐานข้อมูล UniprotKB โดยใช้ Maxquant software โดยกำหนดการค้นหาเป็นแบบ no enzyme digestion และใส่ variable modification ของการเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งกรดอะมิโนเมไทโอนีน และกำหนดค่า precursor ion



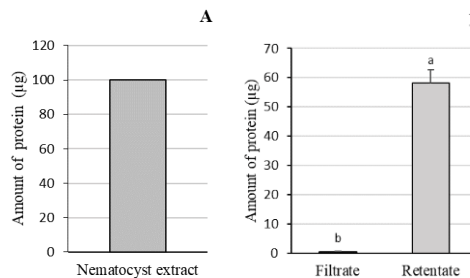
tolerance อยู่ที่ 20 ppm และ fragment ion tolerance อยู่ที่ 4.5 ppm และกำหนดค่า false discovery rate ไว้ที่ 1% จากนั้นโปรตีนจะถูกนำไปค้นหาหน้าที่โดยใช้โปรแกรม Protein Information Resource (PIR)

#### 6. การวิเคราะห์หัยสำคัญทางสถิติ

ความแตกต่างของชุดข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 17 โดยใช้การทดสอบแบบ One-way ANOVA และ Tukey's test โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่  $p < 0.05$

### ผลและวิจารณ์

จากการสกัดโปรตีนจากนีมาโทซิสต์ด้วยสารละลาย SDS พบว่าสารละลายที่สกัดได้มีความเข้มข้น 3,212 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อนำโปรตีนปริมาณ 100 ไมโครกรัม มาทำการแยกตามขนาดโมเลกุลด้วยเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 10 กิโลดาลตัน (ภาพที่ 1A) พบว่าโปรตีนส่วนใหญ่มีขนาดโมเลกุลสูงกว่า 10 กิโลดาลตัน โดยคิดเป็นปริมาณ  $58.24 \pm 4.47$  ไมโครกรัม ส่วนโปรตีนขนาดเล็กที่ผ่านตัวกรอง (filtrate) คิดเป็นปริมาณ  $0.31 \pm 0.27$  ไมโครกรัม (ภาพที่ 1B) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียโปรตีนในระหว่างการแยกด้วยเยื่อกรองเมมเบรน ประมาณ 41% เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ซึ่งอาจเกิดจากการยึดเกาะของโปรตีนบนพื้นผิวของเมมเบรน และส่งผลให้แฟรกชันของโปรตีนที่มีขนาดเล็กกว่า 10 กิโลดาลตัน มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะระบุชนิดของโปรตีนด้วย LC-MS/MS ได้

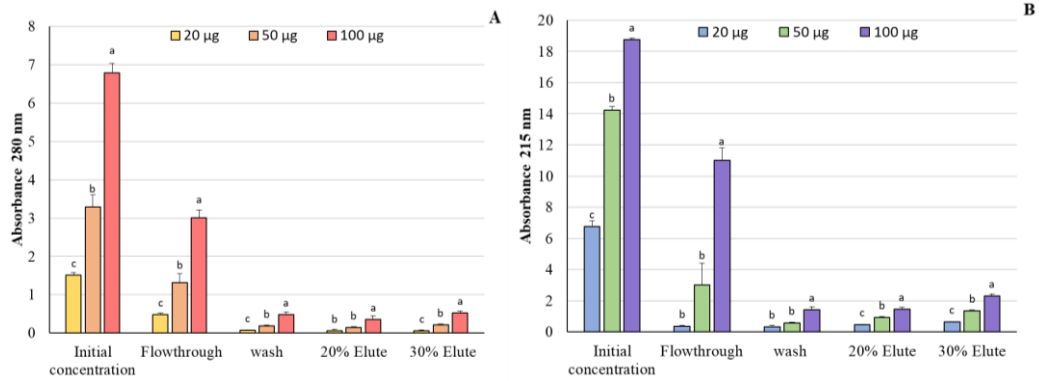


ภาพที่ 1. ปริมาณโปรตีนที่สกัดจากพิษของแมงกะพรุน 100 ไมโครกรัม (A) และโปรตีนที่ผ่านการแยกด้วยเยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 10 กิโลดาลตัน (B)

เนื่องจากการแยกโปรตีนตามขนาดโมเลกุลโดยอาศัยเยื่อกรองเมมเบรนอาจมีการสูญเสียโปรตีนในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาวิธีการแยกโปรตีนขนาดเล็ก โดยอาศัย spin column ที่บรรจุ C18 silica bead ซึ่งโดยทั่วไป โปรตีนขนาดใหญ่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูงกว่าโปรตีนขนาดเล็ก และมีแนวโน้มที่จะจับอยู่กับ C18 ที่ใช้เป็นเฟสคงที่ได้ดีกว่า ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีนโดยใช้ C18 spin column โดยศึกษาเปรียบเทียบผลของปริมาณโปรตีนเริ่มต้น ปริมาณ C18 silica bead และความเข้มข้นของตัวทำละลายที่มีผลต่อปริมาณของโปรตีนที่ถูกชะออกจากคอลัมน์

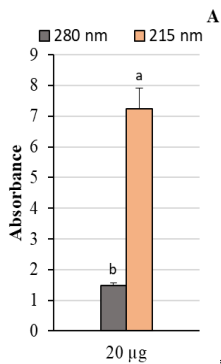
ปริมาณโปรตีนเริ่มต้นที่ถูกทดสอบ ได้แก่ 20, 50 และ 100 ไมโครกรัม ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 นาโนเมตร อยู่ในช่วง 1.5 – 6.79 และค่าการดูดกลืนแสงที่ 215 นาโนเมตร อยู่ในช่วง 6.77 -18.75 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณโปรตีน 20 ไมโครกรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการไหลลงคอลัมน์ และที่ 50 และ 100 ไมโครกรัม เป็นปริมาณโปรตีนที่มากเกินไปต่อการไหลลงคอลัมน์ โดยสังเกตได้จากอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ 215 นาโนเมตร ของแฟรกชัน flow-through ต่อแฟรกชัน elute ซึ่งจากการใช้ปริมาณโปรตีนเริ่มต้นที่ 20 50 และ 100 ไมโครกรัม

คิดเป็นอัตราส่วน 0.78:1 3.35:1 และ 7.5:1 ตามลำดับ เมื่อใช้สารละลายอะซีโตไนไตรล์เข้มข้น 20% เป็น elution buffer และคิดเป็นอัตราส่วน 0.58:1 2.25:1 และ 4.79:1 เมื่อใช้สารละลายอะซีโตไนไตรล์เข้มข้น 30% เป็น elution buffer ซึ่งค่าอัตราส่วนที่มากจะแสดงถึงการไหลดโปรตีนลงคอลัมน์ในปริมาณมากเกินไปจึงทำให้สูญเสียโปรตีนที่แพกชั้น flow-through (ภาพที่ 2)

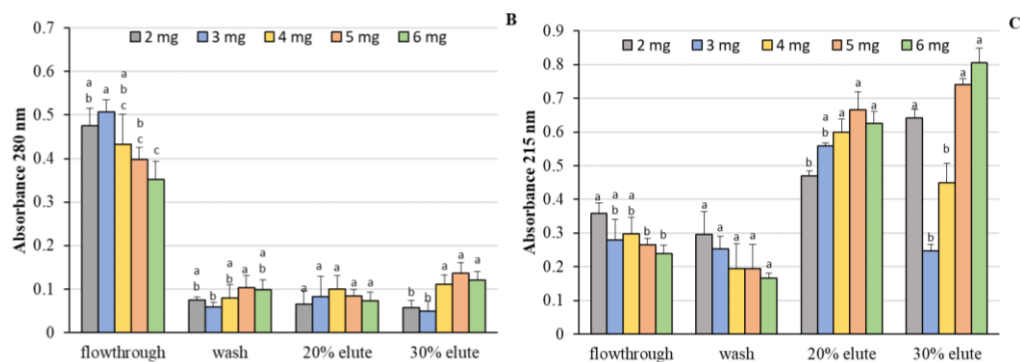


**ภาพที่ 2.** ค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนที่ 280 นาโนเมตร (A) และ 215 นาโนเมตร (B) จากตัวอย่างที่ผ่าน C18 spin column โดยใช้ความเข้มข้นโปรตีน 20, 50 และ 100 ไมโครกรัมในการไหลดลงคอลัมน์ และใช้อะซีโตไนไตรล์ที่มีความเข้มข้น 20% และ 30% เป็น elution buffer ข้อมูลที่แสดงในรูปเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของชุดข้อมูล ( $p < 0.05$ )

จากการศึกษาปริมาณ C18 silica bead และศึกษาความมีขี้ของ elution buffer ที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีนขนาดเล็ก ปริมาณ C18 silica bead ที่ใช้ในคอลัมน์ ได้แก่ 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิกรัม และความเข้มข้นของอะซีโตไนไตรล์ที่ใช้ใน elution buffer ได้แก่ 20% และ 30% จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าเมื่อตรวจวัดปริมาณโปรตีนด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 นาโนเมตร ปริมาณ C18 ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกชะออกจากคอลัมน์ด้วยสารละลายอะซีโตไนไตรล์เข้มข้น 20% แต่เมื่อชะคอลัมน์ด้วยสารละลายอะซีโตไนไตรล์เข้มข้น 30% ซึ่งมีขี้ลดลง พบว่า C18 silica bead ปริมาณ 4 5 และ 6 มิลลิกรัม มีปริมาณโปรตีนที่ถูกชะออกจากคอลัมน์มากกว่าที่ 2 และ 3 มิลลิกรัม เมื่อพิจารณาการดูดกลืนแสงที่ 215 นาโนเมตร พบว่าปริมาณโปรตีนที่ถูกชะด้วยสารละลายอะซีโตไนไตรล์เข้มข้น 20% แปรผันตรงกับปริมาณ C18 silica bead ที่ใช้ในคอลัมน์ แต่เมื่อลดความมีขี้ของสารละลายโดยการเพิ่มความเข้มข้นของอะซีโตไนไตรล์ พบว่าการใช้ C18 silica bead ที่ปริมาณ 2 5 และ 6 มิลลิกรัม ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด ซึ่งจากการศึกษาการแยกโปรตีนขนาดเล็กด้วย C18 spin column พบว่ามีประสิทธิภาพในการแยกได้ดีกว่าการใช้เยื่อกรองเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 10 กิโลดาลตัน



..... ิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10



**ภาพที่ 3.** ค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนตั้งต้น 20 ไมโครกรัม (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 นาโนเมตร (B) และ 215 นาโนเมตร (C) ของตัวอย่างที่ใช้ปริมาณ C18 silica bead ที่แตกต่างกัน (2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิกรัม) และใช้อะซิโตนไตรอลที่ความเข้มข้น 20% และ 30% เป็น elution buffer จากรูปข้อมูลที่ใช้จะถูกแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรที่ต่างกันจะแสดงถึงความแตกต่างของชุดข้อมูล ( $p < 0.05$ )

จากนั้นทำการระบุชนิดของโปรตีนที่ถูกชะด้วยสารละลายอะซิโตนไตรอลเข้มข้น 20% และ 30% พบว่าที่ความเข้มข้นของอะซิโตนไตรอล 20% สามารถระบุชนิดของโปรตีนได้ 5 ชนิด (ตารางที่ 1) และที่ความเข้มข้นอะซิโตนไตรอล 30% สามารถระบุชนิดของโปรตีนได้ 3 ชนิด (ตารางที่ 2) ซึ่งโปรตีนที่ถูกชะออกมาที่ความเข้มข้น 30% นี้พบว่าเป็นโปรตีนพิษที่สำคัญคือ u-actitoxin-Bcg2a และ toxin Bcg III 15.67 (fragment) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน u-actitoxin-Bcg2a ที่พบว่ามีหน้าที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษต่อระบบประสาท

**ตารางที่ 1.** ชนิดโปรตีนที่ถูกระบุได้จากตัวอย่างที่ถูกชะออกมาด้วยอะซิโตนไตรอลที่ความเข้มข้น 20%

Accession number	ชื่อโปรตีน	Score	Organism	หน้าที่โปรตีน
A0A1J0GUL8	Cytochrome oxidase subunit 2 (Fragment)	5.23	<i>Swiftia simplex</i>	N/A
A0A2S1TXK4	NADH dehydrogenase subunit 4L (Fragment)	5.71	<i>Cryogorgia koolsae</i>	N/A
U5KBQ6	NADH dehydrogenase subunit 5 (Fragment)	6.43	<i>Trissopathes pseudotristicha</i>	N/A
K4M3T3	Cytochrome oxidase subunit II (Fragment)	6.29	<i>Narella cristata</i>	N/A
U5KB38	NADH dehydrogenase subunit 1 (Fragment)	5.87	<i>Stichopathes cf. flagellum</i>	N/A

LYM106-5

**ตารางที่ 2.** ชนิดโปรตีนที่ถูกระบุได้จากตัวอย่างที่ถูกชะออกมาด้วยอะซิโตนไตรอลที่ความเข้มข้น 30%

Accession number	ชื่อโปรตีน	Score	Organism	หน้าที่โปรตีน
P86465	U-actitoxin-Bcg2a	6.21	<i>Bunodosoma cangicum</i>	Neurotoxin
P86469	Toxin Bcg III 15.67 (Fragment)	6.10	<i>Bunodosoma cangicum</i>	Toxin

## บทสรุป

จากการศึกษาวิธีเตรียมตัวอย่างโปรตีนขนาดเล็กจากพิษของแมงกะพรุนหนึ่งพบว่า การใช้ C18 spin column ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้เยื่อกรองเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนขนาด 10 กิโลดาลตัน และจากการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีน พบว่าปริมาณโปรตีนเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 20 ไมโครกรัม ปริมาณ C18 silica bead ที่เหมาะสมคือ 5 และ 6 มิลลิกรัม และชนิดของ solvent ที่เหมาะสมคืออะซิโตไนโตรลที่ความเข้มข้น 30% เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 215 นาโนเมตร และ 280 นาโนเมตร สูงที่สุด และจากการระบุชนิดของโปรตีนพบว่า สามารถระบุชนิดของโปรตีนพิษที่มีขนาดเล็กได้โดยใช้อะซิโตไนโตรลเข้มข้น 30% ซึ่งอาจเป็นโปรตีนที่สำคัญต่อการเกิดอาการบาดเจ็บจากพิษแมงกะพรุนได้ และอาจเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเพื่อใช้รักษาอาการบาดเจ็บจากพิษของแมงกะพรุน หรือการพัฒนานำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาทางการแพทย์อื่นๆได้ในอนาคต

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาลประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 45.4/2562 และศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (Center of Excellence for Innovation in Chemistry) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

## เอกสารอ้างอิง

- Bloom DA, Burnett JW, Alderslade P. (1998). Partial purification of box jellyfish (*Chironex fleckeri*) nematocyst venom isolated at the beachside. *Toxicon*, 36(8), 1075-1085.
- Cegolon L, Heymann WC, Lange JH, Mastrangelo G. (2013). Jellyfish stings and their management: a review. *Marine Drugs*, 11(2), 523-550.
- Chang SC, Bajaj S, Chandy K. (2018). ShK toxin: history, structure and therapeutic applications for autoimmune diseases. *WikiJournal of Science*, 1(1), 1.
- Choudhary I, Lee H, Pyo MJ, Heo Y, Bae SK, Kwon YC, Yoon WD, Kang C, Kim E. (2015). Proteomics approach to examine the cardiotoxic effects of *Nemopilema nomurai* jellyfish venom. *Journal of Proteomics*, 128, 123-131.
- Prentis PJ, Pavasovic A, Norton RS. (2018). Sea anemones: Quiet achievers in the field of peptide toxins. *Toxins*, 10(1), 36.

- Lobo-Ruiz A, Tulla-Puche J. (2018). Synthetic approaches of naturally and rationally designed peptides and peptidomimetics. In *Peptide Applications in Biomedicine, Biotechnology and Bioengineering* (pp. 23-49). Woodhead Publishing.
- McGivern JG. (2007). Ziconotide: a review of its pharmacology and use in the treatment of pain. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(1), 69.
- Rappsilber J, Mann M, Ishihama Y. (2007). Protocol for micro-purification, enrichment, pre-fractionation and storage of peptides for proteomics using StageTips. *Nature Protocols*, 2(8), 1896.
- Smith PE, Krohn RI, Hermanson GT, Mallia AK, Gartner FH, Provenzano MD, Fujimoto EK, Goeke NM, Olson BJ, Klenk DC. (1985). Measurement of protein using bicinchoninic acid. *Analytical Biochemistry*, 150(1), 76-85.
- Su M, Ling Y, Yu J, Wu J, Xiao J. (2013). Small proteins: untapped area of potential biological importance. *Frontiers in Genetics*, 4, 286.
- Tinoco AD, Tagore DM, Saghatelian A. (2010). Expanding the dipeptidyl peptidase 4-regulated peptidome via an optimized peptidomics platform. *Journal of the American Chemical Society*, 132(11), 3819-3830.

# การสำรวจเรื่องการใช้เทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยในยุคประเทศไทย 4.0

## Suvey of the use of technology Thai construction industry in Thailand 4.0

เทวัญ ศรีदारานนท์<sup>1</sup>, ชูศักดิ์ พรสิงห์<sup>1</sup>, และ ทองแท่ง ทองลิ้ม<sup>2</sup>

Tewan Sridaranon<sup>1</sup>, Choosak Pornsing<sup>1</sup>, Tongtang Tonglim<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญในประเทศไทยโดยมีมูลค่ารวมทั้งห่วงโซ่อุตสาหกรรมคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ การส่งเสริมให้อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นทางหนึ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเทคโนโลยีที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างไทยและศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามากระทบ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ โดยกลุ่มประชากรที่ใช้ได้แก่บริษัทก่อสร้างที่เป็นสมาชิกสมาคมอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ จำนวน 86 บริษัท จากทั้งหมด 580 บริษัท และมีการตอบกลับทั้งหมด 63 บริษัท คิดเป็นอัตราการตอบกลับร้อยละ 73.33 ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 100 เป็นผู้ชาย มีอายุอยู่ในช่วง 46-55 ปี มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 36.51 ซึ่งมีการศึกษาในระดับปริญญาตรีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 84.12 มีอายุงานมากกว่า 20 ปี คิดเป็นร้อยละ 63.50 กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับบริหารมากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งโดยส่วนใหญ่อยู่ในด้านการบริหารงานออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 19.05 ซึ่งในการตอบกลับจากระดับผู้บริหารที่มีความรู้ความเข้าใจในการบริหารจัดการงานก่อสร้าง ข้อมูลทั้งหมดจึงแสดงให้เห็นว่ามีความน่าเชื่อถือ จากผลของแบบสำรวจจะเห็นได้ว่ามีบางบริษัทได้ดำเนินธุรกิจการก่อสร้างมากกว่าหนึ่งประเภท เมื่อถามถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ที่มีการประยุกต์และนำมาใช้ในปัจจุบัน จะพบว่าเทคโนโลยีที่ใช้มากที่สุดคือใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 29.94 และเทคโนโลยีที่ใช้น้อยที่สุดก็คือเทคโนโลยี Cloud computing คิดเป็นร้อยละ 1.80 จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือทางสถิติจะพบว่า บริษัทที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีการก่อสร้างรวมถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ นอกจากนั้นกลุ่มบริษัทด้านงานก่อสร้างอาคารสูงมีผลสำรวจความคิดเห็นเชิงบวกต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างว่ามีผลส่งเสริมกับผลิตภาพและประสิทธิภาพของการดำเนินงานก่อสร้าง ในขณะที่กลุ่มบริษัทด้านงานอื่นๆไม่เห็นถึงผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างอย่างชัดเจนนัก ท้ายสุดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ เช่น เครื่องพิมพ์สามมิติและเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน ยังไม่มีความชัดเจนนักในการนำมาประยุกต์ใช้

**คำสำคัญ :** อุตสาหกรรมก่อสร้าง, เทคโนโลยีการก่อสร้าง, การวิจัยเชิงสำรวจ, อุตสาหกรรม 4.0

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

<sup>2</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จอมบึง ราชบุรี 70150

<sup>2</sup>Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Chombueng Ratchaburi 70150, Thailand

## Abstract

The construction industry is one of the important industries in Thailand, with the value of the whole industry chain accounting for 20% of the country's gross domestic product. Promoting the construction industry as one of the country's economic development This research aims to study the technology that has an impact on the Thai construction industry and study the application of construction technology in the industrial 4.0 era that has modern technology to affect. This research is survey research with questionnaires and interviews. The population used is construction companies that are members of Thai constructor association under H.M. the king. In this study, 86 companies out of a total of 580 companies and 63 responses in total, representing a response rate of 73.33%, 100% of respondents were men aged between 46-55 years, the most accounting for 36.51%. Which has the most bachelor degree education Representing 84.12% were more than 20 years of age, representing 63.50%. Respondents were in the management level more than 70%, most of which were in the design management. Accounting for 19.05%. In response, from the level of executives with knowledge and understanding of construction management All the information therefore shows that it is reliable. From the results of the survey, it can be seen that some companies are engaged in more than one construction business. When asked about modern construction technology that is currently applied and used Will find that the technology used the most is computer-assisted technology for design Accounting for 29.94% and the least used technology is Cloud computing technology, equivalent to 1.80%. From data analysis using statistical tools, it is found that Medium and large sized companies focus on construction technology, including modern construction technology. In addition, the high-rise building construction companies surveyed positively on the application of construction technology to enhance the productivity and efficiency of the construction process. While other work groups do not clearly see the results of the application of construction technology. Finally, the modern construction technology such as 3D printing and virtual reality technology were not applied evidently.

**Keywords :** Construction industry, Construction technology, Survey research, Industry 4.0

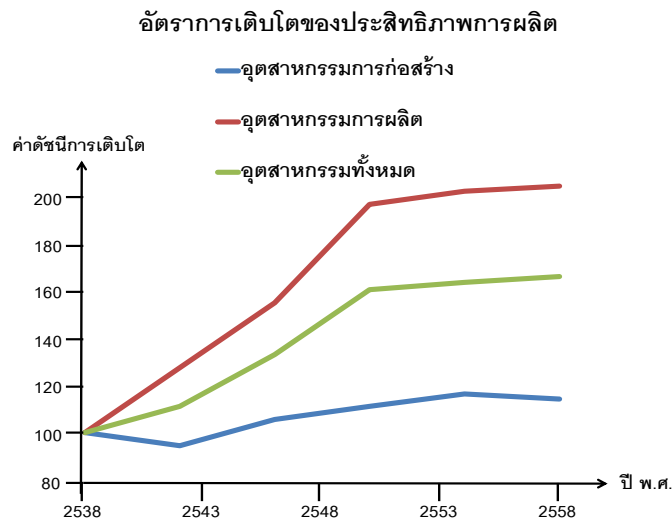
## บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นภาคที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทย โดยในปี พ.ศ. 2552 มีการประมาณการกันว่าธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และการก่อสร้างมีส่วนถึงร้อยละ 20 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) (เกรียงไกร, 2552) หรือคิดเป็นมูลค่าประมาณสองล้านล้านบาท ทั้งนี้รายงานการศึกษาของธนาคารกสิกรไทยประมาณการว่าในปี พ.ศ. 2552 จะมีการเร่งการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ (Mega Project) ที่มีวงเงินลงทุนรวมกว่า 1.03 ล้านล้านบาท รวมถึงโครงการพื้นฐานตามนโยบายไทยนิยมยั่งยืนของรัฐบาลกว่าอีก 14,362 โครงการ โครงการศาลาประชาคม 8,960 โครงการ โครงการปรับปรุงซ่อมแซมประปาหมู่บ้าน 6,103

โครงการ และแผนการลงทุนของกระทรวงคมนาคมอีก 48 เส้นทางด้วยวงเงิน 48,000 ล้านบาท (ธนาคารกสิกรไทย, 2561)

ทั้งหมดนี้เป็นเพียงโครงการจากทางภาครัฐที่ยังไม่ได้รวมถึงโครงการที่ก่อสร้างของภาคเอกชนที่มีขึ้นทั้งในแนวราบและแนวสูงตามเส้นทางของรถไฟฟ้า รายงานนี้ยังระบุว่าประมาณการอุตสาหกรรมก่อสร้างอาจมีมากถึงสามล้านล้านบาท อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมก่อสร้างก็ยังพบกับอุปสรรคนานับประการ จากความผันผวนของราคาน้ำมันที่ส่งผลถึงราคาวัสดุก่อสร้าง ที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ธวัชชัย, 2558) ปัญหาการขาดแคลนแรงงานทั้งแรงงานฝีมือและแรงงานไร้ฝีมือ ความซับซ้อนของโครงการทั้งในแง่เทคโนโลยีการก่อสร้างและการบริหารจัดการโครงการ ทำให้อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยไม่สามารถเติบโตได้อย่างยั่งยืน (ทิพวรรณ, 2550)

รายงานของศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและธุรกิจ ธนาคารไทยพาณิชย์ (2562) ระบุว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยยังมีปัญหาด้านผลิตภาพ (Productivity) หากเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยอัตราการเติบโตของผลิตภาพในปี พ.ศ. 2558 ดัชนีอยู่ที่ 110 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2538 ที่อยู่ที่ 100 ในขณะที่อุตสาหกรรมการผลิตมีดัชนีอยู่ที่ 195 ในปีเดียวกัน (ดูรูปที่ 1) นอกจากนี้แรงกดดันทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ในยุคประเทศไทย 4.0 เช่น 3D Printing, Construction Robotics, Virtual Reality เป็นต้น ได้เริ่มเข้ามาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ประเทศที่พัฒนาแล้ว



หมายเหตุ: อัตราการเติบโตของประสิทธิภาพคำนวณจาก 41 ประเทศที่มี GDP รวมสูงถึง 96% ของ GDP โลก

การวิเคราะห์โดย EIC จากข้อมูล WEF และ McKinsey

รูปที่ 1 ผลิตภาพของอุตสาหกรรมก่อสร้าง

ที่มาข้อมูล: <https://baania.com/th/article/เทคโนโลยี-ทางรอดอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย>

เข้าถึงเมื่อ 10 มิถุนายน 2562

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสถานการณ์การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย รวมถึงผลิตภาพการก่อสร้างในปัจจุบัน
2. เพื่อศึกษาแนวโน้มการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เป็นนวัตกรรมเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทย



## นิยามศัพท์

1. เทคโนโลยีการก่อสร้าง (Construction Technology) ในที่นี้หมายถึงกลุ่มของเครื่องมือ เครื่องจักร และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในขณะก่อสร้างเพื่อให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเครื่องมือเครื่องจักรเหล่านี้รวมถึงเครื่องมือเครื่องจักรที่เป็นอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ เช่น Building Information Management (BIM), Project Management Package, Computer Aided Design (CAD), Prefabs Technology เป็นต้น

2. เทคโนโลยีก่อสร้างสมัยใหม่ (Modern Construction Innovation) ในงานวิจัยนี้หมายถึงนวัตกรรม การก่อสร้างที่อาศัยเทคโนโลยีฐานจากยุคอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อเปลี่ยนแปลงกระบวนการดำเนินการอุตสาหกรรม ก่อสร้างอย่างมีนัยสำคัญ อันนับเป็นเทคโนโลยีป่วนและก้าวกระโดดในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น 3D Printing Technology, Virtual Reality Technology, Internet of Things, Big Data เป็นต้น

## วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) ซึ่งใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) ในการเก็บ ข้อมูล ซึ่งประชากรในการวิจัยครั้งนี้เป็นบริษัทที่เป็นสมาชิกของสมาคมอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ดังแสดงรายละเอียดในหนังสือรายงานของสมาคมประจำปี พ.ศ. 2558 จำนวนทั้งสิ้น 580 บริษัท ในการนี้ผู้วิจัยได้เลือก การสุ่มตัวอย่างแบบอิสระและจำนวนตัวอย่างที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ด้วยวิธีการของทาโร ยามาเน่ ต้องมีการสำรวจ ตัวอย่างทั้งหมด 86 บริษัท

แบบสอบถามถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนที่หนึ่งเป็นการสอบถามถึงข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่สองเป็นคำถามเกี่ยวข้องกับข้อมูลของบริษัทของผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่สามเป็นการสอบถามความคิดเห็นด้านการนำเทคโนโลยีก่อสร้างมาประยุกต์ใช้ ในแบบ Likert Scale 5 ระดับ โดยแบ่งเป็นกลุ่มด้านนโยบาย ผลกระทบทั้งด้านประสิทธิภาพและผลผลิตจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้าง และการนำเทคโนโลยีการ ก่อสร้างสมัยใหม่ ยกตัวอย่างเช่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เครื่องพิมพ์สามมิติ และอื่นๆ เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยการส่งแบบสอบถามให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการบริหารงาน ก่อสร้าง ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการวิจัยเชิงสำรวจ และผู้ทรงคุณวุฒิด้านการบริหารธุรกิจก่อสร้าง จำนวน 3 ท่าน ซึ่งพบว่าค่า IOC ของคำถามทุกข้อมีค่าระหว่าง 0.50 ถึง 1.00 ซึ่งแสดงว่าแบบสอบถามนี้มีความเหมาะสมเชิงเนื้อหา จากนั้นผู้วิจัยได้ ดำเนินการทดสอบความเชื่อมั่นโดยการนำไปทดลองใช้และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของครอนบาค กับบริษัทตัวอย่างจำนวน 20 แห่ง ผลการทดสอบพบว่าคำถามทุกข้อมีสัมประสิทธิ์แอลฟาไม่ต่ำกว่า 0.8 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดี และมีคำถามร้อยละ 50 มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาไม่ต่ำกว่า 0.9 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดีมาก จากนั้นจึงส่งแบบสอบถามไปจำนวน 86 บริษัท ด้วยวิธีการทางไปรษณีย์ โทรสัมภาษณ์ และสำรวจผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์

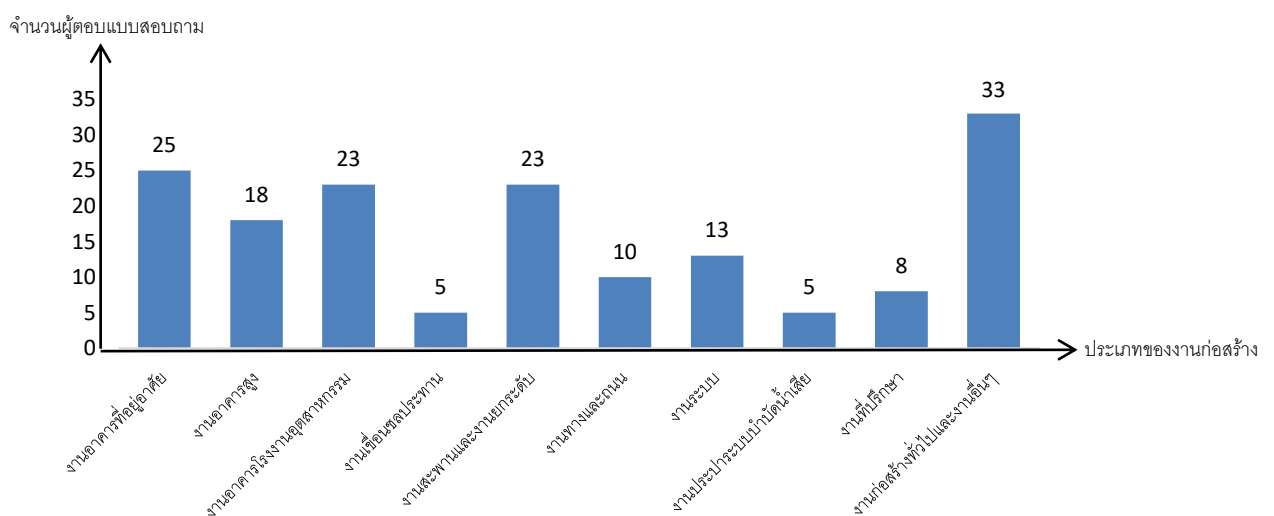
## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากแบบสอบถามที่ส่งออกไปผู้วิจัยได้รับกลับมาทั้งหมด 63 แบบสอบถาม คิดอัตราตอบกลับเป็นร้อยละ 73.33 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ผลการสอบถามในส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

ในส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 100 เป็นผู้ชาย มีอายุอยู่ในช่วง 46-55 ปี มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 36.51 รองลงมาอยู่ในช่วงอายุ 36-45 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ

31.75 ซึ่งมีการศึกษามากที่สุดในระดับปริญญาตรี โดยคิดเป็นร้อยละ 84.12 ที่เหลือร้อยละ 15.88 จบการศึกษาในระดับปริญญาโท โดยร้อยละ 63.50 มีอายุงานมากกว่า 20 ปี รองลงมาคืออายุงานระหว่าง 16-20 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 15.87 ในกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามมากกว่าร้อยละ 70 อยู่ในหน้าที่ระดับบริหาร โดยอยู่ในตำแหน่งระดับผู้จัดการ ร้อยละ 30.15 รองลงมาอยู่ในตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ โดยคิดเป็นร้อยละ 23.81 และอยู่ในตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ คิดเป็นร้อยละ 20.63 ซึ่งโดยส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งงานด้านบริหารงานออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 19.05 รองลงมารับผิดชอบงานด้านทรัพยากรมนุษย์ คิดเป็นร้อยละ 17.48 และด้านการตลาด คิดเป็นร้อยละ 12.69 จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้รับมีความน่าเชื่อถือ เพราะเป็นการตอบกลับจากระดับผู้บริหารที่มีความรู้ความเข้าใจในการบริหารจัดการงานก่อสร้าง

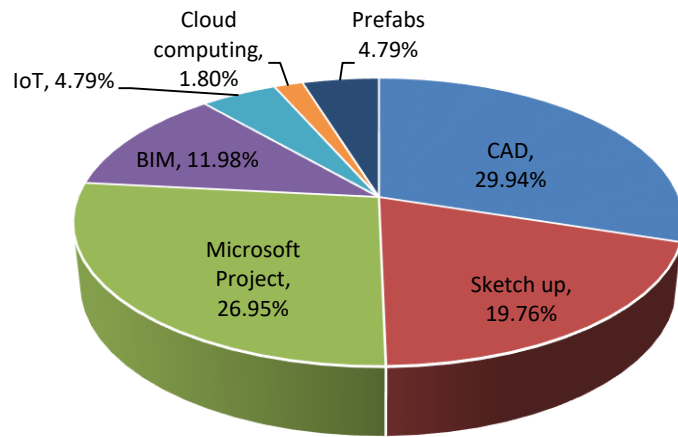
ในส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบริษัทก่อสร้าง ซึ่งประเภทของการธุรกิจก่อสร้างแบ่งตามการกำหนดของสมาคมอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 ประเภท จากผลของแบบสำรวจจะเห็นได้ว่ามีบางบริษัทได้ดำเนินธุรกิจการก่อสร้างมากกว่าหนึ่งประเภท จึงนำข้อมูลนำมาแบ่งตามประเภทของการก่อสร้างได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าบริษัทผู้ตอบแบบสอบถามได้ดำเนินงานก่อสร้างที่ทั่วไปมากที่สุด จำนวน 33 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 20.25 และที่น้อยที่สุดคืองานเชื่อมชลประทาน และงานประปาระบบบำบัดน้ำเสีย จำนวนประเภทละ 5 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 3.07



รูปที่ 2 ประเภทงานก่อสร้างของกลุ่มบริษัทผู้ตอบแบบสอบถาม

ประเภทการจดทะเบียนของบริษัทตัวอย่างทั้ง 63 บริษัทสามารถแบ่งออกได้เป็น บริษัทจำกัด จำนวน 38 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 60.32 ประเภทห้างหุ้นส่วนจำกัด จำนวน 16 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 25.39 และท้ายสุดบริษัทจำกัดมหาชน จำนวน 9 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 14.29

เมื่อถามถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มีการประยุกต์และนำมาใช้ในปัจจุบัน จะพบว่าเทคโนโลยีที่ใช้มากที่สุดคือใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 29.94 และเทคโนโลยีที่นำมาใช้น้อยที่สุดคือเทคโนโลยี Cloud computing ซึ่งเริ่มนำมาช่วยเสริมความสามารถในการบริหารจัดการโครงการก่อสร้างและเพิ่มผลผลิตของโครงการ คิดเป็นร้อยละ 1.80 โดยสัดส่วนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัดส่วนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างในปัจจุบัน

ในส่วนที่ 3 ของแบบสอบถาม เป็นการสอบถามเชิงความคิดเห็นด้วยการสำรวจแบบ Likert Scale 5 ระดับ จำนวน 19 คำถาม แบ่งเป็นโดยแบ่งเป็นกลุ่มด้านนโยบาย ผลกระทบทั้งด้านประสิทธิภาพและผลผลิตจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้าง และการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ ผลการสอบถามแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการสอบถามความคิดเห็นในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

ประเด็นความคิดเห็น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1. บริษัทของท่านมีองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ และนวัตกรรมด้านการก่อสร้างเป็นอย่างดี	3.42	0.654	มาก
2. บริษัทของท่านมีนโยบายการส่งเสริมให้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในงานก่อสร้าง	3.83	0.637	มาก
3. ปัจจุบันบริษัทของท่านมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในงานก่อสร้าง	3.21	0.932	ปานกลาง
4. บริษัทของท่านจัดสรรงบประมาณสำหรับนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในงานก่อสร้าง	3.08	0.654	ปานกลาง
5. บริษัทของท่านได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาในอุตสาหกรรมก่อสร้าง	2.96	0.751	ปานกลาง
6. บริษัทของท่านมีความเข้าใจในผลกระทบด้านบวกที่เกิดขึ้นของเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่จึงมีความเชื่อมั่นในการใช้นวัตกรรม	3.54	0.588	มาก
7. ปัจจุบันด้านราคาของเทคโนโลยีใหม่ ๆ และนวัตกรรมในงานก่อสร้างมีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้นวัตกรรมนั้น ๆ	3.92	0.776	มาก
8. การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในงานก่อสร้างสามารถช่วยเพิ่มรายได้ให้กับสถานประกอบการอย่างเห็นได้ชัด	3.50	0.659	มาก
9. การที่ผู้ประกอบการรายใหญ่นำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการก่อสร้างส่งผลกระทบต่อบริษัทของท่าน	3.08	0.717	ปานกลาง
10. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในงานก่อสร้างส่งผลให้บริษัทของท่านมีผลผลิตสูงขึ้น	3.58	0.654	มาก
11. ในอนาคตสถานประกอบการของท่านมีเป้าหมายในการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยแก้ปัญหาด้านผลผลิตด้านแรงงานต่ำ	3.63	0.711	มาก
12. การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในงานก่อสร้างทำให้ประสิทธิภาพของงานก่อสร้างดีขึ้น	3.88	0.537	มาก
13. สถานประกอบการของท่านมีการนำเทคโนโลยีด้านการจำลองความเป็นจริงเสมือนนำมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ	2.75	0.847	ปานกลาง
14. สถานประกอบการของท่านนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสิ่ง (IoT) เข้ามาใช้เพื่อสามารถติดตามการใช้ทรัพยากรในการก่อสร้างได้ดีและแม่นยำขึ้น	2.42	0.830	น้อย
15. สถานประกอบการของท่านมีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสิ่ง (IoT) ประยุกต์เข้ากับเซนเซอร์สำหรับงานซ่อมบำรุงของเครื่องจักรเพื่อลดการเสียหาย	2.17	0.761	น้อย
16. สถานประกอบการของท่านมีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสิ่ง (IoT) ในการจัดการด้านพลังงาน ส่ง	2.13	0.850	น้อย

ประเด็นความคิดเห็น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
ข้อมูลเชิงเพื่องเพื่อให้เครื่องจักรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ			
17. สถานประกอบการของท่านมีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสิ่ง (IoT) ประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยี RFID (Radio-Frequency Identification) เพื่อการรายงานความปลอดภัยแบบตามเวลาจริง	2.04	0.806	น้อย
18. สถานประกอบการของท่านมีการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในการจัดเก็บตัวเลขและข้อมูลที่ซับซ้อนผ่านระบบคลาวด์ (Cloud computing) และเป็นแบบเวลาจริง	2.38	1.135	น้อย
19. สถานประกอบการของท่านมีการเลือกใช้โดรนในการตรวจดูหน้างานก่อสร้าง	2.42	1.381	น้อย

เมื่อนำข้อมูลแบบสอบถามของคะแนนความคิดเห็นในแต่ละประเด็นมาทดสอบสมมติฐานโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิค Tukey Test โดยมีรายละเอียดดังนี้

**สมมติฐานที่ 1:** การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างเกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผู้ประกอบการรายใหญ่และรายย่อย

ตั้งสมมติฐานหลัก  $H_0$  : ผู้ประกอบการที่มีขนาดแตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างไม่แตกต่างกัน และสมมติฐานรอง  $H_1$  : ผู้ประกอบการที่มีขนาดแตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างแตกต่างกัน ได้ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Minitab

จากสมมติฐานที่ 1 พบว่ากลุ่มห้างหุ้นส่วนจำกัด บริษัทจำกัด และบริษัทจำกัดมหาชน มีความคิดเห็นในด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างแตกต่างกัน โดยในกลุ่มบริษัทจำกัดและบริษัทจำกัดมหาชนมีความเห็นว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้จะมีผลดีต่อการดำเนินธุรกิจก่อสร้างและยังมีนโยบายที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวอีกด้วย ในขณะที่กลุ่มห้างหุ้นส่วนจำกัดมีความเห็นแตกต่างไป โดยไม่ได้มีการจัดเตรียมใดๆ นอกจากนั้นยังมีความเห็นในเชิงลบกับผลกระทบของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างอีกด้วย

**สมมติฐานที่ 2:** ผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างส่งผลถึงผลิตภาพที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตั้งสมมติฐานหลัก  $H_0$  : ผู้ประกอบการที่มีขนาดแตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านผลิตภาพและประสิทธิภาพเมื่อมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างไม่แตกต่างกัน และสมมติฐานรอง  $H_1$  : ผู้ประกอบการที่มีประเภทงานก่อสร้างแตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านผลิตภาพและประสิทธิภาพเมื่อมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างแตกต่างกัน ได้ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Minitab

จากสมมติฐานที่ 2 เมื่อแบ่งตามประเภทของงานก่อสร้าง (รูปที่ 2) แล้ว แต่ละกลุ่มมีความคิดเห็นในผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างแตกต่างกัน และเมื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่มตามวิธีการ Tukey Test พบว่าประเภทงานก่อสร้างอาคารสูงให้ความเห็นในเชิงบวกต่อเทคโนโลยีการก่อสร้างว่ามีผลต่อผลิตภาพของบริษัทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันประเภทงานระบบให้ความเห็นถึงเทคโนโลยีการก่อสร้างที่นำมาประยุกต์ใช้ว่าไม่สามารถเพิ่มผลิตภาพและประสิทธิภาพการดำเนินงานก่อสร้างของบริษัทได้อย่างชัดเจน

## สรุป

ด้วยการเติบโตของเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ในทุกภาคส่วนของอุตสาหกรรมและบริการต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีอย่างจริงจังเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับธุรกิจที่ต้นกำลังดำเนินงานอยู่เพื่อเพิ่มผลผลิตและความสามารถในการแข่งขันได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีการก่อสร้างที่บริษัทก่อสร้างต่าง ๆ มีการประยุกต์ใช้รวมถึงวางแผนที่จะประยุกต์ใช้ในอนาคต จากวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถามและสัมภาษณ์เชิงลึกได้ผลว่า บริษัทขนาดกลางและขนาดใหญ่ให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีการก่อสร้างรวมถึงแนวโน้มการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ที่เป็นนวัตกรรมมาใช้ เช่น เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยบริหารจัดการโครงการ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และเทคโนโลยีข้อมูลสำหรับการจัดการอาคาร เป็นต้น กลุ่มบริษัทด้านงานก่อสร้างอาคารสูงมีความคิดเห็นในเชิงบวกต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างว่ามีผลส่งเสริมผลผลิตและประสิทธิภาพของการดำเนินงานก่อสร้างในขณะที่กลุ่มบริษัทด้านงานระบบ ได้แก่ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบสุขาภิบาลไม่เห็นถึงผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างอย่างชัดเจนนัก ทั้งนี้เป็นเพราะงานก่อสร้างด้านระบบต้องอาศัยทักษะแรงงานฝีมือค่อนข้างสูงทั้งในการออกแบบ ติดตั้ง และบำรุงรักษา บริษัทเหล่านี้จึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาบุคลากรมนุษย์มากกว่า นอกจากนี้จากผลการสำรวจไม่พบหลักฐานปรากฏถึงการนำเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ เช่น เครื่องพิมพ์สามมิติและเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน ทั้งนี้อาจต้องการพัฒนาเทคโนโลยีอีกระยะหนึ่งทั้งในด้านคุณภาพของเทคโนโลยีและราคาที่ถูกลงจึงจะเหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้จริง

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความกรุณาของผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้ให้ความคิดเห็นและเสนอแนะแนวทางออกแบบแบบสอบถาม และขอขอบคุณตัวแทนบริษัทตัวอย่างที่กรุณาเสียสละเวลาในตอบแบบสอบถามให้สัมภาษณ์เชิงลึก อีกทั้งงานวิจัยฉบับนี้ยังได้รับทุนจากประเภททุนอุดหนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ เพื่อพัฒนานักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา (วิทยานิพนธ์ / สารนิพนธ์) คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 ทางผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

เกรียงไกร เตชกานนท์. (2552). เรื่องอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยสู่สากล ใหญ่เล็กต้องไปด้วยกัน. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์

[http://www.econ.tu.ac.th/oldweb/doc/news/409/econtu\\_24\\_Kriengkrai.pdf](http://www.econ.tu.ac.th/oldweb/doc/news/409/econtu_24_Kriengkrai.pdf).

เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ทิพวรรณ บุญยเพิ่ม. (2550). เรื่องบันได 10 ขั้น สู่การเพิ่มผลผลิตในงานก่อสร้าง. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์

<http://digi.library.tu.ac.th/index/0271/5-1-Jan-Jun-2550/07PAGE68-PAGE84.pdf>.

เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2562.

ธวัชชัย สีมาโลหฤทธิ และ นพรัตน์ สวัสดิ์สกุล. (2558). เรื่องกรณีศึกษาการวิเคราะห์ประมาณปริมาณเหล็กเส้นกลม และเหล็กข้ออ้อยในงานก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์

<https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/article/view/39144>

เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 เมษายน 2562.

ศูนย์วิจัยธนาคารกสิกรไทย.(2561). เรื่องเจาะทิศทางการก่อสร้างไทยปี62. ธนาคารกสิกรไทย, เข้าถึงได้จากเว็บไซต์

[https://kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/T  
hai-Construction-Direction\\_2019.pdf](https://kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/T<br/>hai-Construction-Direction_2019.pdf).

เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2562.

# สนามแม่เหล็กของไฟฟ้ากระแสตรงจากพื้นดินเอกพันธ์ 2 ชั้นที่มีแร่ธาตุรูปจานฝังอยู่

## Magnetic Field of Direct Current Response from an Ore Body Like a Disc Embedded in a 2 Layered Homogeneous Ground

มธุลดา อยู่โพชนา<sup>1</sup> และ สืบสกุล อยู่ยืนยง<sup>2</sup>

Matulada Youpochana<sup>1</sup> and Suabsagun Yooyuanyong<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานค้นคว้าวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาหาผลเฉลยของสนามแม่เหล็กในสภาวะคงตัวที่เกิดจากขั้วไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกฝังในพื้นโลกที่มีลักษณะเป็น 2 ชั้นและแต่ละชั้นมีสภาพนำไฟฟ้าคงตัวเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ที่บริเวณชั้นที่ 2 ได้ดินมีแร่ธาตุรูปจานฝังอยู่ ผลเฉลยของสนามแม่เหล็กหาได้จากการแก้ปัญหาค่าขอบเขตในระบบการวัดแบบอิงความถี่ วิธีเชิงวิเคราะห์ถูกนำมาใช้ผ่านการแปลงฮันเกิล ผลเฉลยที่ได้ถูกนำมาคำนวณและเขียนกราฟแสดงปริมาณสนามแม่เหล็กที่บริเวณต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ผลการค้นคว้าพบว่าปริมาณสนามแม่เหล็กขึ้นกับสภาพนำไฟฟ้าของตัวกลางและแร่ธาตุรูปจานโดยตรง

**คำสำคัญ :** สนามแม่เหล็ก แมกนีโตเมตริก การแปลงฮันเกิล

### Abstract

In this research, we propose the steady state magnetic field due to a DC current source in 2 layer-earth. Each layer has constant conductivity as we increase the depth. There is an ore body like a disc embedded in the second layer. The solution of magnetic field can be determined from the boundary value problems in frequency domain. Analytical method with the use of Hankel transforms is conducted. The solutions are computed and plotted to perform the magnetic field at various locations. Our results exactly show that the magnetic field depends on the conductive of ground and an ore body.

**Keyword:** MAGNETIC FIELD, MAGNETOMETRIC, HANKEL TRANSFORM

---

<sup>1</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhonpathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhonpathom 73000, Thailand.

Email: yooyuanyong\_s@silpakorn.edu

## บทนำ

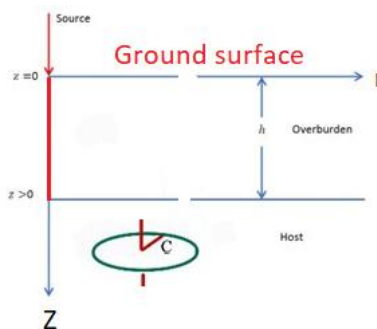
ในปัจจุบันพบว่ามนุษย์สามารถนำทรัพยากรธรรมชาติที่ฝังตัวอยู่ใต้พื้นโลกขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในภาคการเกษตรและด้านอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่ แหล่งทรัพยากรธรรมชาติจะฝังตัวใต้พื้นโลก ซึ่งยากต่อการค้นหา ดังนั้นวิธีการสำรวจเพื่อค้นหาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติจะต้องมีความสามารถในการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแร่ธาตุและพื้นโลกในบริเวณรอบๆ ซึ่งข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ที่ได้จากการสำรวจจะต้องสามารถนำมาประมวลผล เพื่อบ่งบอกถึงตำแหน่งของแร่ธาตุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การสำรวจโดยการขุดเจาะโดยตรงจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้จ่ายน้อยกว่าการสำรวจด้วยวิธีอื่น

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการตั้งสมมติฐานว่าโครงสร้างของพื้นโลกถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น และสมมติให้กลุ่มแร่ธาตุคล้ายแผ่นจานวางอยู่ในชั้นที่ 2
2. เพื่อศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและระยะห่างของเครื่องมือรับ-ส่ง และสามารถหาแนวทางนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่ฝังตัวอยู่ใต้พื้นโลกได้

## วิธีการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยวิธีการทางสภาพต้านทานแบบแมกนีโทเมตริกที่ได้จากการตั้งสมมติฐานว่าโครงสร้างของพื้นโลกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยที่รอยต่อระหว่างชั้นมีลักษณะเป็นระนาบขนานกับพื้นผิวโลกและชั้นบนมีความลึกจำกัด ส่วนชั้นล่างจะมีความลึกเป็นอนันต์ และ สภาพนำไฟฟ้ามีลักษณะเป็นค่าคงตัวในของแต่ละชั้นและโดยมีกลุ่มแร่ธาตุคล้ายแผ่นจานวางอยู่ในชั้นที่ 2



รูปที่ 1 แบบจำลองเรขาคณิตของการสำรวจโครงสร้างใต้พื้นโลก

กำหนดให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านขั้วไฟฟ้า ซึ่งปักอยู่ในพื้นโลก โดยที่ปลายของขั้วไฟฟ้าอยู่ ณ ตำแหน่ง  $z=h$  และ กำหนดให้  $r$  แทน ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กและเครื่องมือวัดปริมาณสนามแม่เหล็ก ในแนวขนานกับพื้นโลก ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กสามารถอธิบายได้โดยสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equations ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\nabla \times \vec{E} = \vec{0} \quad (1)$$



และ

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \vec{J}_d \quad (2)$$

เมื่อ  $\vec{E}$  แทนเวกเตอร์ความเข้มสนามไฟฟ้า  $\vec{H}$  แทนเวกเตอร์ความเข้มสนามแม่เหล็ก และ  $\sigma$  แทนสภาพนำไฟฟ้าของตัวกลางที่สนามทั้งสองผ่าน และ  $\vec{J}_d$  แทนสภาพนำไฟฟ้าของแผ่นงาน โดยสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\nabla \times \frac{1}{\sigma} \nabla \times \vec{H} = \vec{0} \quad (3)$$

ในที่นี้เราจะพิจารณาสนามแม่เหล็กในระบบพิกัดทรงกระบอก  $(r, \phi, z)$  ดังนั้น องค์ประกอบในทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย  $\vec{e}_r$ ,  $\vec{e}_\phi$  และ  $\vec{e}_z$  ของสมการ (3) สามารถเขียนได้ตามลำดับ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \phi} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\sigma} \left( \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} \right) \right) \vec{e}_r \\ & + \left( \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\sigma} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \phi} \right] \right) \vec{e}_\phi \\ & + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{1}{\sigma} \left( \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} \right) \right] - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{1}{\sigma} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) \right) \vec{e}_z = \vec{0} \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ  $H_r$ ,  $H_\phi$  และ  $H_z$  แทนองค์ประกอบของ  $\vec{H}$  ในทิศทางของ  $\vec{e}_r$ ,  $\vec{e}_\phi$  และ  $\vec{e}_z$  ตามลำดับ

เนื่องจาก ในระบบพิกัดทรงกระบอก สนามแม่เหล็กมีองค์ประกอบ  $H_\phi$  เพียงองค์ประกอบเดียว ดังนั้น สมการ (4) สามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้

$$-\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{\sigma r} \frac{\partial}{\partial r} (rH) = 0$$

หรือ

$$\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} + \sigma \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\sigma} \right) \frac{\partial H}{\partial z} + \frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} - \frac{1}{r^2} H = 0 \quad (5)$$

สำหรับวิธีการแก้สมการในงานค้นคว้านี้ใช้การแปลงฮันเกล (Hankel transform) ซึ่งนิยามโดย

$$\tilde{H}(\lambda, z) = \int_0^\infty rH(r, z)J_1(\lambda r)dr \quad (6)$$

และ

$$H(r, z) = \int_0^\infty \lambda \tilde{H}(\lambda, z)J_1(\lambda r)d\lambda \quad (7)$$

เมื่อ  $J_1$  แทนฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่ 1 อันดับ 1 (Bessel function of the first kind of order one) และ  $\lambda$  แทนตัวแปรฮันเกล (Hankel variable) เมื่อใช้การแปลงฮันเกลแปลงสมการ (5) จะได้

$$\frac{d^2\tilde{H}}{dz^2} + \sigma \frac{d}{dz} \left( \frac{1}{\sigma} \right) \frac{d\tilde{H}}{dz} - \lambda^2 \tilde{H} = 0$$

พิจารณารณี สภาพนำไฟฟ้าเป็นค่าคงตัว สมการข้างบนลดรูปลงดังนี้

$$\frac{d^2\tilde{H}}{dz^2} - \lambda^2 \tilde{H} = 0 \quad (8)$$

ซึ่งมีคำตอบทั่วไป คือ

$$\tilde{H}(\lambda, z) = Ae^{-\lambda z} + Be^{\lambda z} \quad (9)$$

เมื่อ  $A$  และ  $B$  แทน ตัวคงค่า ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขขอบเขต

เนื่องจาก ขั้วไฟฟ้าปักอยู่ในพื้นโลก โดยที่ปลายของขั้วไฟฟ้าอยู่ ณ ตำแหน่ง  $z = h$  ดังนั้น สนามแม่เหล็กในชั้นที่ 1 ละ 2 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน นั่นคือ สนามแม่เหล็กที่อธิบายโดยสมการ (9) และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กในพื้นโลก ซึ่งมีองค์ประกอบ  $H_\phi$  เพียงองค์ประกอบเดียว และสามารถอธิบายได้โดยกฎของแอมแปร์ ดังนี้

$$H(r, z) = \frac{I}{2\pi r}$$

เมื่อ  $I$  แทน ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วไฟฟ้า โดยสมการ (6) จะได้ว่า

$$\tilde{H}(\lambda, z) = \int_0^\infty r \left( \frac{I}{2\pi r} \right) J_1(\lambda r) dr = \frac{I}{2\pi\lambda}$$

สำหรับสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากแผ่นงานที่มีรัศมี  $c$  มีค่า  $\frac{I(\omega)c}{\lambda}$

ดังนั้นจากโครงสร้างของพื้นโลกที่แบ่งออกเป็น 2 ชั้นโดยที่ปลายของขั้วไฟฟ้าอยู่ที่ตำแหน่ง  $z = h$ ,  $h > 0$  และมีกลุ่มแร่ธาตุคล้ายแผ่นงานวางอยู่ในชั้นที่ 2 สนามแม่เหล็กในชั้นที่ 1 และ 2 สามารถเขียนได้ว่า

$$\tilde{H}_1(\lambda, z) = \frac{I}{2\pi\lambda} + A_1 e^{-\lambda z} + B_1 e^{\lambda z} \quad (10)$$

และ

$$\tilde{H}_2(\lambda, z) = \frac{I(\omega)c}{\lambda} + A_2 e^{-\lambda(z-h)} + B_2 e^{\lambda(z-h)} \quad (11)$$

เมื่อ  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  และ  $B_2$  แทนตัวคงค่า ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขขอบเขต  $I(\omega)$  แทนค่ากระแสไฟฟ้าบนแผ่นงาน  $c$  แทน รัศมีของแผ่นงาน และ  $h$  แทนความหนาของดินชั้นบน

ในขั้นตอนต่อไป เราจะหาตัวคงค่าที่ปรากฏอยู่ในคำตอบทั่วไปของสมการ (10) และ (11) โดยพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตบริเวณรอยต่อระหว่างชั้น จะได้ว่า

$$\lim_{z \rightarrow h^-} \tilde{H}_1(\lambda, z) = \lim_{z \rightarrow h^+} \tilde{H}_2(\lambda, z)$$

และ

$$\lim_{z \rightarrow h^-} \tilde{E}_1^r(\lambda, z) = \lim_{z \rightarrow h^+} \tilde{E}_2^r(\lambda, z)$$

เมื่อ  $\tilde{E}_1^r$  และ  $\tilde{E}_2^r$  แทน สนามไฟฟ้าในชั้นที่ 1 และ 2 ในทิศทางของ  $\vec{e}_r$

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของ  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$  จากสมการ (2) จะได้ว่า

$$\vec{E} = \frac{1}{\sigma} \left[ \left( \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) \vec{e}_r + \left( \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} \right) \vec{e}_\phi + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \phi} \right) \vec{e}_z \right]$$

ดังนั้น

$$E_r = -\frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial z} \quad \text{และ} \quad E_z = \frac{1}{\sigma r} \frac{\partial}{\partial z} (rH)$$

โดยสมการ (6) จะได้ว่า

$$\tilde{E}_r(\lambda, z) = \int_0^\infty \left[ -\frac{1}{\sigma(z)} \frac{\partial}{\partial z} H(r, z) \right] J_1(\lambda r) dr = -\frac{1}{\sigma(z)} \frac{\partial}{\partial z} \tilde{H}(\lambda, z)$$

เนื่องจาก ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลข้ามผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวโลกและอากาศ ดังนั้น

$$\sigma_1(z) E_1^z(r, z) \Big|_{z=0} = 0$$

เมื่อ  $E_1^z$  แทน สนามไฟฟ้าในชั้นที่ 1 ในทิศทางของ  $\vec{e}_z$

โดยทั่วไปเมื่อ  $z \rightarrow \infty$  จะได้ว่า  $\tilde{H}_1(\lambda, z) \rightarrow 0$  เราจึงต้องกำหนดเงื่อนไขบังคับ เพื่อให้สนามแม่เหล็กในชั้น

ล่างสุดสอดคล้องกับความจริงดังกล่าว ดังนั้นเมื่อใช้เงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นจะเขียนสนามแม่เหล็กในชั้นที่ 1 และ 2 ได้

ดังนี้

$$\tilde{H}_1(\lambda, z) = \frac{I}{2\pi\lambda} + \frac{I}{\lambda} \left( \frac{c - \frac{1}{2\pi}}{\left( e^{-h\lambda} - e^{h\lambda} \right) - \left[ \frac{\sigma_2(z)}{\sigma_1(z)} \left( e^{-h\lambda} + e^{h\lambda} \right) \right]} \right) (e^{-z\lambda} - e^{z\lambda}),$$

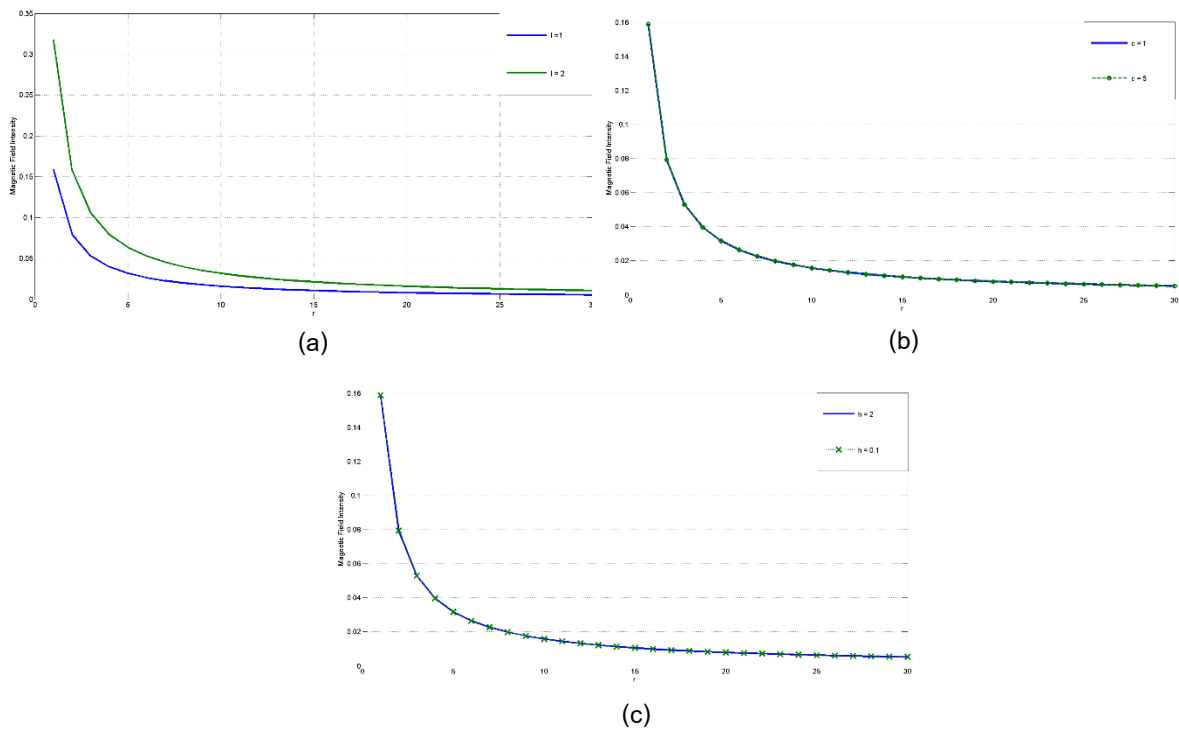
เมื่อ  $0 \leq z \leq h$  และ

$$\tilde{H}_2(\lambda, z) = \frac{I\sigma_2(z)}{\lambda\sigma_1(z)} \left( \frac{c - \frac{1}{2\pi}}{\left( e^{-h\lambda} - e^{h\lambda} \right) - \left[ \frac{\sigma_2(z)}{\sigma_1(z)} \left( e^{-h\lambda} + e^{h\lambda} \right) \right]} \right) \left( e^{-h\lambda} + e^{h\lambda} \right) e^{-\lambda(z-h)} + \frac{I(\omega)c}{\lambda}$$

เมื่อ  $z > h$

## ผลและวิจารณ์

พิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสำรวจโครงสร้างใต้พื้นโลกที่แบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยที่รอยต่อระหว่างชั้นมีลักษณะเป็นระนาบขนานกับพื้นผิวโลก ซึ่งชั้นบนมีความลึกจำกัดและสภาพนำไฟฟ้ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบค่าคงตัวเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ส่วนชั้นล่างมีความลึกเป็นอนันต์ โดยรูปที่ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็ก  $H$  กับระยะห่าง  $r$  โดยกราฟ a กำหนดให้ค่ากระแสไฟฟ้า  $I=1$  และ 2 แอมแปร์, รัศมีของแผ่นจาน  $c=1$  เมตร, ความหนาของดินชั้นบน  $h=2$  เมตร, สภาพการนำไฟฟ้าของชั้นที่ 1  $\sigma_1=2 S/m$ , สภาพ



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะห่างของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ โดยที่ (a)  $I=1$  และ 2 แอมแปร์ (b)  $c=1$  และ 5 เมตร (c)  $h=0.1$  และ 2 เมตร

การนำไฟฟ้าของชั้นที่ 2  $\sigma_2=1 S/m$  บนผิวดินที่  $z=0$  เช่นเดียวกับกราฟ b เปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของแผ่นจาน  $c=1$  และ 5 เมตรและกราฟ c เปลี่ยนแปลงความหนาของดินชั้นบน  $h=0.1$  และ 2 เมตร

จากกราฟ a พบว่าค่าสนามแม่เหล็กลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มค่าสนามแม่เหล็กก็เพิ่มขึ้นด้วย ต่อไปพิจารณากราฟ b เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของแผ่นจานพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกราฟ c เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินชั้นบนพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

## สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยวิธีการทางสภาพต้านทานแบบแมกนีโทเมตริกที่ได้จากการตั้งสมมติฐานว่า โครงสร้างของพื้นโลกแบ่งออกเป็น 2 ชั้นและสมมติให้กลุ่มแร่ธาตุคล้ายแผ่นจานวางอยู่ในชั้นที่ 2 โดยการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยโดยใช้การแปลงฮันเกลเปลี่ยนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์สามัญที่หาคำตอบได้เพื่อหาค่าของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นดิน ซึ่งคำตอบทั่วไปของสนามแม่เหล็กในพื้นที่โลกสามารถบรรยายได้โดยฟังก์ชันค่าจริงของตัวแปรจริง เมื่อพิจารณากรณีสภาพนำไฟฟ้าเป็นค่าคงตัวพบว่าฟังก์ชันที่ใช้บรรยายสนามแม่เหล็กในชั้นดังกล่าวเป็นฟังก์ชันเดียวกันกับฟังก์ชันที่ใช้บรรยายสนามแม่เหล็กในงานวิจัยของ Chen and Oldenburg ยิ่งไปกว่านั้นหากพิจารณาสนามแม่เหล็กที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์พบว่าพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์เมื่อความลึกของชั้นดินเพิ่มขึ้น และถ้าเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยลงค่าของสนามแม่เหล็กก็จะลดลงเช่นกัน แต่ในกรณีค่าของรัศมีของแผ่นจานและความหนาของดินชั้นบนจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเมื่อคำนวณที่ผิวดิน ( $z=0$ ) และเมื่อเพิ่มค่า  $z$  ที่มากกว่า 0 จะพบว่าทั้งขนาดของรัศมีของแผ่นจานและความหนาของดินชั้นบนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอย่างมีนัยสำคัญทันที

## เอกสารอ้างอิง

- Banerjee B, Sengupta BJ, Pal BP. (1980). Apparent resistivity of a multilayered earth with a layer having exponential varying conductivity. *Geophysical Prospecting*, 28(3), 435-52.
- Chen J, Oldenburg DW, (2004). Magnetic and electrical fields of direct currents in a layered earth. *Expl. Geophys*; 35(2), 157-63.
- Ketchanwit P. (2001). Time domain electromagnetic response in heterogeneous media. M.Sc.Thesis, Silpakorn University.
- Kim HS, Lee K. (1996). Response of a multilayered earth with a layers having exponentially varying resistivities. *Geophysics*, 61, 180-91.
- Lewis PE, Ward JP. (1989). *Vector analysis for engineers and scientists*. England: Addison-Wesley.
- Siew PF, Yooyuanyong S. (2001). The electromagnetic response of a disk beneath an exponentially varying conductive overburden. *J. Australian Mathematical Society*, 41, E1-28.
- Spiegel MR. (1974). *Theory and problems of vector analysis and an introduction to tensor analysis: SI (metric) edition*. New York: McGraw-Hill.
- Sripunya W, Yooyuanyong S. (2012). Mathematical inverse problem of magnetic field from heterogeneous earth structures. *Far East J. Math. Sci.* 70, 187-99.
- Sripunya W, Yooyuanyong S. (2007). Magnetic field of direct current in homogeneous media. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 29, 565-73.
- Stoyer CH, Wait JR. (1977). Resistivity probing of an exponential earth with a homogeneous overburden. *Geoexploration*, 15, 11-8.

- Tunnurak P, Kanyamee N, Yooyuanyong S. (2015). Finite element magnetic field response of an exponential conductivity ground profile. *Applied Mathematical Sciences*, 9, 2579–94.
- Yooyuanyong S, Chumchob N. (2000). Mathematical modeling of electromagnetic sounding for a conductive 3-d circular body embedded in half-space. *Third Asian Mathematical Conference*; Oct 23-27, Philippines. p. 590–603.
- Yooyuanyong S. (2020). MATHEMATICAL MODEL OF MMR INVERSION FOR A DISC EMBEDDED IN OVERBURDEN. (Submitted to *Science and Technology, RMUTT Journal*, 2020)

# การใช้วิธี ATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

## ATR-FTIR analysis of fabrics and their thermally treated samples for forensic examination

สุธีรา ธรรมจง<sup>1</sup> ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี<sup>2</sup> และ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง<sup>2</sup>

Suthera Thammajong<sup>1</sup> Supachai Supaluknari<sup>2</sup> and Sirirat Choosakoonkriang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>1</sup>Forensic science program , Faculty of Science, Graduate school, Silpakorn university

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn university

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อจำแนกผ้าและตรวจสอบผ้าที่ถูกทำลายจากความร้อนโดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection - Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) สำหรับการทดสอบจะเลือกผ้าตัวอย่าง 12 ชิ้น ของผ้าคอตตอน 100% ไนลอน 100% อะคริลิก 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ไหม 100% และผ้าผสมโพลีเอสเตอร์ 65% กับ คอตตอน 35% สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่างผ้าสามารถใช้ระบุชนิดผ้าจากลักษณะพีค FTIR ของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในตัวอย่าง สเปกตรัมของตัวอย่างผ้าที่ถูกทำให้เสียสภาพด้วยความร้อนแสดงให้เห็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ปรากฏขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของการประยุกต์ทางความร้อนคือการถูกทำลายการดูดกลืนของพีคนั้นๆ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค ATR-FTIR อาจมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์ของตัวอย่างผ้าและผ้าที่ถูกทำลายโดยความร้อนที่พบในคดีวางเพลิง

**คำสำคัญ** : ATR-FTIR, ผ้า, เส้นใย, ความร้อน

### Abstract

The objective of this study is to identify fabrics and examine thermally treated fabrics using the Attenuated Total Reflection - Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) technique. Twelve samples of 100% cotton, 100% nylon, 100% acrylic, 100% polyester, 100% silk and 65% polyester/35% cotton were selected for examination. The FTIR spectra of the cloth samples can be used to identify the fabric from the characteristic peaks of functional groups presented in the sample. The spectra of

thermally treated samples revealed the deterioration of functional groups due to the effect of heat application as suggested by the diminishing absorption of the characteristic bands. The results in this study demonstrated that the ATR-FTIR technique may be helpful in forensic comparison of fabric samples and thermally changed fabrics found in arson cases.

**Keywords :** ATR-FTIR, Fabrics, Fibers, Thermal

## บทนำ

ปัญหาเศรษฐกิจและสังคมในบ้านเมืองนั้นมีส่วนทำให้ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชาชนในปัจจุบันทำให้เกิดมิชฌาชีพและการก่ออาชญากรรมเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ส่งผลต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินเพิ่มขึ้น พยานหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสืบสวนเพื่อนำไปสู่กระบวนการจับกุมตัวผู้กระทำผิดเพื่อคลี่คลายคดี พยานหลักฐาน หรือ วัตถุพยาน คือสิ่งที่เกี่ยวข้องที่จะเชื่อมโยงกับการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ หมายถึงสิ่งที่สามารถจับต้องได้ตามกฎหมาย และเป็นสิ่งที่สามารถนำมาเสนอในชั้นศาลเพื่อพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดีได้ และเครื่องช่วยชี้ชัดว่ามีกรก่ออาชญากรรมเกิดขึ้นอย่างแน่นอน (พล.ต.อ. อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์และคณะ, 2546) ตามหลักการของ “Locard Exchange Principle Theory” ผู้กระทำความผิดมักทิ้งร่องรอยหรือพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ เมื่อวัตถุมีการสัมผัสกันมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันจะทำให้สามารถเก็บร่องรอย หรือพยานหลักฐานและอ่านสภาพของสถานที่เกิดเหตุได้นำไปสู่การหาตัวผู้กระทำความผิดและป้องกันผู้บริสุทธิ์จากการถูกกล่าวหาได้ (เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น, 2558) วัตถุพยานมีหลายประเภท ได้แก่ วัตถุพยานทางชีวภาพ เช่น คราบเลือด คราบน้ำลาย คราบอสุจิ เส้นผม เส้นขน และวัตถุพยานประเภทสิ่งของ เช่น ลูกกระสุน ปลอกกระสุน เสื้อผ้า เส้นใย วัตถุพยานประเภทเส้นใย อาจได้มาจาก พรหม เครื่องแต่งกาย เครื่องตกแต่งบ้าน เชือก หรือแม้กระทั่งเส้นใยจากเครื่องนอน ของใช้ส่วนตัว ของใช้ในบ้านอื่นๆ โดยที่เส้นใยต่างๆเหล่านี้อาจเชื่อมโยงไปถึงผู้กระทำความผิดหรือเหยื่อโดยตรง เส้นใยธรรมชาติถูกพัฒนาผลิตขึ้นเป็นผ้าเพื่อใช้เพื่อปกปิดร่างกาย ใช้ห่อหุ้มให้ความอบอุ่นแก่ร่างกายจนเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันมาหลายศตวรรษ ผ้าเกิดจากการถักทอของเส้นใย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เช่น ฝ้าย (cotton) ไหม (silk) ขนแกะ (wool) เป็นต้น และเส้นใยสังเคราะห์ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น (man-made fiber) เช่น โพลีเอสเตอร์ (polyester) โพลีเอไมด์ (polyamide) ไนลอน (nylon) อะคริลิก (acrylic) เป็นต้น เส้นใยมีลักษณะคุณสมบัติต่างกัน ส่งผลให้ผ้าที่ถักทอจากเส้นใยต่างๆ มีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปด้วย ปัจจุบันมีการนำผ้าหรือเส้นใยมาผลิตเป็นของใช้ต่างๆมากขึ้น เช่น ผ้าปูที่นอน พรหม กระเป๋า รองเท้า อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น จึงทำให้พบพยานหลักฐานที่ชนิดที่เป็นผ้ามีหลากหลายชนิด การสืบสวนโดยนำวัตถุพยานประเภทเส้นใย หรือเศษผ้าที่ได้ในสถานที่เกิดเหตุมาตรวจเปรียบเทียบกับวัตถุพยานรอบๆตัวของผู้ต้องสงสัยว่าเป็นชนิดเดียวกันหรือมีความ



เชื่อมโยงสมัชชาอนุฐานอื่นๆ ก็สามารถนำไปใช้เป็นพยานหลักฐานที่มีน้ำหนักประกอบในการพิจารณาตัดสินคดีในชั้นศาลได้

จารุวรรณ อัมพฤษ (2012) ศึกษาวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยนำผ้าชนิดต่างๆ มาศึกษา จากการศึกษานี้สามารถแยกผ้าได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ผลิตจากธรรมชาติที่ได้จากพืช ได้แก่ ผ้าฝ้าย ป่าน หนุ่น ลินิน ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching, C-H stretching, C-O-C stretching และปรากฏสเปกตรัมที่เลขคลื่น  $1000-1300\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส กลุ่มที่สองสเปกตรัมที่ได้มีพีคของกลุ่มเอไมด์ที่เลขคลื่น  $1650\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงว่าเป็นเส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ คือ ผ้าไหม กลุ่มที่สามเป็นเส้นใยสังเคราะห์สเปกตรัมแสดงพีคที่เลขคลื่น  $1735\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งได้แก่ ผ้าซีฟอง ผ้าไซลอน ผ้าเครปชาติน พบว่าเทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยวิธี ATR-FTIR เหมาะสมในการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าได้ (จารุวรรณ อัมพฤษ, 2012)

จิราพร เกิดแก้ว (2015) ศึกษาผ้าชนิดต่างๆ เพื่อจำแนกตัวอย่างผ้าต่างชนิดกันด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และเทคนิค DSC จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบของเส้นใยผ้าแสดงพีคในหมู่ฟังก์ชันที่เป็นของตัวอย่างนั้นจริง ผลการทดลองจากเทคนิค ATR-FTIR และการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DSC พบว่าสามารถระบุและแยกความแตกต่างของผ้าได้ (จิราพร เกิดแก้ว, 2015)

Pillierin Peets et al. (2019) ได้ศึกษาการคัดแยกประเภทของผ้าโดยใช้เทคนิค Reflectance-FT-IR Spectroscopy (r-FT-IR) ทำการศึกษาผ้าที่มีองค์ประกอบชนิดเดียวทั้งหมด 61 แบบ โดยแบ่งได้เป็น 16 ประเภทที่แตกต่างกัน ทำการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ระหว่างโหมด r-FT-IR กับ ATR-FT-IR ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างสองวิธีการวิเคราะห์โดยในกรณีศึกษาสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ของวิธี r-FT-IR มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวิธี ATR-FT-IR แต่ก็ยังพบว่าในกรณีของเส้นใยที่ทำมาจากขนสัตว์ไหม และ polyamide เทคนิค r-FT-IR มีความสามารถจำแนกความแตกต่างของเส้นใยที่ทำมาจากขนสัตว์ไหม และ polyamide ได้ดีกว่าเทคนิค ATR-FTIR (Peets, Kaupmees, Vahur, & Leito, 2019)

Diego Badillo-Sanchez et al. (2019) ศึกษาการเสื่อมสภาพของผ้าไหมในทวีปอเมริกาใต้ โดยใช้ Focal Plane Array (FPA) FTIR ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทุติยภูมิของเส้นไหมในหลายพื้นที่ของทวีปอเมริกาใต้ โดยเทคนิค FPA-FTIR และวิธีอื่นๆ เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในผ้าไหมจากผ้าไหมที่มีอายุต่างกัน การศึกษาพบว่าสเปกตรัมของตัวอย่างที่คล้ายคลึงกันสำหรับผ้าที่มีความเก่าแก่และอายุของตัวอย่างต่างกัน แต่พบว่ามีบางพีคมีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่างผ้า โดยพีคที่เปลี่ยนไปขึ้นกับโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนใน

ตัวอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับสีของตัวอย่างกับโครงสร้างของเส้นใยใหม่ที่เกิดจากการย้อมเส้นใยใหม่จากสารเคมีที่ต่างกัน (Badillo-Sanchez, Chelazzi, Giorgi, Cincinelli, & Baglioni, 2019)

จากข้อมูลการศึกษาที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการจำแนกชนิดของผ้าชนิดต่างๆและศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผ้าชนิดนั้นๆถูกทำลายด้วยความร้อนจนเสียสภาพการเป็นผ้า โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) เพื่อสามารถแยกความแตกต่างของผ้าชนิดต่างๆ และเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผ้าชนิดต่างๆเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อน และสามารถแยกความแตกต่างของผ้าชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ได้เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

### วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่อง Attenuated Total Reflectance (รุ่น Universal ATR sampling accessory) และ Fourier Transform Infrared Spectroscopy รุ่น Spectrum 100 FT-IR ยี่ห้อ PerkinElmer

ตัวอย่างผ้าที่ใช้ในการทดลอง




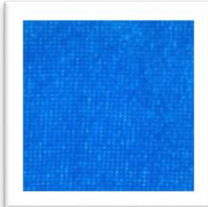








ผ้าจำนวน 12 ตัวอย่าง คือ ผ้าฝ้าย 100%, ผ้าขนหนู, ผ้าใยบัวเกาหลี, ผ้าโพลีเอสเตอร์100%, ผ้ายี่ดโพลีเอสเตอร์, ผ้าไหม, ผ้าซาติน, ผ้าผสม65% polyester/35% cotton, ผ้าดิบ TC (Toray tetoron+cotton), ผ้ากำมะหยี่, ผ้าสักหลาด, และ เส้นใยอะคริลิก แสดงดังตารางที่ 1

วิธีการวิจัย

1. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร สำหรับใช้วิเคราะห์ชนิดผ้า
2. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร แล้วนำไปวางบนเตาให้ความร้อน ( Hot Plate ) โดยให้ความร้อนที่ 200 และ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10นาที 20นาที และ 30นาที
3. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร ทำให้เสียสภาพโดยการเผาด้วยไฟจากไฟหัวฟันทันแก๊สกระป๋องซึ่งให้ความร้อนในช่วงไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส (Butane gas cartridge ) จนไหม้เป็นขี้เถ้า

4. นำตัวอย่างผ้าทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยตั้งค่าการสแกน ที่ 4000-650  $\text{cm}^{-1}$  ที่ 16 scans มีค่า resolution 4  $\text{cm}^{-1}$  จะได้สเปกตรัมที่พล็อตระหว่าง % Transmittanc กับเลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ ) จากนั้นนำผลสเปกตรัมที่ได้ ไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของพีค และประมวลผลการทดลองต่อไป

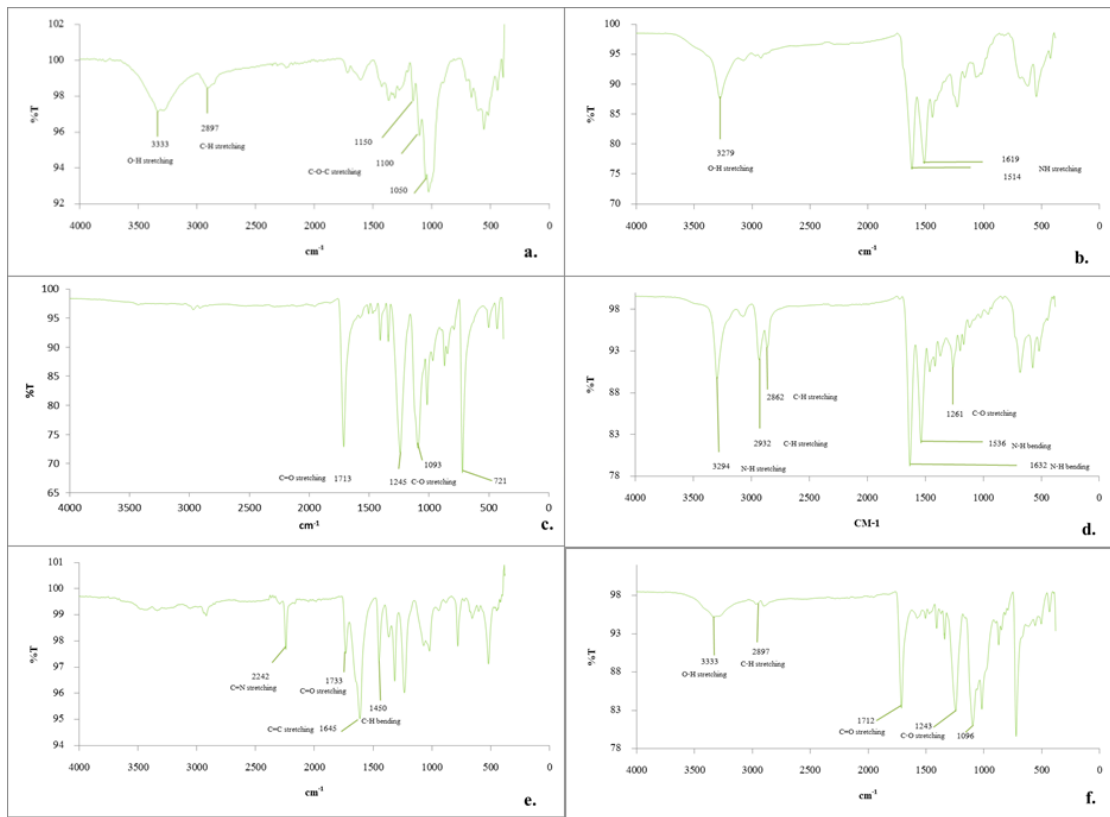
ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลอง

The type of fabrics	Picture	The type of fabrics	Picture
ผ้าฝ้าย 100% cotton		ผ้าใยบัวเกาหลี Nylon stocking fabric	
เส้นใยอะคริลิก 100% acrylic fibers		ผ้ากำมะหยี่ Velvet fabric	
ผ้าผสม 65% polyester/ 35% cotton		ผ้าสักหลาด Felt fabric	
ผ้าซาติน Satin fabric		ผ้าขนหนู Towel fabric Cotton	
ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% polyester		ผ้าดิบ TC Toray tetoron+cotton	
ผ้ายัดโพลีเอสเตอร์		ผ้าไหม Silk	

## ผลการวิจัย

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย เทคนิค ATR-FTIR พบว่าตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ของผ้าแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไปตามหมู่ฟังก์ชันซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบแล้วพบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างผ้าตามวัสดุของเส้นใยที่ผลิตคือ เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ เส้นใยสังเคราะห์ และแบ่งเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ ดังนี้

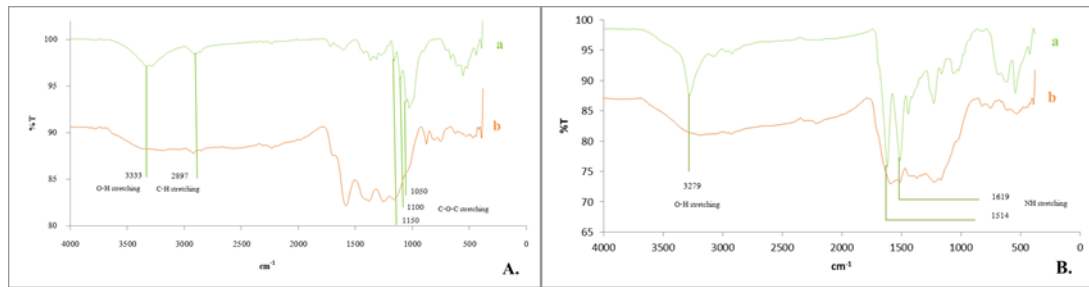
กลุ่มที่	ผ้า	หมู่ฟังก์ชัน
กลุ่มที่ 1 ผ้าฝ้าย (Cotton) (ภาพที่ 1a)	ผ้าฝ้าย (cotton 100%) ผ้าขนหนู (Towel fabric Cotton)	O-H stretching ที่เลขคลื่น 3333 $\text{cm}^{-1}$ , C-O-C stretching ที่เลขคลื่น 1050 $\text{cm}^{-1}$ , 1100 $\text{cm}^{-1}$ , 1150 $\text{cm}^{-1}$ , C-H stretching ที่เลขคลื่น 2897 $\text{cm}^{-1}$
กลุ่มที่ 2 ผ้าไหม (Silk) (ภาพที่ 1b)	ผ้าไหม (Silk)	O-H stretching ของ hydrogen bonded alcohols ที่ เลข คลื่น 3279 $\text{cm}^{-1}$ , C-H stretching, C=O stretching ที่ เลข คลื่น 1696 $\text{cm}^{-1}$ , N-H bending ที่ เลข คลื่น 1514 $\text{cm}^{-1}$ และ ที่เลขคลื่น 1619 $\text{cm}^{-1}$
กลุ่มที่ 3 Polyester (ภาพที่ 1c)	ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ผ้ายัดโพลีเอสเตอร์ ผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric) ผ้าสักหลาด (Felt fabric) ผ้าซาติน (Satin fabric)	C=O stretching ที่เลขคลื่น 1713 $\text{cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ของ ester หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่เลขคลื่น 1245 $\text{cm}^{-1}$ และหมู่ ฟังก์ชันของ C-H bending
กลุ่มที่ 4 Polyamide (ภาพที่ 1d)	ผ้าใยบัวเกาหลี (Nylon stocking fabric)	C-H stretching ที่ เลข คลื่น 2932 $\text{cm}^{-1}$ และ 2862 $\text{cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน $\text{CH}_3$ , $\text{CH}_2$ ของอัลเคน, N-H bending ที่เลขคลื่น 1632 $\text{cm}^{-1}$ และ 1536 $\text{cm}^{-1}$ , C-O stretching ที่ เลข คลื่น 1261 $\text{cm}^{-1}$ , N-H stretching ที่เลขคลื่น 3294 $\text{cm}^{-1}$
กลุ่มที่ 5 Acrylic (ภาพที่ 1e)	เส้นใย Acrylic (Acrylic 100%)	C=N stretching ที่ เลข คลื่น 2242 $\text{cm}^{-1}$ , C=O stretching ที่ เลข คลื่น 1733 $\text{cm}^{-1}$ ของหมู่ ester, C=C stretching ที่เลขคลื่น 1645 $\text{cm}^{-1}$ ของหมู่อัลคีน, C-H bending ที่ เลขคลื่น 1450 $\text{cm}^{-1}$



ภาพที่ 1 Infrared spectrum ของผ้าชนิดต่างๆ a) ผ้าฝ้าย b) ผ้าไหม c) ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%, d) ผ้าใยบัวเกาหลี (Nylon stocking fabric) e) เส้นใย Acrylic f) ผ้าผสม polyester กับ cotton (65% polyester/35% cotton)

สำหรับ Infrared spectrum ภาพที่ 1 f) ผ้าผสมระหว่าง polyester กับ cotton ปรากฏพีคของ polyester ประกอบกับพีคของ cotton ปรากฏขึ้นรวมกัน

จากการวิเคราะห์ผ้าไหมและโพลีเอสเตอร์ที่ถูกให้ความร้อนจากเครื่องให้ความร้อน (Hotplate) ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าไม่มีพีคในสเปกตรัมใดที่ถูกทำลายจากการให้ความร้อนในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 10 นาที 20 นาที และ 30 นาที และผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ทำให้เสียสภาพโดยการเผาด้วยไฟจากไฟหัวพ่นแก๊ส พบว่าผ้ากลุ่มที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติมีบางโครงสร้างถูกทำลายทำให้บางพีคไม่ปรากฏหลังจากผ้าถูกเผาด้วยไฟ ได้แก่ กลุ่มของผ้า Cotton (ภาพที่ 2A) จะเห็นว่าไม่ปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่เลขคลื่น  $3333\text{ cm}^{-1}$ , C-O-C stretching ที่เลขคลื่น  $1050\text{ cm}^{-1}$ ,  $1100\text{ cm}^{-1}$  และ  $1150\text{ cm}^{-1}$  และผ้าไหม (ภาพที่ 2B) จะเห็นว่าไม่ปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น  $3279\text{ cm}^{-1}$ , เลขคลื่น  $1619\text{ cm}^{-1}$  แต่ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ยังคงสภาพปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันเช่นเดิม ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าใยบัวเกาหลี ผ้ากำมะหยี่ ผ้าซาติน ผ้าสักหลาด เส้นใย Acrylic และผ้าผสมที่มีส่วนประกอบระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยเคราะห์ หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยธรรมชาติไม่ปรากฏพีคหลังจากถูกเผาไฟ แต่หมู่ฟังก์ชันที่เป็นของหมู่เส้นใยสังเคราะห์ยังคงปรากฏพีคเช่นเดิม



ภาพที่ 2 A) สเปกตรัมของผ้า Cotton a) และ สเปกตรัมของผ้า Cotton ที่ถูกเผาไฟ b), B) สเปกตรัมของผ้าไหม a) และ สเปกตรัมของผ้า ไหม ที่ถูกเผาไฟ b)

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจำแนกชนิดผ้าและศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของผ้าเมื่อถูกให้ความร้อน จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค คือ ATR-FTIR สามารถสรุป ได้ว่าเมื่อนำผ้ามาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR สามารถจำแนกตัวอย่างผ้าตามกลุ่มของเส้นใยที่ผลิตออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เส้นใยธรรมชาติ และ เส้นใยสังเคราะห์ โดยผ้าชนิดที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าขนหนู เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ผ้าไหม และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ Polyester Polyamide Acrylic fiber นอกจากนี้ยังมีผ้าผสม ได้แก่ ผ้าผสม (65% polyester กับ 35% cotton) ผ้าดิบ TC (Toray tetoron+cotton) เมื่อนำมาจัดจำแนกตามลักษณะหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะ ของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ คือ กลุ่มที่ 1 ผ้าฝ้าย Cotton ได้แก่ ผ้าฝ้าย (cotton 100%) และ ผ้าขนหนู (Towel fabric cotton), กลุ่มที่ 2 ผ้าไหม (Silk), กลุ่มที่ 3 Polyester ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%, ผ้ายัดโพลีเอสเตอร์ ผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric) ผ้าสักหลาด (Felt fabric) ผ้าซาติน (Satin fabric), กลุ่มที่ 4 Polyamide ได้แก่ ผ้าใยบัว และกลุ่มที่ 5 Acrylic ได้แก่ เส้นใยอะคริลิก

ผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ถูกให้ความร้อนจากเครื่องให้ความร้อน (Hotplate) ปรากฏว่าความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้พีคในสเปกตรัมเสียหายได้ และผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ผ่านความร้อนจากการถูกเผาด้วยไฟพบว่าสามารถทำให้ผ้า Cotton เสียสภาพและไม่ปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่เลขคลื่น 3333  $\text{cm}^{-1}$ , C-O-C stretching ที่เลขคลื่น 1050  $\text{cm}^{-1}$ , 1100  $\text{cm}^{-1}$ , 1150  $\text{cm}^{-1}$  สลายไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hung Kim Nguyen และคณะ และเมื่อผ้าไหมถูกเผาด้วยไฟจะไม่ปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันของหมู่เอไมด์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของหมู่เอไมด์ ซึ่งเป็นหมู่ของโปรตีนไฟโบรอินในเส้นไหม (Nguyen, Sakai, & Nguyen, 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pilleri Peet และคณะ ส่วนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ยังคงปรากฏพีคเช่นเดิมแม้ว่าถูกทำให้เสียหายจากการเผาไฟ ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าใยบัวเกาหลี ผ้ากำมะหยี่ ผ้าซาติน ผ้าสักหลาด เส้นใย Acrylic และผ้าผสมที่มีองค์ประกอบระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยสังเคราะห์หลัง

จากถูกเผาด้วยไฟจะไม่ปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันส่วนของเส้นใยธรรมชาติจะปรากฏพีคเฉพาะหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยสังเคราะห์ (Peets et al., 2019)

จากผลการวิจัยสามารถใช้เทคนิค ATR-FTIR ในการจำแนกชนิดผ้าได้และสำหรับการวิเคราะห์ผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการเผาไฟด้วยหัวพ่นแก๊สที่ให้ความร้อนในช่วงไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าไม่สามารถจำแนกผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติได้ แต่สามารถจำแนกผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์หลังจากถูกเผาไฟได้พีคในสเปกตรัมยังคงปรากฏหมู่ฟังก์ชันในตำแหน่งเดิม

### เอกสารอ้างอิง

Badillo-Sanchez, D., Chelazzi, D., Giorgi, R., Cincinelli, A., & Baglioni, P. (2019). Understanding the structural degradation of South American historical silk: A Focal Plane Array (FPA) FTIR and multivariate analysis. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

Nguyen, H. K., Sakai, W., & Nguyen, C. (2020). Preparation of a Novel Flame Retardant Formulation for Cotton Fabric. *Materials*, 13(1), 54.

Peets, P., Kaupmees, K., Vahur, S., & Leito, I. (2019). Reflectance FT-IR spectroscopy as a viable option for textile fiber identification. *Heritage Science*, 7(1), 93.

จารุวรรณ อัมพุกษ์. (2012). การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

จิราพร เกิดแก้ว. (2015). การศึกษาผ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC เพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น. (2558). การวิเคราะห์กรณีศึกษา (Case study).

พล.ต.อ. อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์และคณะ. (2546). นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน (*Forensic Science 1 for Crime Investigation*). กรุงเทพฯ: บริษัท ทีซีจี พรินติ้ง จำกัด.

# การวิเคราะห์สีรถยนต์ด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวจวัดสีรถยนต์สำหรับการประยุกต์ทางนิติวิทยาศาสตร์

FTIR analysis and color determination of automobile paints for forensic applications.

กฤตยา เกตุสุวรรณ<sup>1</sup> ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี<sup>2</sup> และ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง<sup>2</sup>

Krittaya Ketsuwan<sup>1</sup> Supachai Supaluknari<sup>2</sup> and Sirirat Choosakoonkriang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>1</sup>Forensic science program, Faculty of Science, Graduate school, Silpakorn university

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn university

## บทคัดย่อ

ตัวอย่างสีสามารถเป็นหลักฐานที่สำคัญในงานทางนิติวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับผู้ต้องสงสัย และสถานที่เกิดเหตุ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อแยกความแตกต่างของสีรถยนต์โดยใช้วิธีไมโครสโคป FTIR และการวัดสี ตัวอย่างสีของรถยนต์จากผู้ผลิตต่างยี่ห้อจะถูกทำการเลือกเก็บแบบสุ่มมาจากรถยนต์ที่เกี่ยวข้องในอุบัติเหตุจราจร ตัวอย่างทั้งหมด 50 ตัวอย่างจากรถยนต์ 8 ยี่ห้อ ซึ่งประกอบด้วยสีต่างๆ ถูกนำมาวิเคราะห์ ค่าสเปกตรัมของ FTIR แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสีที่ลอกมาจากรถยนต์มีวัสดุ ที่มีสัดส่วนที่ต่างกัน และในการตรวจวัดสี ค่าสีของตัวอย่างหาได้จากการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และค่าสีจะแสดงอยู่ในรูปแบบของสีตามระบบ CIE L\*a\*b\* การวัดค่าสีของตัวอย่างจะให้ค่าสีที่ต่างกัน แม้ว่าสีของตัวอย่างอาจดูต่างกันเพียงเล็กน้อย ผลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการระบุตัวอย่างสีในการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้การรวมกันของวิธีทั้งสองได้ ทั้งสองเทคนิคเป็นวิธีที่สะดวกและการเตรียมตัวอย่างทำได้ง่าย

**คำสำคัญ :** การตรวจวัดสีรถยนต์, FTIR, การตรวจวัดค่าสี, ระบบสี CIE

## Abstract

Paint samples can be important evidences associating with a suspect and a crime scene in forensic caseworks. The objective of this study was to apply the methods of FTIR microscope and color determination to differentiate automobile paints. The paint samples in different colors and from different manufacturers were randomly collected from the vehicles that were involved in traffic accidents. In total, 50 samples from eight vehicle brands and in variety of colors were analyzed. The IR spectra revealed, in

<sup>1</sup> หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>1</sup>Forensic science program, Faculty of Science, Graduate school, Silpakorn university

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn university



each sample, the presence of several materials in different proportions. For color determination, the color values of the samples were obtained by using a color spectrometer and expressed in a CIE  $L^*a^*b^*$  color format. Although the colors of the samples may appear similarly, the color measurement showed the different in the color values. The results showed that by the combination of both methods, the identification of paint samples in forensic comparisons can be achieved. Both methods are convenient, and the sample preparations are simple.

**Keyword :** Automobile paint analysis, FTIR, Color determination, CIE colors

## บทนำ

จากรายงานสรุปการวิเคราะห์สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากรถทางบกประจำปีของกรมการขนส่งทางบก พบว่าปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 (ตุลาคม 2559 – กันยายน 2560) ประเทศไทยมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นทั้งสิ้น 79,177 ครั้ง จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะอุบัติเหตุการชนแล้วหนีมีให้เห็นอยู่บ่อยครั้งมากขึ้น ซึ่งการจะนำผู้กระทำผิดมาฟ้องลงโทษทางกฎหมายได้นั้น จำเป็นต้องมีพยานหลักฐานที่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของรถคู่กรณี ในอดีตพยานหลักฐานจะเป็นพยานบุคคลเสียเป็นส่วนใหญ่ และมีอยู่หลายกรณีที่ไม่สามารถหาพยานบุคคลได้ มีเพียงพยานวัตถุเท่านั้นที่พบในสถานที่เกิดเหตุ นอกจากนี้การใช้พยานบุคคลยังมีปัญหาต่อรูปคดี เช่น การกลับคำให้การของพยานบุคคลในชั้นศาล เป็นต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์มีความเจริญก้าวหน้าขึ้น อุปกรณ์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการตรวจวิเคราะห์พยานวัตถุด้วยความละเอียดสูง จึงสามารถวิเคราะห์พยานวัตถุที่มีปริมาณน้อยได้ดี ดังนั้นพยานวัตถุที่มีขนาดเล็กๆ ก็สามารถเป็นประโยชน์ต่อรูปคดีได้

ตามทฤษฎี Locard's exchange principle มีแนวคิดที่ว่า "ทุกการสัมผัส จะมีการทิ้งร่องรอย" (Every contact leaves a trace) ซึ่งจากแนวความคิดข้างต้นได้มีการพิสูจน์และนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่างๆ โดยมีหลักการ คือ เมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น [1] กรณีมีอุบัติเหตุรถเฉี่ยวชนกันในสถานที่เกิดเหตุมักพบชิ้นส่วนของรถยนต์คู่กรณีตกอยู่ในสถานที่เกิดเหตุและย่อมพบรอยครูดลอกซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนสีกันระหว่างรถคู่กรณี ในกรณีนี้ถ้าสามารถตรวจเก็บสีที่ติดอยู่กับยานพาหนะของผู้เสียหาย ตามร่างกาย เสื้อผ้า เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนสีที่ตกอยู่ในสถานที่เกิดเหตุและทำการตรวจเก็บสีของรถต้องสงสัยได้ สามารถนำเศษชิ้นส่วนสีที่ตรวจเก็บจากทั้งสองแหล่งมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจเปรียบเทียบเชื่อมโยงรถคู่กรณีได้

การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบสีทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการตรวจเปรียบเทียบลำดับชั้นของสี ตรวจหาสมบัติทางกายภาพของสี ตรวจหาสมบัติทางเคมีของสีด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น HSI-UV/VIS/NIR, DART-MS และเทคนิค FTIR เป็นต้น

Janina Zieba-Palus. Et.al. (2011) ได้ทำการศึกษาการแยกความแตกต่างของสีรถยนต์โดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy และ Raman Spectroscopy เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานกระบวนการยุติธรรมโดยศึกษาตัวอย่างสีรถยนต์จำนวน 24 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคทางรามานซึ่งเมื่อถ่ายภาพตัวอย่างภายใต้กล้องรามานไมโครสโคป จะสามารถเห็นจำนวนชั้นสีในตัวอย่างได้ชัดเจน มากกว่าการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา โดยปกติสีรถยนต์

จะประกอบด้วยสารเติมแต่งหลายชนิด สารบางชนิดตรวจพบได้ในอินฟราเรดสเปกตรัม บางชนิดพบได้ในรามานสเปกตรัม ทั้งเทคนิค IR และ Raman Spectroscopy [2]

Tai-Hung Chen และ Shu-Pao Wu (2017) ที่ได้ศึกษาการตรวจวิเคราะห์รังควัตถุในสีของรถคูเปอร์ในคดีชนแล้วหลบหนี จำนวน 2 คดี ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าสามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ สามารถยืนยันการแลกเปลี่ยนสีของรถคูเปอร์นี้ได้ทั้ง 2 คดี [3]

จากความสำคัญและปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตรวจวิเคราะห์สีรถยนต์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) โดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมขององค์ประกอบในสีรถยนต์ด้วยเครื่อง FTIR Micro-Spectrometer ร่วมกับการวัดค่าสีของสีรถยนต์ด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L\*a\*b\* color spectrophotometer ทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็ว ใช้ปริมาณตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการวิเคราะห์ ไม่มีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง สามารถบอกองค์ประกอบของสีรถยนต์จากแหล่งที่มาที่ต่างกันได้ ทำให้สามารถตรวจเปรียบเทียบสีของรถยนต์คูเปอร์ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมากที่จะใช้พิสูจน์การกระทำผิดหรือการยืนยันความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหาเพื่อความเป็นธรรมในกระบวนการยุติธรรม

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของสีรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR)
2. เพื่อศึกษาการตรวจวัดค่าสีของรถยนต์ด้วยเทคนิค Spectroscopy ด้วยเครื่อง spectrophotometer ในระบบของ CIE L\*a\*b\*

## อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

### ที่มาของตัวอย่าง

ตัวอย่างสีรถยนต์ในการวิจัยนี้เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อและเฉดสีต่างๆ ที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากกันชนหน้าของรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุจากรางจากสถานีตำรวจและคู่มือรถในจังหวัดเพชรบูรณ์

### วิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างสีรถยนต์ ทำความสะอาดกันชนหน้าบริเวณที่จะทำการเก็บตัวอย่างสีด้วยกระดาษทิชชูชุบน้ำกลั่น เช็ดให้สะอาดและทำการเก็บสีด้วยมีดผ่าตัด ให้ได้ชิ้นสีตัวอย่างมีขนาดประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร จำนวน 3-4 ชิ้น ห่อชิ้นสีตัวอย่างด้วยกระดาษเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

### การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

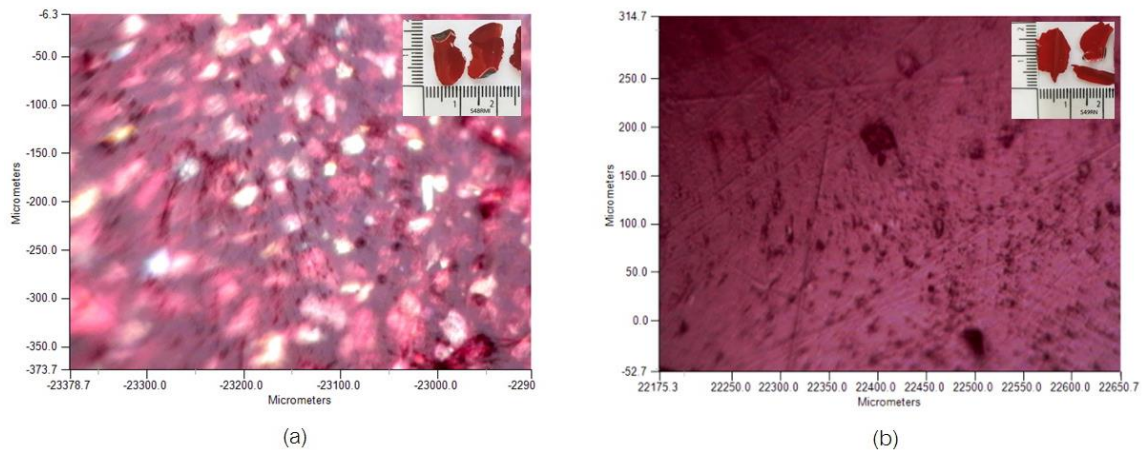
นำตัวอย่างสีรถยนต์ใส่ในแท่นวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ ในขั้นต้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีภายใต้กล้องไมโครสโคปของเครื่อง FTIR Micro-Spectrometer หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ IR Spectrum สภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง FTIR Spectrometer รุ่น Spectrum 100 บริษัท Perkin Elmer โดยทำการสแกนในช่วงเลขคลื่น 4000-650  $\text{cm}^{-1}$  resolution 4  $\text{cm}^{-1}$  จำนวนสแกน 32 รอบต่อครั้ง โดยบันทึกสเปกตรัมที่วัดได้เป็นค่า Transmittance จะได้สเปกตรัมที่พร้อมสำหรับวิเคราะห์ผลต่อไป

## การตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดสี

นำตัวอย่างสีรถยนต์สีในแท่นวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ สภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer รุ่น Cary 60 บริษัท Agilent Technologies โดยทำการตรวจวัดในช่วงความยาวคลื่น 830- 360 nm และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะวัดดังนี้ Measurement mode : %R, Scanning Range ( $\times 10^{-9}\text{m}$ ) : 360-830, Slit width ( $\times 10^{-9}\text{m}$ ) : 1.0 , Scan Speed : Medium, Standard illuminant D65, Observation Angle :  $2^\circ$ , Color Scale : CIE

## ผลการวิจัย

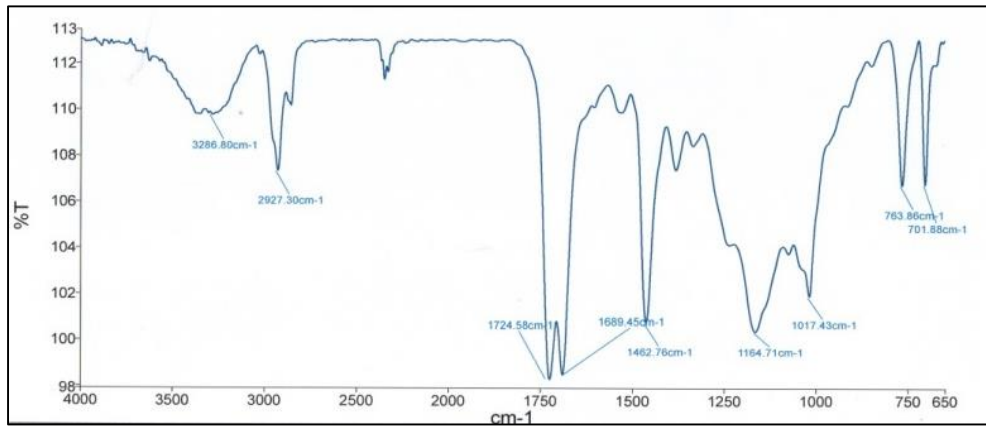
ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ด้วยเทคนิค FTIR ในขั้นต้นจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีรถยนต์ภายใต้กล้องไมโครสโคปของเครื่อง FTIR Micro-Spectrometer พบว่าแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ความเรียบของผิว ความวาว จำนวนชั้นสี เป็นต้น ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดงภายใต้กล้องไมโครสโคปของเครื่อง FTIR Micro-Spectrometer (a) รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ (b) S49RN

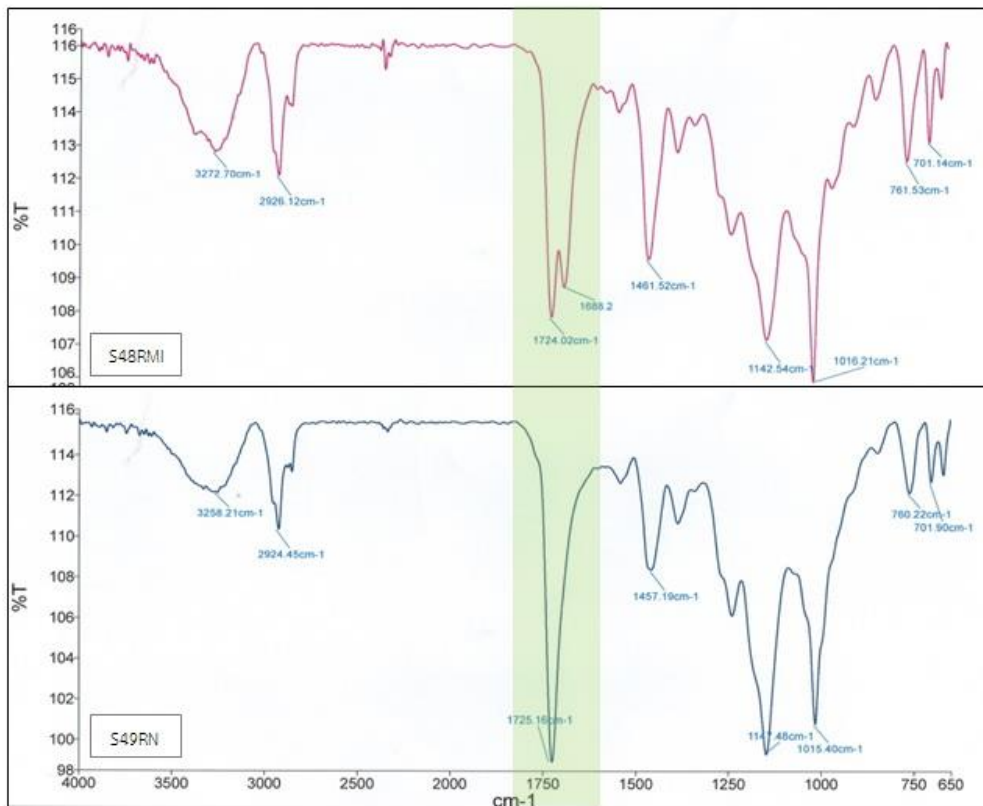
จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายความละเอียดสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปของเครื่อง FTIR Micro-Spectrometer สามารถใช้แยกความแตกต่างของสีในเบื้องต้นได้จากลักษณะทางกายภาพ เช่น สีแดงรหัสตัวอย่างที่ S48RMI จะมีความวาวแสงมากกว่าตัวอย่างที่ S49RN จึงใช้แยกความแตกต่างในเบื้องต้นได้ แม้ตัวอย่างสีในกลุ่มเดียวกันเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม

เมื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR spectrum พบว่าจะปรากฏ IR สเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่นแตกต่างกันออกไป โดยได้นำเสนอเป็นตัวอย่างสเปกตรัมดังแสดงในภาพที่ 2-3 ซึ่งภาพที่ 2 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT และ ภาพที่ 3 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN



ภาพที่ 2 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT

ภาพที่ 2 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT จะพบ IR สเปกตรัม ในช่วงเลขคลื่น 1250 – 650  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ C-C, C-O, C-N stretching ปรากฏพีก ที่เลขคลื่น 1462  $\text{cm}^{-1}$  C-H bending ที่เลขคลื่นประมาณ 2300  $\text{cm}^{-1}$  ปรากฏพีกของ C=N stretching และที่เลขคลื่น 2927  $\text{cm}^{-1}$  ปรากฏพีกของ C-H stretching นอกจากนี้ยังพบสเปกตรัมที่เลขคลื่น 1750  $\text{cm}^{-1}$  ปรากฏพีก C=O stretching ที่เลขคลื่น 2850  $\text{cm}^{-1}$  ปรากฏพีกของ C-H stretching และที่เลขคลื่น 3286  $\text{cm}^{-1}$  ปรากฏพีกของ N-H stretching สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพีกของโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการเกาะยึดของสีรถยนต์ เช่น อะคริลิก ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น



ภาพที่ 3 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN

ภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัม IR ของตัวอย่างสีรถยนต์ที่มีสีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN ซึ่งจะพบ IR สเปกตรัม ในช่วงเลขคลื่น 1250 – 650  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ C-C, C-O, C-N stretching ที่เลขคลื่น 2900-2850  $\text{cm}^{-1}$  ปฏิกิริยาของ C-H stretching และที่เลขคลื่น 3500-3000  $\text{cm}^{-1}$  ปฏิกิริยาของ N-H stretching ซึ่งรูปแบบสเปกตรัมของสองตัวอย่างคล้ายกันแต่จะปรากฏพีคที่แตกต่างกัน ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 1750  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นเลขคลื่นของสารประกอบคาร์บอนิลที่ต่างชนิดกัน เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัม IR ของสีเหล่านี้จึงสามารถใช้แยกความแตกต่างขององค์ประกอบสีได้แม้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม

เมื่อนำสเปกตรัม IR มาเปรียบเทียบกันจะพบว่าในแต่ละกลุ่มสีตัวอย่างจะปรากฏสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายกันแต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบจุดที่ต่างกันอยู่ในบางช่วงเลขคลื่น ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละสีตัวอย่างได้จากรูปร่างของสเปกตรัม หากปรากฏสเปกตรัมที่เหมือนกันทุกช่วงเลขคลื่นย่อมแสดงว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน การที่สเปกตรัม IR มีความแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าสีรถยนต์จากแต่ละแหล่งการผลิตจะมีองค์ประกอบภายในสีที่ต่างกันจึงมีผลให้สเปกตรัม IR แตกต่างกันเป็นลักษณะเฉพาะของตัวอย่างนั้นๆ

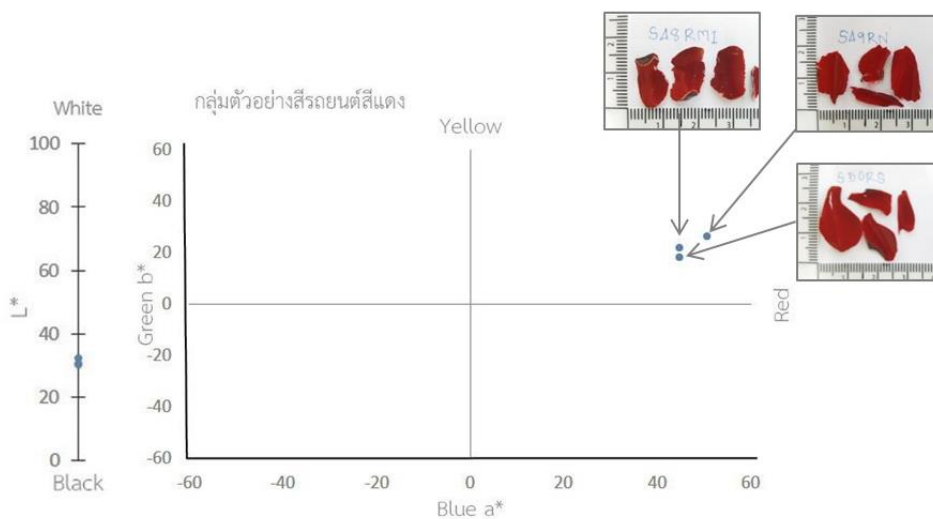
เมื่อนำตัวอย่างสีรถยนต์มาทำการตรวจวัดสีด้วยเทคนิคทาง Spectroscopy ด้วยเครื่องวัดสี ซึ่งตรวจวัดค่า  $L^*$  ค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ผลจากการวิเคราะห์พบว่าตัวอย่างสีรถยนต์ในแต่ละกลุ่มสีจะให้ค่าสีออกมาแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวัดสีของตัวอย่างสีรถยนต์ยี่ห้อและชนิดสีต่างๆ ที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	สี	$L^*$	$a^*$	$b^*$	รหัสตัวอย่าง	สี	$L^*$	$a^*$	$b^*$
S1WC	White	94.8728	-3.3460	3.6913	S26BMI	Black	16.9331	-1.6300	-1.3815
S2WH	White	94.9140	-2.8404	7.8134	S27BMI	Black	12.1230	-1.6999	-1.2163
S3WH	White	95.6499	-3.2891	7.3208	S28BN	Black	14.2281	-0.7798	-2.2783
S4WI	White	96.0702	-2.8731	5.9912	S29BS	Black	13.1213	-1.3584	-2.0500
S5WI	White	96.3324	-5.5627	3.1431	S30BT	Black	19.5391	-1.7654	-1.0506
S6WI	White	95.3932	-4.9492	8.5378	S31BT	Black	20.6047	-1.5401	-1.3503
S7WI	White	95.5074	-5.2152	4.1629	S32BT	Black	22.2597	-2.4424	-4.2753
S8WMA	White	97.0075	-3.8134	6.0247	S33SH	Silver	87.5947	-2.4812	2.7355
S9WMI	White	94.0100	-4.0455	8.3933	S34SH	Silver	96.6121	-2.9239	0.7715
S10WN	White	97.2592	-2.7290	7.6975	S35SH	Silver	90.1781	-2.4972	2.7020
S11WN	White	96.6478	-2.6753	5.4121	S36SH	Silver	90.6301	-2.4888	2.5545
S12WN	White	93.6138	-5.9291	8.1497	S37SI	Silver	94.7403	-2.6528	3.0771
S13WT	White	99.6692	-2.6329	7.1009	S38SI	Silver	98.5349	-2.6807	3.0559
S14WT	White	98.8361	-2.8271	5.7630	S39SI	Silver	94.0908	-2.4669	5.4749
S15WT	White	98.3947	-2.8958	6.8247	S40SI	Silver	96.1801	-2.6673	3.0632
S16WT	White	97.4283	-3.3997	6.7417	S41SMA	Silver	91.5850	-2.9543	3.4763
S17WT	White	87.9501	-3.2943	7.5650	S42ST	Silver	93.5759	-2.7657	2.3346

S18BC	Black	14.5680	-0.9197	-1.5819	S43ST	Silver	99.6669	-3.3929	6.7043
S19BC	Black	14.1889	-0.6568	-2.3209	S44ST	Silver	97.0941	-3.0503	3.4797
S20BH	Black	13.0057	-1.4730	-2.1843	S45GH	Grey	70.9994	-1.5870	1.3040
S21BH	Black	12.6438	-1.4336	-1.6363	S46GH	Grey	49.4005	-2.4022	-1.2387
S22BH	Black	13.9783	-1.2541	-2.2086	S47GT	Grey	43.8863	-1.1115	-2.3092
S23BH	Black	12.4078	-1.0506	-1.8694	S48RMI	Red	32.4537	44.7428	21.6335
S24BI	Black	24.4295	-1.3768	-1.6785	S49RN	Red	30.6421	50.7467	26.0366
S25BI	Black	19.9567	-1.4088	-1.5952	S50RS	Red	30.2158	44.8048	17.9234

กลุ่มสีที่มีความสว่างมากจะมีค่า  $L^*$  ที่เข้าใกล้ 100 ส่วนกลุ่มสีที่มีความสว่างน้อยจะมีค่า  $L^*$  ที่เข้าใกล้ 0 ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวรหัสตัวอย่าง S1WC สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาว ค่าการตรวจวัดสีมีค่า  $L^*$  เท่ากับ 94.8728 ตัวอย่างสีรถยนต์สีดำรหัสตัวอย่าง S18BC สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีดำ ค่าการตรวจวัดสีมีค่า  $L^*$  เท่ากับ 14.5680 นอกจากความแตกต่างของค่า  $L^*$  แล้ว เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่าง จากค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  จะพบว่าแม้ตัวอย่างสีรถยนต์ที่สังเกตด้วยตาเปล่าจะจัดอยู่ในกลุ่มสีเดียวกัน เช่น กลุ่มสีของ ตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง จำนวน 3 ตัวอย่าง จะมีค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงออกมาเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L^*$  ค่า  $a^*$  (แกน x) และค่า  $b^*$  (แกน Y) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  (แกน X) และ  $b^*$  (แกน Y) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่า  $L^*$  ของตัวอย่างสีรถยนต์ที่มีสีแดง จะมีค่าความสว่างของสี คือ มีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ค่า  $a^*$  (แกน x) และค่า  $b^*$  (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีแดง ซึ่งตัวอย่างสี ในกลุ่มเดียวกันแต่ละ ตัวอย่างจะมีค่า  $L^*$  ค่า  $a^*$  ค่า  $b^*$  ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างสีรถยนต์สีแดงรหัสตัวอย่าง S48RMI และ

S49RN สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีแดง ค่าการตรวจวัดสี S48RMI มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 32.4537 ค่า  $a^*$  เท่ากับ 44.7428 ค่า  $b^*$  เท่ากับ 21.6335 ส่วนตัวอย่างสี S49RN มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 30.6421 ค่า  $a^*$  เท่ากับ 50.7467 ค่า  $b^*$  เท่ากับ 26.0366 ซึ่งค่าต่างๆ จะกันไปในทิศทางเดียวกันแต่จะมีค่าเฉพาะของสีนั้นๆ ที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าสีเหล่านี้จึงสามารถใช้แยกความแตกต่างของสีได้แม้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม การที่ค่าการตรวจวัดสีมีค่าแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าสีรถยนต์จากแต่ละแหล่งการผลิตจะมีองค์ประกอบภายในสีที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทำสีที่แตกต่างกัน จึงมีผลให้ค่าสีแตกต่างกัน

## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ที่เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อ และเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากกันชนหน้าของรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุจากรถจากสถานีตำรวจและอยู่ซ่อมรถในจังหวัดเพชรบูรณ์ มาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และตรวจวัดสีด้วยเครื่องวัดสี เมื่อนำตัวอย่างสีรถยนต์มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แล้วนำผลสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ใช้จำแนกตัวอย่างสีต่างๆ เพื่อบอกถึงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง พบว่าสีตัวอย่างจะปรากฏสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายกัน สเปกตรัมของตัวอย่างสีกลุ่มสีขาว กลุ่มสีดำ กลุ่มสีเงิน กลุ่มสีเทาและกลุ่มสีแดงจะพบสัญญาณในช่วงเลขคลื่น  $1750-650\text{ cm}^{-1}$  หลายพีค และพบสัญญาณในช่วงเลขคลื่น  $4000-2300\text{ cm}^{-1}$  ได้ไม่กี่พีค เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบจุดที่แตกต่างกันอยู่ในบางช่วงเลขคลื่น โดยเฉพาะในช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1700-650\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นย่านรอยพิมพ์นิ้วมือ (Finger print region) จะปรากฏสเปกตรัมที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ในตัวอย่างสีซึ่งเป็นผลมาจากส่วนผสมของสีที่ต่างกันของแต่ละแหล่งการผลิต ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละสีตัวอย่างได้จากรูปร่างของสเปกตรัมที่ปรากฏ นอกจากนี้การใช้เครื่อง FTIR Micro-Spectrometer ซึ่ง microscope สามารถถ่ายรูป แสดงลักษณะต่างๆ ของตัวอย่าง ทำให้สามารถใช้เปรียบเทียบได้ แม้ตัวอย่างจะมีปริมาณน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค FTIR สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละตัวอย่างได้ทั้งพิจารณาจากหมู่ฟังก์ชัน และภาพถ่ายจากกล้อง microscope เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง และไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยในการวิเคราะห์ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tai-Hung Chen และ Shu-Pao Wu (2017) ที่ได้ศึกษาการตรวจวิเคราะห์รงควัตถุในสีของรถคูเปอร์ในคดีชนแล้วหลบหนี ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janina Zieba-Palus. Et.al. (2011) ได้ทำการศึกษาการแยกความแตกต่างของสีรถยนต์โดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy และ Raman Spectroscopy พบว่าทั้งเทคนิค IR และ Raman Spectroscopy ถือเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์

เมื่อนำตัวอย่างสีมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี พบว่าความมืด สว่างของสีตัวอย่างจะให้ค่าสีออกมาต่างกัน แม้ว่าตัวอย่างสีรถยนต์นั้นเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม โดยพิจารณาจากค่า  $L^*$  ค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ของแต่ละตัวอย่าง

จากการทดลองทั้งสองเทคนิค จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ด้วยเทคนิค FTIR Spectroscopy ร่วมกับการวัดค่าสี ในระบบ CIE L\*a\*b\* เป็นเทคนิคที่ใช้แยกความแตกต่างของสีได้ โดยการวิเคราะห์ดังกล่าว เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ตัวอย่างน้อย รวดเร็ว ไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง และไม่ทำลายวัตถุพยาน เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ ใช้ในการตรวจเปรียบเทียบระหว่างสีรถยนต์ที่พบในสถานที่เกิดเหตุกับสีของรถยนต์ต้องสงสัยได้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการตรวจเปรียบเทียบเพื่อจัดทำฐานข้อมูลสีรถยนต์สำหรับสืบค้นเพื่อระบุสีและยี่ห้อของรถยนต์ เนื่องจากการจัดทำฐานข้อมูลสีรถยนต์ต้องใช้ข้อมูลหลายส่วนประกอบกัน และรถยนต์แม้จะเป็นยี่ห้อเดียวกัน รุ่นเดียวกัน สีและชุดการผลิตเดียวกัน แต่เมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ย่อมเกิดการเสื่อมสภาพ และการซีดจางของสีที่แตกต่างกันออกไปกลายเป็นลักษณะเฉพาะของรถยนต์คันนั้นๆ เทคนิคที่ใช้ในการทดลองนี้ จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สีรถยนต์ของรถคู่กรณีและรถยนต์ต้องสงสัยในคดีอุบัติเหตุจราจรโดยเฉพาะคดีชนแล้วหลบหนีหรือวิเคราะห์สีรถยนต์ที่พบติดอยู่ในสถานที่เกิดเหตุในคดีต่างๆ เพื่อตรวจเปรียบเทียบกับรถยนต์ต้องสงสัย สำหรับเชื่อมโยงรถคู่กรณีในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

## เอกสารอ้างอิง

พรชัย สุทธิคุณ. (2561). การใช้การสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์โดยใช้โปรแกรมอ่านใบหน้า (Facial Recognition)

ในงานด้านความมั่นคงแบบบูรณาการ วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร

Janina Zieba-Palus , Aleksandra Michalska , Aleksandra Weselucha-Birczynska , *Characterisation of paint samples by infrared and Raman spectroscopy for criminalistic purposes*. Journal of Molecular Structure , 2011 . 993 : p. 134-141.

K.B. Ferreira , A.G.G. Oliveira , et al. , *Evaluation of Hyperspectral Imaging Visible/Near Infrared Spectroscopy as a forensic tool for automotive paint distinction* . Forensic Chemistry , 2017. 5 : p. 46-52.

Tai-Hung Chen , Shu-Pao Wu, *Forensic applications of direct analysis in real time (DART) coupled to Q-orbitrap tandem mass spectrometry for the in situ analysis of pigments from paint evidence*. Forensic Science International , 2017 . 277 : p. 179-187.



# การรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับการรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง

Dietary intake in HIV-infected/AIDs patients with metabolic syndrome who received highly active antiretroviral therapy

พัชรี เกตุเฉลียว<sup>1</sup> และ กุลวรา เมฆสุวรรณ<sup>1</sup>

Patcharee Ketchaleaw<sup>1</sup> and Kulwara Meksawan<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

การได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอเป็นสิ่งจำเป็นต่อสุขภาพ และการมีชีวิตรอดในผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ อย่างไรก็ตาม มักพบปัญหาทุโภชนาการในผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าว การศึกษานี้เป็นการศึกษา ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่งแบบตัดขวาง (cross-sectional study) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับการรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง มีผู้เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 60 คน (ชาย 19 คน และหญิง 41 คน) ได้รับพลังงานรวมและโปรตีนจากอาหารเฉลี่ย  $2016.25 \pm 478.64$  กิโลแคลอรีต่อวัน และ  $83.38 \pm 35.05$  กรัมต่อวัน ตามลำดับ ผู้ป่วยเพศชายและหญิงได้รับพลังงานรวม โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เฉลี่ยต่อวัน จากอาหารไม่แตกต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มผู้ป่วยตามค่าดัชนีมวลกายของชาวเอเชีย พบว่ามีผู้ป่วยอยู่ในเกณฑ์น้ำหนักปกติ (ดัชนีมวลกาย  $18.5-22.99$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 14 คน (ร้อยละ 23.33) และน้ำหนักเกินหรืออ้วน (ดัชนีมวลกาย  $\geq 23.0$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 46 คน (ร้อยละ 76.67) โดยผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักเกินหรืออ้วน มีน้ำหนักและเส้นรอบเอวมากกว่าผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) อย่างไรก็ตาม พบว่าผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักปกติมีระดับคอเลสเตอรอลรวมในเลือด สูงกว่าผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักเกินหรืออ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $217.21 \pm 38.15$  และ  $195.54 \pm 34.23$  มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ  $p = 0.048$ ) ส่วนระดับของ CD4 ความดันโลหิต ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร และระดับไขมันชนิดอื่น ๆ ของทั้ง 2 กลุ่ม พบว่าไม่แตกต่างกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผู้ติดเชื้อเอชไอวีหรือผู้ป่วยเอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกส่วนใหญ่ มีน้ำหนักเกินหรืออ้วน และผู้ป่วยที่มีน้ำหนักปกติก็สามารถพบระดับไขมันในเลือดสูงกว่าผู้ป่วยที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วนได้

**คำสำคัญ :** การรับประทานอาหาร กลุ่มอาการเมแทบอลิก ผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์

## Abstract

Adequate dietary intake in patients with HIV-infected/AIDs is necessary for their health and survival. However, malnutrition is normally found in these patients. This study aimed to evaluate dietary intake in HIV-infected/AIDs patients with metabolic syndrome who received highly active antiretroviral therapy. There were 60 patients (19 males and 41 females) participating in this study. Total dietary calories and protein intakes of the patients were  $2016.25 \pm 478.64$  kilocalories per day and  $83.38 \pm 35.05$  grams per day, respectively. There were no significant differences in averages daily intakes of total calories,

protein, carbohydrate, and fat between males and females. Based on the Asian body mass index (BMI) criteria, 14 patients (23.33 %) were categorized in the normal weight group (BMI = 18.5-22.99 kg/m<sup>2</sup>), and 46 patients (76.67 %) were in the overweight/obese group (BMI ≥ 23.0 kg/m<sup>2</sup>). It was found that the patients in the overweight/obese group had significantly higher weight and waist circumference than those in the normal weight group ( $p < 0.01$ ). However, the patients in the normal weight group had significantly higher blood total cholesterol level than those in the overweight/obese group ( $217.21 \pm 38.15$  and  $195.54 \pm 34.23$  mg/dL, respectively;  $p = 0.048$ ). The CD4 level, blood pressure, fasting blood sugar, and other lipid profiles were not significantly different between the two groups. The results from this study indicated that most of the HIV-infected/AIDs patients with metabolic syndrome were overweight or obese. In addition, the patients with normal weight could present higher blood lipid levels than those with overweight/obese.

**Keyword :** dietary intake, metabolic syndrome, HIV-infected/AIDs

## บทนำ

การติดเชื้อ human immunodeficiency virus (HIV) เป็นการติดเชื้อในระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์ ทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง เมื่อผู้ป่วยมีจำนวนเซลล์ CD4+ ต่ำกว่า 200 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร จะถือว่าผู้ป่วยดังกล่าวมีภาวะ acquired immunodeficiency syndrome (AIDs) หรือเป็นผู้ป่วยเอดส์ (World Health Organization, 2007) การรักษาในปัจจุบันตามแนวทางการตรวจรักษาและป้องกันการติดเชื้อเอชไอวีประเทศไทยปี 2560 (สำนักโรคเอดส์ วัณโรค และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์, 2017) แนะนำให้เริ่มใช้ยาต้านเอชไอวี ในผู้ติดเชื้อทุกรายในทุกจำนวน CD4 ปัจจุบันมีการรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง (highly active antiretroviral therapy, HAART) ซึ่งเป็นการใช้ยาต้านเอชไอวีอย่างน้อย 3 ชนิด จากยาในกลุ่มที่ต่างกัน ส่วนใหญ่มักใช้ยาในกลุ่ม nucleoside reverse transcriptase inhibitors 2 ชนิด ร่วมกับยาในกลุ่ม non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors หรือยาในกลุ่ม protease inhibitors อีก 1 ชนิด การใช้ยาดังกล่าวส่งผลให้ผู้ป่วยมีชีวิตที่ยืนยาวขึ้น (Lucas, 2012) อย่างไรก็ตาม การใช้ยาต้านเอชไอวีเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดเชื้อไวรัสให้หมดไปจากร่างกายได้ ผู้ป่วยจึงมีความจำเป็นต้องกินยาต่อเนื่องไปตลอดชีวิต โดยการใช้ยาในระยะยาวทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น ภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก (metabolic syndrome) ซึ่งเป็นกลุ่มของปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจ (Montessori และคณะ, 2004) แนวทางการรักษาภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกจาก Pharmacotherapy Self-Assessment Program แนะนำให้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรม (Aquilante and Griend, 2008) และหนึ่งในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม คือ การควบคุมการรับประทานอาหาร Third Report of the National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (NCEP ATP III) แนะนำว่าควรรักษาสมดุลระหว่างพลังงานที่ได้รับและพลังงานที่ใช้ไป เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III), 2002) โดยผู้ป่วยที่ต้องการลดน้ำหนักหรือรักษาน้ำหนักให้คงที่ ควรได้รับพลังงานวันละ 25 ถึง 30 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมตามลำดับ (Southwell, 2003)

ปัญหาด้านโภชนาการในผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ พบทั้งภาวะโภชนาการขาด (undernutrition) และภาวะโภชนาการเกิน (overnutrition) Takarinda และคณะ (2017) ทำการศึกษาในผู้ติดเชื้อเอชไอวีจำนวน 1,242 คน พบผู้ป่วยที่มีภาวะโภชนาการขาดร้อยละ 10 และมีภาวะโภชนาการเกินร้อยละ 26.4 ส่วนการศึกษาของ Daka และคณะ (2020) ทำการศึกษาเพื่อสำรวจภาวะทุพโภชนาการในผู้ติดเชื้อเอชไอวี จำนวน 1,062 คน พบว่ามีผู้ที่มีภาวะโภชนาการขาดถึงร้อยละ 34 และมีน้ำหนักเกินหรืออ้วน ร้อยละ 9 โดยภาวะทุพโภชนาการในผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ มาจากหลายสาเหตุ เช่น การรับประทานอาหารที่ลดลงจากการรับรสที่ลดลง มีปัญหาในการกลืนอาหารจากการติดเชื้อแคนดิดาในช่องปากหรือหลอดอาหาร ผลข้างเคียงจากยาต้านไวรัสที่ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือการมีภาวะซีมีเสิร์รา การดูดซึมสารอาหารได้น้อยลงจากการมีภาวะท้องเสีย การดูดซึมไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่ผิดปกติ โดยมีสาเหตุมาจากเชื้อเอชไอวี ทำให้วิลลัสในเยื่อบุทางเดินอาหารฝ่อลง และมีผลไปถึงการดูดซึมของวิตามินที่ละลายในไขมันด้วย (Duggal และคณะ, 2012) การเกิดภาวะทุพโภชนาการส่งผลให้การดำเนินของโรคเป็นไปอย่างรวดเร็ว เพิ่มอัตราการเจ็บป่วย และลดอัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยได้ (Tomkins และคณะ, 2002) นอกจากนี้ปัญหาด้านการได้รับสารอาหารไม่เพียงพอแล้ว ผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์บางรายอาจมีปัญหาการรับประทานอาหารเกิน พบว่าประชากรผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ในประเทศที่มีรายได้สูงและรายได้ปานกลาง มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน มากกว่าประชากรผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ในประเทศที่มีรายได้ต่ำ (Koethe และคณะ, 2016) ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ โดยเฉพาะผู้ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกร่วมด้วย ในประเทศไทย ยังมีค่อนข้างจำกัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับการรักษาด้วยยาสูตร HAART ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาให้คำแนะนำด้านการรับประทานอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับการรักษาด้วยยาสูตร HAART

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัย ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบตัดขวาง (cross-sectional study) ทำการศึกษาในผู้ป่วยติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก ที่เข้ารับการรักษาในแผนกผู้ป่วยนอก ณ โรงพยาบาลบ้านโป่ง จังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนมีนาคม 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2563 โดยมีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (inclusion criteria) คือ เป็นผู้ติดเชื้อเอชไอวีหรือผู้ป่วยเอดส์ เพศชายหรือหญิง อายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ได้รับการรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีสูตร HAART โดยใช้ยาสูตรเดิมเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน ก่อนเข้าร่วมการศึกษา และได้รับการวินิจฉัยว่ามีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก หรือเป็นผู้ที่มีภาวะอ้วนลงพุง คือ มีเส้นรอบเอวตั้งแต่ 90 เซนติเมตรขึ้นไปในเพศชาย หรือตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไปในเพศหญิง ร่วมกับมีภาวะต่อไปนี้อย่างน้อย 2 ข้อ คือ มีระดับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) มากกว่าหรือเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือได้รับยาในการรักษาภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ มีระดับเอชดีแอลคอเลสเตอรอล (high-density lipoprotein cholesterol) น้อยกว่า 40 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรในเพศชาย หรือน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรในเพศหญิง มีความดันโลหิตสูง โดยความดัน

ซิสโตลิก (systolic blood pressure) มากกว่าหรือเท่ากับ 130 มิลลิเมตรปรอท ความดันไดแอสโตลิก (diastolic blood pressure) มากกว่าหรือเท่ากับ 85 มิลลิเมตรปรอท หรือมีระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร 8 ชั่วโมง (fasting blood sugar) มากกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน สำหรับผู้ป่วยที่ตั้งครรภ์ ผู้ป่วยที่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดยา ขนาดยา ที่ใช้ในการรักษาภาวะการติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ ภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ โรคเบาหวาน หรือโรคความดันโลหิตสูงในระหว่างเข้าร่วมการศึกษา และผู้ป่วยที่รับยาต้านไวรัสไม่ต่อเนื่อง จะถูกคัดออกจากการศึกษา การศึกษานี้ได้รับการอนุมัติโครงการวิจัยจาก คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี

หลังจากได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ทำการคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยตามคุณสมบัติการคัดเลือก ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับฟังคำชี้แจงเกี่ยวกับโครงการวิจัยและลงนามในหนังสือยินยอม จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการชั่งน้ำหนัก วัดเส้นรอบเอว วัดความดันโลหิต การเจาะเลือดเพื่อตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร คอเลสเตอรอล (total cholesterol) แอลดีแอลคอเลสเตอรอล (low-density lipoprotein cholesterol) เอชดีแอลคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ CD4+ และ viral load การคำนวณค่าดัชนีมวลกาย จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการสัมภาษณ์เพื่อบันทึกในแบบบันทึกและแบบสอบถามต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งได้รับการประเมินการรับประทานอาหาร โดยใช้แบบบันทึกการรับประทานอาหารย้อนหลัง 24 ชั่วโมง (24-hour dietary recall)

การวิเคราะห์สารอาหารที่รับประทาน จากข้อมูลในแบบบันทึกการรับประทานอาหารย้อนหลัง 24 ชั่วโมง ใช้โปรแกรม INMUCAL-Nutrients V.3 ของสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ส่วนการวิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรที่ศึกษาระหว่างกลุ่ม ใช้สถิติ Independent sample t-test สำหรับตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติ และใช้ Mann-Whitney U test สำหรับตัวแปรที่มีการแจกแจงไม่ปกติ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05

## ผลและวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการรับประทานอาหารของผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกที่ได้รับการรักษาด้วยยาต้านเอชไอวีสูตร HAART มีผู้เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 60 คน เป็นเพศหญิง 41 คน (ร้อยละ 68.3) และเพศชาย 19 คน (ร้อยละ 31.7) ผู้ป่วยมีอายุเฉลี่ย  $46.97 \pm 8.44$  ปี มีน้ำหนักเฉลี่ย  $67.62 \pm 13.96$  กิโลกรัม เส้นรอบเอวเฉลี่ยในเพศชายและเพศหญิงเท่ากับ  $98.58 \pm 8.26$  เซนติเมตร และ  $88.88 \pm 5.99$  เซนติเมตร ตามลำดับ ดัชนีมวลกายเฉลี่ยเท่ากับ  $26.03 \pm 4.23$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผู้ป่วยมีระยะเวลาที่ได้รับการวินิจฉัยว่าติดเชื้อเอชไอวีเฉลี่ย  $8.28 \pm 3.60$  ปี และมีค่า CD4  $620.05 \pm 238.53$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยที่เข้าร่วมการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1 จากผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยมีค่าดัชนีมวลกายสูงกว่าเกณฑ์ โดยจัดว่าเป็นโรคอ้วน ซึ่งค่าดัชนีมวลกายที่สูงกว่าเกณฑ์นั้น พบได้ในผู้ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก ทั้งที่เป็นประชาชนทั่วไปและที่เป็นผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ (Mesquita de Carvalho และคณะ, 2014; Pongthanakorn และคณะ, 2018) ตารางที่ 2 แสดงปริมาณพลังงานและสารอาหารที่ผู้ป่วยได้รับ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยได้รับพลังงานจากการรับประทานอาหารเช้า  $2016.25 \pm 478.64$  กิโลแคลอรีต่อวัน ได้รับโปรตีนเฉลี่ย  $83.38 \pm 35.05$  กรัม ได้รับคาร์โบไฮเดรตและไขมันเฉลี่ย  $281.58 \pm 65.62$  กรัม และ  $61.94 \pm 21.53$  กรัม ตามลำดับ ผู้ป่วยเพศชายและหญิงได้รับพลังงานรวม

ปริมาณและพลังงานจากสารอาหารโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษานี้ ต่างจากผล การศึกษาอื่นก่อนหน้านี้นี้ในผู้ติดเชื้อเอชไอวีและในประชากรทั่วไปที่พบว่า เพศชายมีการรับประทานโปรตีนและไขมัน ที่สูงกว่าเพศหญิง ในขณะที่เพศหญิงมีการรับประทานอาหารที่ให้พลังงานสูงกว่าเพศชาย (Wardle และคณะ, 2004; Asarian และคณะ, 2013; Abioye และคณะ 2015; Manipa และคณะ, 2017) สำหรับพลังงานที่ได้รับจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน พบว่าอัตราส่วนการกระจายพลังงานของโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่อไขมัน คิดเป็น 16 : 57 : 27 ใกล้เคียงกับสัดส่วนของพลังงานที่ควรได้รับจากการรับประทานอาหารในแต่ละวัน ตามคำแนะนำของ NCEP ATP III ซึ่งเป็นคำแนะนำในการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) สำหรับผู้ป่วยทั่วไปที่มีภาวะ แอลดีแอลคอเลสเตอรอลในเลือดสูง (National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III), 2002) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนเทียบกับน้ำหนักตัวของผู้ป่วยแต่ละราย โดยกำหนดว่าผู้ป่วยได้รับโปรตีนเพียงพอ เมื่อได้รับโปรตีนอย่างน้อย 1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (Coyne-Meyers และคณะ, 2004) พบว่ามีผู้ป่วยที่ได้รับ โปรตีนอย่างน้อย 1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม 36 คน (ร้อยละ 60.0) และได้รับโปรตีนน้อยกว่า 1 กรัมต่อน้ำหนัก ตัว 1 กิโลกรัม 24 คน (ร้อยละ 40.0) ซึ่งปัญหาการได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ เป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในผู้ติดเชื้อเอชไอวี/ เอ็ดส์ การได้รับโปรตีนไม่เพียงพอมีผลทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันลดลง ทำให้การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของ ร่างกายช้าลง และมีผลต่อการฟื้นตัวของผู้ป่วยหลังจากมีการติดเชื้อฉวยโอกาส (Tomkins, 2000)

เมื่อแบ่งกลุ่มผู้ป่วยตามค่าดัชนีมวลกายของชาวเอเชีย (WHO expert consultation, 2004) พบว่ามีผู้ป่วย อยู่ในเกณฑ์น้ำหนักปกติ (ดัชนีมวลกาย 18.5-22.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 14 คน (ร้อยละ 23.33) และน้ำหนักเกิน หรืออ้วน (ดัชนีมวลกาย  $\geq$  23.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 46 คน (ร้อยละ 76.67) ข้อมูลของผู้ป่วยที่เข้ารวมการศึกษา แบ่งกลุ่มตามค่าดัชนีมวลกายดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักเกินหรืออ้วน มีน้ำหนักและเส้นรอบ เอมมากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีมวลกายและเส้นรอบเอว ในผู้ป่วยเอชไอวี/เอ็ดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน ไม่ต่างจากประชากรทั่วไป (De Socio และคณะ, 2011) อย่างไรก็ตาม พบว่าผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักปกติมีระดับคอเลสเตอรอลรวมในเลือดสูงกว่า ผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักเกินหรืออ้วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.048$ ) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ito และ คณะ (2004) ที่พบภาวะไขมันในเลือดผิดปกติในผู้ที่มีสุขภาพดีและมีน้ำหนักปกติได้ถึงร้อยละ 40 ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระดับไขมันในเลือดอาจไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักตัว ทั้งในผู้ที่มีสุขภาพดีและใน ผู้ป่วยเอชไอวี/เอ็ดส์ ในการศึกษาครั้งนี้ ระดับ CD4 ความดันโลหิต ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร ระดับไขมันใน เลือดชนิดอื่น ๆ พลังงานรวม และปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันที่ได้รับจากอาหาร ของผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่มไม่ แตกต่างกัน

## สรุป

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผู้ติดเชื้อเอชไอวีหรือผู้ป่วยเอ็ดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิกเพศชาย และหญิง ได้รับพลังงานรวม ปริมาณและพลังงานจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ไม่แตกต่างกัน และมีสัดส่วน ใกล้เคียงกับคำแนะนำของ NCEP ATP III แต่เมื่อพิจารณาปริมาณการได้รับโปรตีนในแต่ละวัน พบว่ามีผู้ป่วยที่ได้รับ โปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการถึงร้อยละ 40 นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักปกติมีน้ำหนักและเส้นรอบ

เวลาน้อยกว่า แต่มีค่าคอเลสเตอรอลรวมสูงกว่า ผู้ป่วยในกลุ่มน้ำหนักเกินหรืออ้วน ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการให้คำแนะนำแก่ผู้ติดเชื้อเอชไอวี/เอดส์ที่มีภาวะกลุ่มอาการเมแทบอลิก เพื่อให้ผู้ป่วยมีภาวะโภชนาการที่เหมาะสม ลดอัตราการเจ็บป่วย และอัตราการเสียชีวิต ที่เกี่ยวข้องกับภาวะทุพโภชนาการ

## เอกสารอ้างอิง

- สำนักโรคเอดส์ วัณโรค และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์. (2017). *แนวทางการตรวจรักษาและป้องกันการติดเชื้อเอชไอวี ประเทศไทย ปี 2560*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.
- Abioye, A. I., Isanaka, S., Liu, E., Mwiru, R. S., and et al. (2015). Gender differences in diet and nutrition among adults initiating anti-retroviral therapy in Dar es salaam, Tanzania. *AIDS Care*. 27(6): 706-715.
- Aquilante, C. L., Griend, J. V. (2008). Metabolic syndrome. In Richardson, M., Chant, C., Cheng, J. W. M., Science and practice of pharmacotherapy: PSAP (109-128). Boston: American collage of clinical pharmacy (October 15, 2007).
- Asarian, L., and Geary, N. (2013). Sex differences in the physiology of eating. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 305(11): R1215-R1267.
- Coyne-Meyers, K., and Trombley, L.E. (2004). A review of nutrition in human immunodeficiency virus infection in the era of highly active antiretroviral therapy. *Nutr Clin Pract*. 19(4): 340-355.
- Daka, D. W., and Ergiba, M. S. (2020). Prevalence of malnutrition and associated factors among adult patients on antiretroviral therapy follow-up care in Jimma Medical Center, Southwest Ethiopia. *PLoS One*. 15(3): 1-15.
- De Socio, G. V., Ricci, E., Bonfanti, P., Quirino, T., and Schillaci, G. (2011). Waist circumference and body mass index in HIV infection. *HIV Med*. 12(2): 124-125.
- Duggal, S., Chugh, T. D., and Duggal, A. K. (2012). HIV and Malnutrition: effects on Immune System. *Clin Dev Immunol*. 2012: 784740.
- Ito, H., Nakasuga, K., Ohshima, A., Sakai, Y., Maruyama, T., Kaji, Y., and et al. (2004). Excess accumulation of body fat is related to dyslipidemia in normal-weight subjects. *Int J Obe Relat Metab Disord*. 28(2): 242-247.
- Koethe, J. R., Heimbürger, D. C., PrayGod, G., and Filteau, S. (2016). From wasting to obesity: the contribution of nutritional status to immune activation in HIV infection. *J Infect Dis*. 214(Suppl 2): S75-S82.
- Lucas, S. (2012). Causes of death in the HAART era. *Curr Opin Infect Dis*. 25(1): 36-41.
- Manippa, V., Padulo, C., van der Laan, L. N., and Brancucci, A. (2017). Gender differences in food choice: effect of superior temporal sulcus stimulation. *Front Hum Neurosci*. 11: 597.

- Mesquita de Carvalho, C., Dias Mendonca, D., Haas Piovesan, C., Edler Macagnan, F., and Pandolfo Feoli, A. M. (2014). Nutritional adequacy in subjects with metabolic syndrome. *Nutr Hosp.* 31(3): 1147-1153.
- Montessori, V., Press, N., Harris, M., Akagi, L., and Montaner, J. S. (2004). Adverse effects of antiretroviral therapy for HIV infection. *CMAJ.* 170(2): 229-238.
- National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). (2002). Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation.* 106(25): 3143-3421.
- Pongthanankorn, S., Jantarabaneewat, K., Somnikha, P., Jaturapullarp, S and Meksawan, K. (2018). Prevalence and risk factors of metabolic syndrome in HIV-infected patients receiving the highly active antiretroviral therapy. *Top Clin Nutr.* 33: 41-49.
- Southwell, H. (2008). Implications and Management of Malnutrition. In Volberding, P., Sande, M. A., Greene, W. C., Lange, JM, A, *Global HIV/AIDs Medicine* (603-613). Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- Takarinda, K., C., Mutasa-Apollo, T., Madzima, B., Nkomo, B., Chigumira, A., and et al. (2017). Malnutrition status and associated factors among HIV-positive patients enrolled in ART clinics in Zimbabwe. *BMC Nutr.* 3: 15.
- Tomkins, A. (2000). Malnutrition, morbidity and mortality in children and their mothers. *Proc Nutr Soc.* 59(1): 135-46.
- Tomkins, A. (2002). Nutrition, infection and immunity. In Calder, P. C., Field, C. J., and ill, H. s, *Nutrition and Immune Function.* 88(2): 375-412. Wallingford: CABI Publishing.
- Wardle, J., Haase, A. M., Steptoe, A., Nillapun, M., and et al. (2004). Gender difference in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med.* 27(2): 107-116.
- WHO Expert Consultation. (2004). Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet.* 363(9403): 157-163.
- World Health Organization. (2007). WHO case definitions of HIV for surveillance and revised clinical staging and immunological classification of HIV-related disease in adults and children. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43699>

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการศึกษา<sup>1</sup>

ข้อมูล	เพศชาย (19 คน)	เพศหญิง (41 คน)	รวม (60 คน)
อายุ (ปี)	46.63 ± 7.34	47.12 ± 8.99	46.97 ± 8.44
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	79.84 ± 15.08	61.95 ± 9.02	67.62 ± 13.96
เส้นรอบเอว (เซนติเมตร)	98.58 ± 8.26	88.88 ± 5.99	91.95 ± 8.12
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	27.63 ± 4.27	25.29 ± 4.06	26.03 ± 4.23
ระยะเวลาในการติดเชื้อเอชไอวี (ปี)	8.42 ± 3.45	8.21 ± 3.72	8.28 ± 3.60
CD4 (เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)	559.95 ± 169.23	647.90 ± 261.77	620.05 ± 238.53

<sup>1</sup>ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 2 พลังงานและปริมาณสารอาหารที่ผู้เข้าร่วมการศึกษาได้รับ

ข้อมูล	เพศชาย (19 คน)	เพศหญิง (41 คน)	รวม (60 คน)	p-value
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี) <sup>a</sup>	2128.12 ± 525.65	1964.41 ± 452.63	2016.25 ± 478.64	0.221
โปรตีน				
กรัม <sup>b</sup>	78.96	82.06	79.41	0.628
(38.78-187.55)	(38.78-187.55)	(17.32-187.55)	(17.32-187.55)	
ร้อยละของพลังงานทั้งหมด <sup>a</sup>	16.03 ± 4.46	16.18 ± 4.25	16.13 ± 4.28	0.897
คาร์โบไฮเดรต				
กรัม <sup>a</sup>	286.89 ± 68.32	279.12 ± 65.05	281.58 ± 65.62	0.673
ร้อยละของพลังงานทั้งหมด <sup>b</sup>	54.32	56.97	55.74	0.328
(37.04-73.94)	(37.04-73.94)	(37.85-88.50)	(37.04-88.50)	
ไขมัน				
กรัม <sup>b</sup>	61.65	57.76	59.12	0.344
(38.39-162.74)	(38.39-162.74)	(4.29-121.36)	(4.29-162.74)	
ร้อยละของพลังงานทั้งหมด <sup>a</sup>	29.33 ± 9.21	26.28 ± 8.18	27.25 ± 8.56	0.201
อัตราส่วนของพลังงานจาก	16 : 55 : 29	16 : 58 : 26	16 : 57 : 27	
โปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่อไขมัน				

<sup>a</sup>ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดย Independent sample t-test ( $p < 0.05$ )

<sup>b</sup>ข้อมูลแสดงเป็นค่ามัธยฐาน (ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดย Mann-Whitney U test ( $p < 0.05$ )



ตารางที่ 3 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมการศึกษาแบ่งกลุ่มตามค่าดัชนีมวลกาย

ข้อมูล	น้ำหนักปกติ (14 คน)	น้ำหนักเกินหรืออ้วน (46 คน)	p-value
น้ำหนัก (กิโลกรัม) <sup>a</sup>	54.00 (49.00-65.00)	68.00 (52.00-115.00)	< 0.01
เส้นรอบเอว (เซนติเมตร) <sup>a</sup>	86.00 (81.00-94.00)	94.00 (81.00-126.00)	< 0.01
ระดับ CD4 (เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) <sup>a</sup>	519.50 (332.00-1121.00)	605.00 (265.00-1271)	0.402
ความดันโลหิต (มิลลิเมตร ปรอท) <sup>a</sup>			
ความดันซิสโตลิก	137.50 (120.00-146.00)	140.00 (104.00-164.00)	0.221
ความดันไดแอสโตลิก	84.00 (64.00-97.00)	86.00 (45.00-103.00)	0.386
น้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) <sup>a</sup>	103.50 (82.00-231.00)	93.00 (80.00-223.00)	0.070
ระดับไขมันในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)			
คอเลสเตอรอลรวม <sup>b</sup>	217.21 ± 38.15	195.54 ± 34.23	0.048
เอชดีแอลคอเลสเตอรอล <sup>a</sup>	48.00 (36.00-98.00)	45.50 (30.00-93.00)	0.452
แอลดีแอลคอเลสเตอรอล <sup>b</sup>	132.87 ± 39.68	118.41 ± 30.74	0.156
ไตรกลีเซอไรด์ <sup>a</sup>	107.50 (76.00-402.00)	140.00 (59.00-300.00)	0.916
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี)	2078.26 ± 511.44	1997.38 ± 472.50	0.584
โปรตีน (กรัม)	94.51 (41.65-187.55)	78.71 (17.32-187.55)	0.345
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	287.09 ± 55.09	270.90 ± 68.97	0.723
ไขมัน (กรัม)	54.23 (31.65-162.74)	60.58 (4.29-162.74)	0.552

<sup>a</sup>ข้อมูลแสดงเป็นค่ามัธยฐาน (ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดย Mann-Whitney U test ( $p < 0.05$ )

<sup>b</sup>ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดย Independent sample t-test ( $p < 0.05$ )

# การศึกษาชีววิทยาและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการอนุบาลกุ้งแรด *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849)

## The Study on Biology and Environmental Factors Impacting Nursery of Bamboo Shrimp *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849)

ศตวรรษ อรุณธัญญา<sup>1</sup>, สุรียัน ธิญักิจจานุกิจ<sup>2</sup> และ อิศริยา วุฒิสินธุ์<sup>3</sup>

Satawat Aroonthunya<sup>1</sup>, Suriyan Tunkijjanukij<sup>2</sup> and Idsariya Wudtisinn<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

ดำเนินการศึกษากุ้งแรด *Atyopsis moluccensis* บริเวณคลองกำพวนจังหวัดระนอง ในเดือนธันวาคม 2561 และเมษายน 2562 จากการศึกษาด้านชีววิทยา พบว่าอาหารที่พบในลำไส้กลุ่มหลักในเดือนธันวาคม เป็นกลุ่มของแมลงน้ำเป็นหลัก (95%) ในขณะที่เดือนเมษายน พบกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นหลัก (91%) เนื่องจากเดือนธันวาคมมีปริมาณแพลงก์ตอนต่ำ ( $65.8 \pm 54.2$  เซลล์ต่อลิตร) แต่ในเดือนเมษายนมีปริมาณแพลงก์สูง ( $3714.7 \pm 2951.4$  เซลล์ต่อลิตร) ปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับน้ำหนักตัวกุ้งแรดได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ ( $r = 0.568$  ;  $P < 0.05$ ) เนื่องจากพฤติกรรมการกรองกินอาหารจากมวลน้ำ และน้ำหนักตัวยังมี ความสัมพันธ์ระดับต่ำกับแอมโมเนีย ( $r = 0.380$  ;  $P < 0.05$ ) จากผลการอนุบาลกุ้งแรดพบว่าความเค็มที่ใช้ในการ อนุบาลกุ้งแรดเหมาะสมที่สุด ที่ความเค็ม 30 ppt มีอัตราการรอดสูงที่สุด (0.83%) มีระยะเวลาในการอนุบาล 60 วัน ดังนั้นลูกกุ้งแรดจะสามารถอนุบาลและเจริญเติบโตที่แหล่งน้ำเค็มสูงเท่านั้น

**คำสำคัญ :** กุ้งแรด, ปัจจัยสิ่งแวดล้อม, ชีววิทยา, การอนุบาลลูกกุ้ง

### Abstract

The bamboo shrimp *Atyopsis moluccensis* was studied in Khlong Kampuan, Ranong province in December 2018 and April 2019. The biological study showed the main food of bamboo shrimp in December found the aquatic insects (95%) while in April were the blue-green algae (91%). Because December had low plankton volume ( $65.8 \pm 54.2$  cells per liter) but in April had high plankton volume ( $3714.7 \pm 2951.4$  cells per liter). Water quality factors significantly correlated with bamboo shrimp weight in moderate level including flow rate ( $r = 0.568$  ;  $P < 0.05$ ) due to filter feeding behavior from water column and weight also had low correlated with ammonia ( $r = 0.380$  ;  $P < 0.05$ ). The study of nursing bamboo shrimp larvae found the optimum salinity at 30 ppt which had highest survival rate (0.83%) and nursing duration was 60 days. So the bamboo shrimp larvae could nurse and grew up only in high salinity water.

**Keyword :** Bamboo shrimp, Environment factors, Biology, Nursing of shrimp larvae

<sup>1</sup>ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

## บทนำ

กุ้ง *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) ซึ่งมีชื่อสามัญว่า Bamboo shrimp หรือที่รู้จักกันในวงการสัตว์น้ำสวยงามของไทยว่า กุ้งแวด หรือ กุ้งกล้วย เป็นกุ้งที่พบในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมเลี้ยงในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำสวยงามในหลายประเทศ และกุ้งแวดก็เป็นหนึ่งในรายการของสัตว์น้ำสวยงามประเภทกุ้งที่มีการส่งออกผ่านด่านตรวจสัตว์น้ำของไทยแสดงให้เห็นถึงการมีศักยภาพในการเป็นสัตว์น้ำสวยงามส่งออกของกุ้งชนิดนี้

กุ้งชนิดนี้พบว่าสามารถเลี้ยงในตู้สัตว์น้ำสวยงามได้ แต่ชอบกระแสน้ำที่ไหลความเร็วปานกลาง กินอาหารโดยอาศัยอวัยวะที่มีลักษณะคล้ายขนนก เป็นฟูในการกรองกินอาหารจากน้ำ หากอาหารในน้ำมีจำกัด ก็อาจจะพบกุ้งลงมากากิน สำหรับการเพาะและอนุบาลกุ้งชนิดนี้ ถือว่าเป็นความท้าทายแบบหนึ่ง เพราะกุ้งชนิดนี้ มีระยะวัยอ่อนกว่าจะโตเต็มวัย ซึ่งมีรายงานว่าระยะวัยอ่อนนั้น กุ้งจะต้องการน้ำกร่อยหรือน้ำที่มีความเค็มในการอนุบาลเพื่อให้รอด ทั้งนี้มีรายงานว่ากุ้งระยะวัยอ่อนนั้นมีการอนุบาลในน้ำที่มีความเค็มถึง 33-34 ส่วนในพัน และเมื่อโตเต็มวัยแล้วจึงมาเลี้ยงตัวอยู่ในน้ำจืดที่เป็นลำธารหรือแหล่งน้ำไหล (Herrera-Correal et al., 2013)

สำหรับการกินอาหารของกุ้งชนิดนี้ มีรายงานว่า กินอาหารโดยการกรอง (filter feeding) และสามารถเกาะกับวัสดุใต้น้ำ โคนเกาะทนอยู่ในกระแสน้ำเพื่อกรองอาหารเป็นช่วง และเป็นจำพวก omnivorous และสามารถกรองกินอาหารที่รวบรวมได้ กุ้งแวดที่มีสุขภาพดี จะสามารถสังเกตได้จากการเกาะอยู่เพื่อกรองกินอาหารเกือบตลอดเวลา แต่หากพบว่ากุ้งแวดที่พยายามดูดกินอาหารจากพื้นตู้หรือผิวของวัสดุที่อยู่ในน้ำ จะหมายถึงกุ้งมีอาหารไม่เพียงพอในน้ำ (Almeida et al., 2010)

จากการประเมินภายใต้ The IUCN Red List of Threatened Species™ ในปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) ยังคงจัดกุ้ง *Atyopsis moluccensis* ว่าอยู่ภายใต้เกณฑ์ Least Concern ver 3.1 ทั้งนี้มีเหตุผลประกอบว่ากุ้งชนิดนี้ยังคงพบได้ทั่วไปอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ประเทศศรีลังกา ประเทศไทย มาเลเซียและอินโดนีเซีย เป็นไปได้ว่ารวมประเทศฟิลิปปินส์ (Chace, 1983)

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชีววิทยาอาหารในลำไส้ของกุ้งแวด *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) ในแหล่งน้ำที่ศึกษา พื้นที่คลองกำพวน จ.ระนอง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับกุ้งแวด *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) ในพื้นที่คลองกำพวน จ.ระนอง
3. เพื่อศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงและชีววิทยาการสืบพันธุ์บางประการของกุ้งแวด *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) ในห้องปฏิบัติการ

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาชีววิทยาเบื้องต้น
- 1.1 ศึกษาลำไส้ของกุ้งแวด

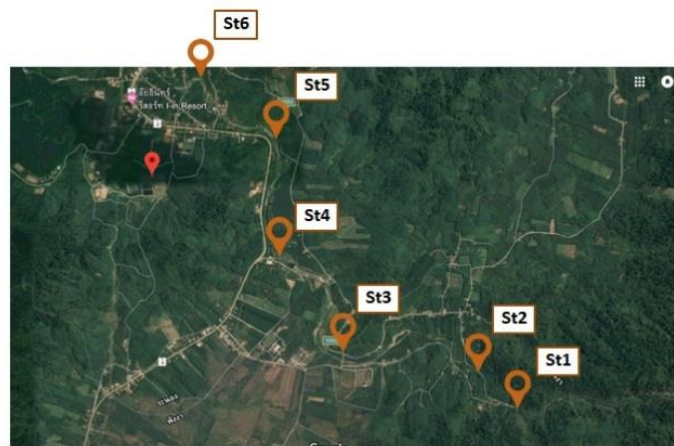
สุ่มตัวอย่างของกุ้ง *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) ที่ได้จากบริเวณคลองกำพวนจังหวัดระนอง จำนวน 30 ตัว มาทำการศึกษาอาหารส่วนของลำไส้ (mid gut) ของกุ้งแวดที่เกิดจากการกิน โดยทำการเตรียมสไลด์

ชนิด wet mount มาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ แล้วทำการถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยเลือกเฉพาะกึ่งที่สามารถตรวจพบอาหารในลำไส้ เพื่อระบุชนิดของอาหารที่กึ่งแรดกิน

## 2. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ

### 2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างน้ำตามวิธีของ APHA-AWWA-WEF (2009) โดยเก็บตัวอย่างน้ำสถานีละ 3 ซ้ำจำนวน 6 สถานี เริ่มเก็บตัวอย่างเวลา 20.00 – 24.00 น. และเนื่องจากแหล่งน้ำส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นลำธารที่ลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความกระด้าง ค่าความเป็นด่าง ความโปร่งแสง อัตราการไหลของน้ำ สารแขวนลอยทั้งหมด ความขุ่น ออร์โธฟอสเฟต แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรท



ภาพที่ 1 คลองกำพวน จังหวัดระนอง

ที่มา : Google map

### 2.2 การเก็บตัวอย่างกึ่งแรด

เก็บตัวอย่างกึ่งจำนวน 6 สถานี โดยเก็บสถานีละ 30 ตัว เริ่มเก็บตัวอย่างเวลา 20.00 – 24.00 น. ใช้สวิงตาข่ายในล่อนสำหรับตักปลาหรือกึ่งที่มีขนาดเล็กและมีหน้ากว้าง 12 นิ้ว

### 2.3 การศึกษาจำนวนแพลงก์ตอน

เก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ถังพลาสติกตวงน้ำที่ผิวน้ำในจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 6 สถานี จุดละ 10 ลิตร นำมาผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 50 ไมครอน สำหรับกรองแพลงก์ตอนพืช เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณในห้องปฏิบัติการคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตามวิธีของ Ladda (2000)

จัดจำแนกชนิดของแพลงก์ตอนพืช ในแหล่งน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่าง นำมาหยดบนสไลด์นับเซลล์ (Sedgewick slide) ทำการจำแนกชนิดที่พบและนับจำนวน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทำการคำนวณหาจำนวนแพลงก์ตอน (Ladda & Sopana, 2003)

## 3. การศึกษาขั้นตอนและแนวทางในการเพาะและอนุบาล

### 3.1 ศึกษาผลของความเค็มที่มีต่ออัตราการรอดตายของกึ่งแรด

นำกึ่งที่มีอายุได้ 3 เดือนขนาดประมาณ 1 นิ้ว ที่ได้จากแหล่งรวบรวมพันธุ์กึ่งเพื่อการจำหน่ายและส่งออก จำนวน 20 ตัวลงแต่ละถังน้ำ เพื่อนำมาทดลองเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มแตกต่างกัน 6 ระดับที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 5,

10, 15, 20, 25 และ 30 ppt โดยที่กุ้งเหล่านี้มีการให้อาหารมาก่อนเริ่มการทดลองแต่ในระหว่างการทดลองนี้จะไม่มีการให้อาหารเป็นเวลา 96 ชั่วโมงและคุณภาพน้ำจะมีการควบคุมคุณภาพน้ำได้แก่ ค่าความเป็นกรด ออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนียรวม ไนโตรที่ ความเป็นด่างและความกระด้าง ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

### 3.2 แนวทางการอนุบาลในความเค็มที่ต่างกัน

ทำการศึกษาแนวทางการเพาะและอนุบาลกุ้ง *Atyopsis moluccensis* (De Haan, 1849) โดยจำลองพื้นที่เพาะพักลูกกุ้งโดยใช้ภาชนะขนาด 3 ลิตรแบ่งลูกกุ้งมาอนุบาลที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลิตร ในน้ำที่มีความเค็ม 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ppt ทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ให้อาหารด้วยแพลงก์ตอนพืชสำเร็จรูป (*Scenedesmus* sp.) นำมาผสมน้ำในอัตราส่วน 1 หยดต่อน้ำ 10 มิลลิลิตรให้ได้ปริมาณความหนาแน่นแพลงก์ตอนเท่ากับ  $1.5 \times 10^5$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 1 มิลลิลิตรของอาหารต่อน้ำ 1 ลิตร โดยให้อาหารเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อวันทำการเก็บข้อมูลอัตราการรอดในแต่ละวัน การพัฒนาอวัยวะของในแต่ละระยะของลูกกุ้งวัยอ่อน

### 3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการรายงานผลด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นทำการทดสอบสถิติโดยเบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลและจัดการข้อมูลให้เป็นไปตามเงื่อนไขสถิติพาราเมตริก (หากข้อมูลไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสถิติพาราเมตริกจะทำการ transform data ก่อน) วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างน้ำหนักของกุ้งแรดกับคุณภาพน้ำบริเวณคลองกำพวน และวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการรอด ของกุ้งแรดโดยวิธีวิเคราะห์ ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการศึกษาชีววิทยาเบื้องต้น

#### 1.1 ผลศึกษาลำไส้ของกุ้งแรด

จากการศึกษาลำไส้ของกุ้งแรดพบว่า ในช่วงเดือนธันวาคมพบว่า อาหารกลุ่มหลักที่พบเป็นกลุ่มของซากแมลงน้ำโดยพบถึงร้อยละ 95 ของลำไส้และพบกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวเพียงร้อยละ 5 ของลำไส้

จากการศึกษาลำไส้ของกุ้งแรดพบว่า ในช่วงเดือนเมษายนพบว่า อาหารกลุ่มหลักที่พบเป็นกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยพบถึงร้อยละ 91 ของลำไส้ รองลงมาคือกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวพบร้อยละ 4 ของลำไส้ เช่นเดียวกับไดอะตอมที่พบพบร้อยละ 4 ของลำไส้ และยังพบพืชน้ำจืดพบร้อยละ 2 ของลำไส้

### 2. ผลการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ

#### 2.1 ผลความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกุ้งแรดและคุณภาพน้ำบริเวณคลองกำพวน

จากการวิเคราะห์ทางสถิติความสัมพันธ์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างขนาดตัวและน้ำหนักของกุ้งแรดเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำบริเวณคลองกำพวน พบว่าอัตราการไหลของน้ำ (flow rate) บริเวณคลองกำพวนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกระดับปานกลางกับน้ำหนักของกุ้งแรด ( $r = 0.568$  ;  $P < 0.05$ ) ซึ่งการไหลของน้ำมีผลกับพฤติกรรมการรอกินของกุ้งแรด โดยมีแนวโน้มว่ากุ้งแรดที่มีขนาดตัวที่ใหญ่จะพบได้บริเวณที่มีน้ำไหลแรงเนื่องจากถิ่นอาศัยของกุ้งแรดนั้นมักจะพบได้บริเวณที่มีน้ำไหลแรงหรือน้ำตกที่มีพื้นที่เชื่อมต่อกับทะเล (Yixiong et al., 2007)

ค่าคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกระดับต่ำกับขนาดตัวและน้ำหนักของกุ้งแรดเช่นเดียวกัน คือ ปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีความสัมพันธ์ระดับต่ำกับน้ำหนักของกุ้งแรด ( $r = 0.380$  ;  $P < 0.05$ ) เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียในน้ำของพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งในเดือนธันวาคมและเมษายนอยู่ในช่วงที่มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8, 2537) ที่กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่ส่งผลโดยตรงต่อกุ้ง แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณแอมโมเนียบ่งบอกถึงแหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ (Pueimsak et al., 1977) เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นอาหารหลักของกุ้งแรด

### 2.3 ผลการศึกษาชนิดและจำนวนแพลงก์ตอน

จากผลการศึกษาจำนวนแพลงก์ตอน พบว่า ในเดือนธันวาคม แพลงก์ตอนที่พบมากที่สุดคือ Class Bacillariophyceae (ไดอะตอม) คิดเป็น 49 % ได้แก่ชนิด *Synedra sp.*, *Cymbella sp.* และ *Nitzschia sp.* จำนวน  $28.60 \pm 33.51$ ,  $9.23 \pm 8.39$  และ  $8.40 \pm 8.19$  หน่วยต่อลิตร ตามลำดับ Class Chlorophyceae (สาหร่ายสีเขียว) คิดเป็น 20 % ได้แก่ชนิด *Spirogyra sp.* จำนวน  $12.00 \pm 20.44$  หน่วยต่อลิตร

ในช่วงเดือนเมษายน พบว่า จำนวนแพลงก์ตอนที่พบมากที่สุดคือ Class Chlorophyceae (สาหร่ายสีเขียว) คิดเป็น 58 % ได้แก่ชนิด *Spirogyra spp.* จำนวน  $1492.60 \pm 2363$  หน่วยต่อลิตร Class Bacillariophyceae (ไดอะตอม) คิดเป็น 40 % ได้แก่ชนิด *Synedra sp.* จำนวน  $1011.60 \pm 1649.38$  หน่วยต่อลิตร และ Division Cyanophyta (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) คิดเป็น 22 % ได้แก่ชนิด *Oscillatoria spp.* จำนวน  $601.20 \pm 887.23$  หน่วยต่อลิตร

### 3. ผลการศึกษารุ่นตอนและแนวทางในการเพาะและอนุบาล

#### 3.1 ผลของความเค็มต่ออัตราการรอด

อัตราการรอดของกุ้งแรดตลอดการทดลอง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ที่ความเค็มแตกต่างกันพบว่าความเค็ม 0, 5, 10 และ 15 ppt มีอัตราการรอดที่สูงกว่าที่เลี้ยงในความเค็ม 20, 25 และ 30 ppt เมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อัตราการรอดตายของกุ้งมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการรอดที่ต่ำลงเมื่อมีการเพิ่มความเค็มที่สูงขึ้น ดังนั้นการทดลองในความเค็มที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งมากที่สุดที่ความเค็ม 25 และ 30 ppt ที่ 48 ชั่วโมง ในขณะที่ความเค็ม 20 ppt ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งที่ 96 ชั่วโมง

**ตารางที่ 1** ผลของความเค็มต่ออัตราการรอดในกุ้งแรด

ความเค็ม	อัตราการรอด(%)			
	24 hours	48 hours	72 hours	96 hours
0 ppt	100.0±0.0 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>
5 ppt	97.8±3.8 <sup>a</sup>	97.8±3.8 <sup>a</sup>	97.8±3.8 <sup>a</sup>	97.8±3.8 <sup>a</sup>
10 ppt	100.0±0.0 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	97.8±3.8 <sup>a</sup>	97.8±3.8 <sup>a</sup>
15 ppt	91.1±7.7 <sup>a</sup>	75.6±3.8 <sup>a</sup>	71.1±10.2 <sup>a</sup>	71.1±10.2 <sup>a</sup>
20 ppt	88.9±3.8 <sup>a</sup>	75.6±3.8 <sup>a</sup>	71.1±10.2 <sup>a</sup>	62.2±3.8 <sup>b</sup>
25 ppt	80.0±5.0 <sup>a</sup>	56.7±2.9 <sup>b</sup>	50.0±0.0 <sup>b</sup>	41.7±2.9 <sup>b</sup>
30 ppt	80.0±8.7 <sup>a</sup>	50.0±5.0 <sup>b</sup>	30.0±8.7 <sup>b</sup>	21.7±5.8 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำหนดด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน

### 3.2 ผลแนวทางการอนุบาลในความเค็มที่ต่างกัน

จากการศึกษาแนวทางการเพาะเลี้ยงเบื้องต้นพบว่า เมื่อทำการทดลองอนุบาลลูกกุ้งด้วยน้ำจืดสนิทที่ 0 ppt ลูกกุ้งจะไม่มีการพัฒนาในระยะการเจริญเติบโต โดยที่ลูกกุ้งระยะนี้จะไม่กินอาหารที่ให้ และมีอายุได้เพียง 7 วันเท่านั้น ดังนั้นการอนุบาลลูกกุ้งแรตนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเค็มเข้ามาเกี่ยวข้องจึงจะทำให้ลูกกุ้งมีการพัฒนาในระยะของลูกกุ้งโดยระยะวัยอ่อนของกุ้งเจริญเติบโตในแหล่งน้ำเค็ม (Timothy et al., 2008)

จากการศึกษาทดลองอนุบาลลูกกุ้งที่ความเค็มต่างกันพบว่า ลูกกุ้งแรตอนุบาลที่ความเค็ม 30 ppt มีอัตราการรอดมากที่สุด (0.83%) และมีระยะเวลาจากการอนุบาลได้ 60 วัน แต่ที่การทดลองความเค็มอื่นๆ ได้แก่ความเค็ม 5, 10, 15, 20 และ 25 ppt ไม่สามารถเลี้ยงรอดได้ถึง 60 วันได้ ซึ่งแตกต่างกันกับเมื่อทำการทดลองที่ 30 ppt ซึ่งเป็นความเค็มที่เหมาะสมที่สุดในการอนุบาลกุ้งแรตและเจริญเติบโตได้จนเป็นระยะที่สมบูรณ์มากที่สุด จากการศึกษาทดลองความเค็มที่ต่างกันสามารถบ่งบอกได้ถึงชีววิทยาโดยธรรมชาติของลูกกุ้งจำเป็นที่จะต้องทำการอนุบาลในน้ำที่มีความเค็มสูง

### ตารางที่ 2 ผลการอนุบาลในความเค็มที่ต่างกัน

	ระดับความเค็ม					
	5 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt	25 ppt	30 ppt
ระยะเวลาการอนุบาลสูงสุด (วัน)	14	15	21	23	25	63
ความหนาแน่นเริ่มต้นเฉลี่ย (ตัว)	268.6 ±18.1	303.3 ±52.6	203.3 ±38.1	245.0 ±43.5	299.6 ±23.5	239.6 ±91.2
อัตราการรอดตายที่ 60 วัน (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83

## สรุป

กลุ่มของอาหารที่พบในลำไส้ของกุ้งแรต ในเดือนธันวาคม 2561 กลุ่มหลักที่พบคือแมลงน้ำเป็นหลัก แต่ในเดือนเมษายน 2562 กลุ่มหลักที่พบคือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยกุ้งแรตมักจะชอบบริเวณที่มีน้ำไหลค่อนข้างแรง เนื่องจากพฤติกรรมการกินอาหารแบบกรองกินที่ต้องอาศัยการยึดเกาะในที่บริเวณมีน้ำไหล ชีววิทยาโดยธรรมชาติของลูกกุ้งแรตจะเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูงอย่างน้อย 30 ppt และเมื่อกุ้งเจริญเติบโตจนสมบูรณ์จะเดินทางขึ้นมาอาศัยอยู่ในแหล่งที่เป็นน้ำจืดสนิท

## คำขอบคุณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนาวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางการยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562 (This research was supported, under the Strengthening and Developing New Researcher Plan, in conformance with the Research and Innovation of Graduate Study Strategy of the National Research Council of Thailand (NRCT) as of fiscal year 2019)

## เอกสารอ้างอิง

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8. (2537). เรื่อง กำหนดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (2537, 24 กุมภาพันธ์): ราชกิจจานุเบกษา.
- Almeida, A. O., Mossolin, E. C., & Luz, J. R. (2010). Reproductive Biology of the Freshwater Shrimp *Atya scabra* (Leach, 1815) (Crustacea: *Atyidae*) in Ilhéus, Bahia. *Zoological Studies*, 49(2), 243-252.
- APHA-AWWA-WEF. (2009). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Wash.D.C.: American Public Health Assoc.
- Chace, F. (1983). *The Atya-like shrimps of the Indo-Pacific region (Decapoda: Atyidae)* Smithsonian Contributions to Zoology. City of Washington: Smithsonian Institution Press.
- Herrera-Correal, J., Mossolin, E. C., Wehrtman, I. S., & Mantelatto, F. L. (2013). Reproductive aspects of the caridean shrimp *Atya scabra* (Leach, 1815) (Decapoda: *Atyidae*) in São Sebastião Island, southwestern Atlantic, Brazil. *Studies on Freshwater Decapods in Latin America*, 41(4), 676-684.
- Ladda, W. (2000). *Zooplankton*. bankok: Kasetsart University Press.
- Ladda, W., & Sopana, B. (2003). *Manual of sampling and analytical methods of plankton*. bankok: Kasetsart University Press.
- Pueimsak, M., Kanika, D., & Pimpimon, P. (1977). *Water quality survey and pesticide residues in the Pasak Tai irrigation system*. Retrieved from faculty of science, Chulalongkorn University:
- Sahat, R., Wisai, K., & Preedamon, K. (2011). *Study of Water Environmental Quality and Bioresources of Kampuan Watershed Area*. bankok: Kasetsart University Press.
- Timothy, P., Benjamin, C., Thomas, v. R., Kristina, v. R., & Jane, M. H. (2008). Evolutionary relationships of atyid shrimps imply both ancient Caribbean radiations and common marine dispersals. *Journal of the North American Benthological Society*, 27, 68-83.
- Yixiong, C., Peter, K. L. N., & Satish, C. (2007). Freshwater shrimps of the family Atyidae (crustacea: decapoda: caridae) from peninsular Malaysia and Singapore. *The Raffles Bulletin of Zoology* 2007, 55(2), 277-309.



# ความหลากหลายของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว จังหวัดอุดรดิตรดิต์-พิษณุโลก<sup>1</sup>

## Diversity of Orchids (Orchidaceae) at Phu Soi Dao National Park,

### Uttaradit-Phitsanulok Provinces

กฤษณา บัวนาคะ<sup>1</sup> ดอกกรัก มารอด<sup>1</sup> กำจรเดช ศรีวิไล<sup>2</sup> นาวิณ อินทกุล<sup>3</sup> และสรารวุธ สังข์แก้ว<sup>1</sup>

Krisda Buanaka<sup>1</sup>, Dokrak Marod<sup>1</sup>, Kamchomdech Srivilai<sup>2</sup>, Navin Intagool<sup>3</sup>, and Sarawood Sungkaew<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว จังหวัดอุดรดิตรดิต์และจังหวัดพิษณุโลก ได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2559 – เดือนกุมภาพันธ์ 2561 ในหลายประเภทสังคมพืชปกคลุมดิน ได้แก่ ป่ารุ่น ป่าเต็งรัง ผสมทุ่งหญ้า ป่าเบญจพรรณผสมทุ่งหญ้า ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขาสูงผสมทุ่งหญ้าป่าสนเขา ป่าละเมาะเขาสูงและลานหินทรายผสมทุ่งหญ้า ที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 300-2,102 เมตร พบกล้วยไม้ 5 วงศ์ย่อย 74 สกุล 191 ชนิด โดยที่กล้วยไม้ 12 ชนิด ได้แก่ *Ascocentrum ampullaceum*, *Calanthe cardioglossa*, *Dendrobium denudans*, *Dendrobium devonianum*, *Dendrobium falconeri*, *Dendrobium strongylanthum*, *Drymoda siamensis*, *Esmeralda clarkei*, *Phaius mishmensis*, *Vanda denisoniana*, *Vanda pumila* และ *Vanilla siamensis* มีสถานภาพการอนุรักษ์ (conservation status) เป็นพืชหายาก (rare species) *Bletilla foliosa* เป็นพืชมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable species) *Paphiopedilum callosum* var. *callosum*, *Paphiopedilum villosum* var. *villosum*, *Papilionanthe biswasiana*, *Platanthera angustilabris*, *Bulbophyllum reclusum* และ *Didymoplexiella siamensis* เป็นพืชใกล้สูญพันธุ์ (endangered species) ซึ่ง *Vanilla siamensis*, *Platanthera angustilabris* *Bulbophyllum reclusum* และ *Didymoplexiella siamensis* ยังเป็นพืชถิ่นเดียว (endemic plant species) อีกด้วย นอกจากนี้ยังสำรวจพบกล้วยไม้รายงานพบใหม่ในประเทศไทย (new record for Thailand) ได้แก่ *Phaius takeoi*, *Peristylus manni* *Zuexine bidupensis*, *Cheirostylus octodactyla*, *Cymbidium tigrinum* และ *Cymbidium baoshanense* และยังพบกล้วยไม้ที่เพิ่งมีรายงานเป็นชนิดใหม่ของโลก (new species) 2 ชนิดคือ *Satyrium yunnanense* subsp. *longispica* และ *Coelogyne phuhinrongklaensis* รวมทั้งพบกล้วยไม้ที่มีการกระจายพันธุ์ในสภาพธรรมชาติครั้งแรกคือ *Dendrobium elliotianum* จึงควรมีการจัดสถานภาพการถูกคุกคามให้กับกล้วยไม้ที่มีข้อมูลในโครงการพรรณพฤกษชาติของประเทศไทยเพิ่มเติม นอกจากนี้กล้วยไม้ทุกชนิดมีความเสี่ยงต่อการสูญหายจากพื้นที่ จึงควรมีแนวทางและมาตรการในการจัดการเพื่อการอนุรักษ์อย่างยั่งยืนต่อไป

**คำสำคัญ:** กล้วยไม้ ความหลากหลาย อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว โครงการพรรณพฤกษชาติแห่งประเทศไทย

<sup>1</sup>โครงการปริญญาโท สาขาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อมภาคพิเศษ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>1</sup>Master of Science Program in Forest Resources and Environmental Administration (Special Program), Faculty of Forestry, Kasetsart University, 50 Ngamwongwan Road, Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2</sup>อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว ต.ห้วยมุ่น อ.น้ำปาด จ.อุดรดิตรดิต์ 53110. ประเทศไทย

Phu Soi Dao National Park, Huai Mun Subdistrict, Nam Pat District, Uttaradit 53110, Thailand

<sup>3</sup>สวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้าในพระราชดำริ ต. บ่อภาค อ. ชาดิตรการ จ. พิษณุโลก 65170 ประเทศไทย

Romklao Botanical Garden (under the Royal Initiative), Bo phak Subdistrict, Chattrakarn District, Phitsanulok 65170, Thailand

## Abstract

The study on orchid diversity at Phu Soi Dao National Park, Uttaradit - Phitsanulok provinces was done at the various vegetations, situated at an altitude of 300 – 2,102 m, from May 2017 to February 2018. Totally, 191 orchid species, belonging to 74 genera and 5 subfamilies were found. Of these, 12 species were categorized to have the conservation status as rare species : *Ascocentrum ampullaceum* , *Calanthe cardioglossa* , *Dendrobium denudans* , *Dendrobium devonianum*, *Dendrobium falconeri*, *Dendrobium strongylanthum* , *Drymoda siamensis* , *Esmeralda clarkei* , *Phaius mishmensis*, *Vanda denisoniana* , *Vanda pumila* and *Vanilla siamensis*. *Bletilla foliosa* was vulnerable species while *Paphiopedilum callosum* var. *callosum*, *Paphiopedilum villosum* var. *villosum*, *Papilionanthe biswasiana*, *Platanthera angustilabris*, *Bulbophyllum reclusum* and *Didymoplexiella siamensis* were endangered species. Also, *Vanilla siamensis*, *Platanthera angustilabris*, *Bulbophyllum reclusum* and *Didymoplexiella siamensis* were endemic to Thailand. In addition *Phaius takeoi*, *Peristylus manni*, *Zuexine bidupensis*, *Cheirostylus octodactyla*, *Cymbidium tigrinum* and *Cymbidium baoshanense* were species newly recorded for Thailand. Beside, two new orchid species currently published, *Satyrium yunnanense* subsp. *longispica* and *Coelogyne phuhinrongklaensis*, were also found in this study. Furthermore, this is the first time to confirm that *Dendrobium elliotianum* was found naturalized. It must be considered that the orchid species, particularly those that have not been recorded for the Flora of Thailand project, which might be easily disappear from the area, should be registered for their conservation status for sustainable management.

**Keyword:** Orchid, Orchidaceae, Diversity, Phu Soi Dao National Park, Flora of Thailand project

## บทนำ

การศึกษาพืชวงศ์กล้วยไม้ (orchidaceae) ในประเทศไทยได้ดำเนินการมาควบคู่กับการศึกษาพรรณพฤกษชาติของประเทศไทย (Flora of Thailand) ตั้งแต่ยุคเริ่มต้นในช่วงปี พ.ศ. 2233-2443 โดยนักพฤกษศาสตร์ชาวต่างประเทศ (ก่องกานดา, 2539) แต่จำนวนสมาชิกของพืชวงศ์นี้มีจำนวนมากซึ่งชนิดพันธุ์ในธรรมชาติที่นักพฤกษศาสตร์รู้จักและตรวจสอบชื่อถูกต้องแล้วนั้นมีอยู่ไม่น้อยกว่า 23,000 ชนิด (Nanakorn and Indhamusika, 2000) และการสำรวจยังไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศ เนื่องจากในอดีตมีความยากลำบากในการคมนาคม ตลอดจนปัญหาความมั่นคงภายในประเทศ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่แนวตะเข็บชายแดนซึ่งมีป่าอุดมสมบูรณ์ (สมรงาน, 2546) ปัจจุบันประเทศไทยมีการสำรวจพบกล้วยไม้เพิ่มขึ้นสามารถจำแนกได้ประมาณ 180 สกุล 1,200 ชนิด เป็นกล้วยไม้ถิ่นเดียว (endemic to Thailand orchids) ประมาณ 170 ชนิด จากจำนวนสมาชิกของวงศ์ทั่วโลก 775 สกุล จำนวนชนิดมากกว่า 19,500 ชนิด (Thaithong, 1999; Pridgeon *et al.*, 1999) การศึกษาความหลากหลายของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของชนิดและความเด่นในแต่ละสภาพสังคมพืชปกคลุมดินซึ่งสามารถนำข้อมูลมาสนับสนุนเพื่อการวางแผนอนุรักษ์ทรัพยากรพันธุกรรมพืชในอุทยานแห่งชาติรวมทั้งส่งเสริมกิจกรรมด้านนันทนาการ และการสื่อความหมาย นับเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาองค์ความรู้ในเชิงอนุกรมวิธาน รวมถึงการใช้ประโยชน์จากพืชของชนพื้นเมืองของพื้นที่ในเชิงพฤกษศาสตร์พื้นบ้านและส่งเสริมข้อมูลการศึกษาพรรณพฤกษชาติของประเทศไทย (Flora of Thailand) อีกทางหนึ่ง

## อุปกรณ์และวิธีการ

ออกสำรวจพื้นที่ในฤดูกาลต่างๆ กัน แล้วตามเก็บตัวอย่าง โดยสำรวจเป็นแนวเส้น (line transected) ครอบคลุมพื้นที่สังคมพืชปกคลุมดิน บันทึกข้อมูลเพื่อศึกษาตามวิธีการทางพฤกษศาสตร์เก็บตัวอย่าง ทั้งในรูปตัวอย่างแห้ง และตัวอย่างดอง นำมาตรวจสอบเพิ่มเติมใน ห้องปฏิบัติการ เริ่มทำการศึกษาดังแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยทำการเก็บตัวอย่างตามวิธีการของ ทวีศักดิ์และคณะ (2530) ประกอบกับวิธีของ Bridson and Forman (2010) พร้อมทั้ง บันทึกภาพพรรณไม้ รวมทั้งสัณฐานวิทยาบางประการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อจัดทำเป็นตัวอย่างพรรณไม้แห้ง-ดอง เพื่อใช้เปรียบเทียบเมื่อทำการตรวจสอบตามวิธีการของสมราน (2546) การประเมินสภาพสังคมพืชปกคลุมดินและความมากมายอ้างอิงตามวิธีการของ Maxwell (2004) และข้อมูลสถานภาพการอนุรักษ์ของกล้วยไม้อ้างอิงจาก Santisuk *et al.* (2006).

## ผลและวิจารณ์

พบกล้วยไม้ 5 วงศ์ย่อย 74 สกุล 191 ชนิด ซึ่งมีกล้วยไม้ที่มีการกระจายพันธุ์จำกัด โดยเฉพาะ *Paphiopedilum callosum* var. *callosum* ที่มีรายงานว่าพบกระจายพันธุ์เฉพาะทางภาคเหนือของประเทศไทย เท่านั้น (Seidenfaden & Smitinand, 1961; Seidenfaden, 1988) นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยไม้ถึง 25 ชนิด ที่สำรวจพบเพียง 1-5 ต้น เช่น *Apostasia nuda*, *Zuexine bidupensis* และ *Rhomboda abbreviata* เป็นต้น (ตารางที่ 1) อาจเนื่องจาก กล้วยไม้เหล่านี้มีความจำเพาะเจาะจงต่อถิ่นอาศัยย่อยและสภาพสังคมพืชปกคลุมดินสูง เช่น พบเฉพาะบริเวณลานหินทรายในป่าละเมาะเขาสูงผสมทุ่งหญ้าเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีการลักลอบเก็บออกไปจากธรรมชาติเพื่อการค้า เมื่อตรวจสอบสถานภาพการอนุรักษ์กล้วยไม้แต่ละชนิด พบกล้วยไม้ที่จัดอยู่ในพืชหายาก 12 ชนิด ได้แก่ *Asc. ampullaceum*, *Cal. cardioglossa*, *Den. denudans*, *Den. devonianum*, *Den. falconeri*, *Den. strongylanthum*, *Dry. siamensis*, *Esm. clarkei*, *Pha. mishmensis*, *Van. denisoniana*, *Van. pumila* และ *Vani. siamensis* โดย *Ble. foliosa* เป็นพืชมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ *Paph. callosum* var. *callosum*, *Paph. villosum* var. *villosum*, *Papi. biswasiana*, *Pla. angustilabris*, *Bul. reclusum* และ *Did. siamensis* เป็นพืชใกล้สูญพันธุ์ พบ *Vani. siamensis*, *Pla. angustilabris*, *Bul. reclusum* และ *Did. siamensis* ซึ่งเป็นพืชถิ่นเดียวอีกด้วย นอกจากนี้ยังสำรวจพบกล้วยไม้ รายงานพบใหม่ในประเทศไทยได้แก่ *Pha. takeoi*, *Per. mannii*, *Zue. bidupensis*, *Che. octodactyla*, *Cym. tigrinum* และ *Cym. baoshanense* และยังพบกล้วยไม้ชนิดใหม่ของโลก 2 ชนิดคือ *Sat. yunnanense* subsp. *longispica* (Kurzweil *et al.*, 2009) และ *Coe. phuhinrongklaensis* (Tippayasri and Ngernsaengsaruy, 2012) รวมทั้งพบกล้วยไม้ที่มีการกระจายพันธุ์ในสภาพธรรมชาติครั้งแรกคือ *Den. elliotianum* (Buanaka *et al.*, 2015) ซึ่งกล้วยไม้ทุกชนิดมีความเสี่ยงสูงต่อการสูญหายจากพื้นที่ (Santisuk *et al.*, 2006) อุทยานแห่งชาติภูสอยดาวเคยมีรายงานพบกล้วยไม้ทั้งสิ้น 23 ชนิด (กฤษภาและคณะ, 2552) ในการศึกษาครั้งนี้ พบกล้วยไม้ตรงกับที่เคยมีรายงานไว้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว ทั้ง 23 ชนิด และพบกล้วยไม้เพิ่มขึ้นถึง 168 ชนิด สาเหตุที่พบจำนวนชนิดของกล้วยไม้เพิ่มขึ้นจำนวนมาก อาจเป็นเพราะการศึกษาครั้งนี้ สำรวจกล้วยไม้ในหลายเส้นทางและครอบคลุมตัวแทนสภาพสังคมพืชปกคลุมดินทั้งหมดที่พบในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว ซึ่งต่างจากการศึกษาความหลากหลายของพรรณพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติภูสอยดาวก่อนหน้านี้ ซึ่งได้เน้นศึกษาเฉพาะกล้วยไม้ดิน และสำรวจเพียงบริเวณเส้นทางลานสนสามใบ ไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว

การศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่ พบว่า บริเวณป่าดิบเขาที่มีความหลากหลายของกล้วยไม้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสังคมพืชอื่นๆ (Chantanaorrapint and Thaitong, 2005) อาจกล่าวได้ว่าป่าดิบเขาสูงผสมทุ่งหญ้ามีความจำเพาะเจาะจงสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะป่าดิบเขามีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างจากป่าประเภทอื่นๆ เนื่องจากอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางที่สุดทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าป่าด้านล่าง 3-4 องศาเซลเซียส (Chantanaorrapint and Frahm, 2011) มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงเกือบตลอดทั้งวันเนื่องจากอิทธิพลของไอน้ำในก้อนเมฆ และพื้นป่า มีความชื้นแสงสูงกว่า ป่าเบญจพรรณผสมทุ่งหญ้า จึงทำให้กล้วยไม้ที่พบบริเวณนี้มีความแตกต่างจากป่าประเภทอื่นๆ

ขอบเขตการกระจายพันธุ์ทางภูมิศาสตร์ของกล้วยไม้ที่พบในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูสอยดาว ทั้ง 191 ชนิด (Table 1) จากเอกสารที่เกี่ยวข้องและตัวอย่างอ้างอิงในพิพิธภัณฑ์พืช โดยยึดตามระบบของ Brummitt (2001) พบว่ากล้วยไม้ที่พบในการศึกษานี้ส่วนใหญ่มีการกระจายพันธุ์อยู่ในเขตอินโดจีนและ อินโด-พม่า (indochinese, indoburmese element) พบถึง 161 ชนิด เช่น *Dendrobium moschatum* ในจำนวนนี้กล้วยไม้ 2 ชนิด คือ *Eulophia andamanensis* และ *Tainia penangiana* มีการกระจายพันธุ์ในเขตอินโดจีนและเขตอินโด-พม่า โดยมีการกระจายพันธุ์ลงมาถึงภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งเป็นการกระจายพันธุ์อยู่ในเขตมาเลเซีย (malasian element) และมีการกระจายพันธุ์สูงสุดบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ดังนั้นผลการศึกษานี้ น่าจะสนับสนุนแนวคิดที่ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของการกระจายพันธุ์พืชในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Smitinand, 1989)

## สรุป

1. ป่าดิบเขาสูงผสมทุ่งหญ้า ป่าเบญจพรรณผสมทุ่งหญ้า ป่าดิบแล้ง และป่าสนเขา เป็นสภาพสังคมพืชปกคลุมดินที่มีความหลากหลายของชนิด ความมากมาย และการกระจายพันธุ์ของกล้วยไม้มากที่สุด ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว เนื่องจากเป็นความต่อเนื่องและคาบเกี่ยวกันของความสูงจากระดับทะเลปานกลาง จึงปรากฏจำนวนชนิดที่คล้ายคลึงกัน

2. อิทธิพลหลักของเขตพฤษภูมิศาสตร์โลกที่มีผลต่อการกระจายพันธุ์กล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว คือ เขตอินโด-พม่า และเขตอินโดจีน

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการจัดสถานภาพการอนุรักษ์ให้กับกล้วยไม้รายงานพบใหม่ในประเทศ และกล้วยไม้ที่มีการกระจายพันธุ์ในธรรมชาติครั้งแรกให้เป็นพืชใกล้สูญพันธุ์และพืชถิ่นเดียว ส่วนกล้วยไม้ชนิดใหม่ของโลกที่พบในพื้นที่จัดให้เป็นพืชใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง และเป็นพืชถิ่นเดียว เป็นการเพิ่มเติมข้อมูลสอดคล้องตามเกณฑ์ระดับการคุกคามของพรรณพฤษชาติแห่งประเทศไทย ซึ่งกล้วยไม้ทุกชนิดมีความเสี่ยงสูงต่อการสูญหายจากพื้นที่

2. ควรมีมาตรการในการจำกัดพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ของพื้นที่ป่าไม้ (forest landuse zoning) เพื่อป้องกันการคุกคามประชากรของกล้วยไม้

Table 1 Diversity and Distribution Range of Orchids at Phu Soi Dao National Park

No	Taxon	Habit	flowering- Fruiting	Vegetation Type	Abundance
Apostasioideae					
1	<i>Apostasia nuda</i> R.Br.	T	May-Jun	DEF	1
2	<i>Apostasia wallichii</i> R.Br.	T	May-Aug	DEF	1
Cypripedioideae					
3	<i>Paphiopedilum callosum</i> (Lindl.) Stein var. <i>callosum</i>	T,L	Jul-Aug	HEF,PF	1
4	<i>Paphiopedilum villosum</i> (Lindl.) Stein var. <i>villosum</i>	E,L	Jan-Feb	HEF,PF,UMS	4
Orchidoideae					
5	<i>Anoectochilus burmannicus</i> Rolfe	T	Oct-Nov	HEF,PF	2
6	<i>Brachycorythis helferi</i> (Rchb.f) Summerh.	T	Jan-Jun	DDF	3
7	<i>Erythrodes blumei</i> (Lindl.) Schltr	T	Apr-May	DDF,MEF,HEF,PF	3
8	<i>Goodyera bifida</i> (Blume) Blume	T	Jun-Aug	HEF,PF	2
9	<u><i>Goodyera viridiflora</i> (Blume) Blume</u>	T	Sep-Nov	HEF,PF	3
10	<i>Habenaria furcifera</i> Lindl.	T	Aug-Sep	HEF	4
11	<i>Habenaria limprichtii</i> Schltr.	T	Aug-Sep	HEF,PF	3
12	<i>Habenaria rhodocheila</i> Hance	T,L	Jul-Oct	DEF	4
13	<i>Habenaria stenopetala</i> Lindl.	T	Aug	HEF,PF	3
14	<i>Odontochilus tortus</i> King & Pantl.	T	May-Aug	HEF,PF	3
15	<i>Peristylus densus</i> (Lindl.) Santapau & Kapadia	T	Aug-Sep	HEF,PF	4
16	<i>Peristylus goodyeroides</i> (D. Don) Lindl.	T	May-Jun	DDF	3
17	<i>Peristylus mannii</i> (Rchb.f.) Mukerjee	T	Aug-Sep	PF	1
18	<i>Platanthera angustilabris</i> Seidenf	T	Aug-Nov	HEF,PF	1
19	<i>Rhomboda abbreviata</i> (Lindl.) Omerod	T	Jan-Mar,Nov	PF	1
20	<i>Satyrium yunnanense</i> subsp. <i>longispica</i> Kurzweil and Suksathan	T,L	Sep	UMS	1
21	<i>Zuexine bidupensis</i> Aver.	T	Sep-Nov	HEF,UMS	1
Vanilloideae					
22	<i>Vanilla aphylla</i> Blume.	E	Jan-Dec	DDF,MDF	2
23	<i>Vanilla siamensis</i> Rolfe ex Downie	E	Apr-Jul	DDF,MDF	2
Epidendroideae					
24	<i>Acanthephippium striatum</i> Lindl.	T	Apr-May	DEF,MEF,PF	2
26	<i>Aerides crassifolia</i> Par.& Burb.	E	Apr-May	DDF,MDF	4
27	<i>Aerides falcata</i> Lindl.	E	Apr-May	MDF,DEF,MEF	3
29	<i>Aerides multiflora</i> Roxb.	E	Mar-May	DDF,MDF	2
30	<i>Agrostophyllum brevipes</i> King & Pantl.	E	Jun-Jul	DEF,MEF	1
31	<i>Anthogonium gracile</i> Wall. ex Lindl.	T	May-Jul	PF	3
32	<i>Aphyllorchis montana</i> Rchb.f.	S	Oct-Nov	MDF	2
33	<i>Ascocentrum ampullaceum</i> (Roxb.) Schltr.	E	May	MDF,DEF	1
34	<i>Bletilla sinensis</i> (Rolfe) Schltr.	T	May	PF	4

35	<i>Bulbophyllum affine</i> Lindl.	E,L	May-Jun	DEF,MEF,HEF,PF	2
36	<i>Bulbophyllum bisetum</i> Lindl.	E,L	Aug-Oct	MDF,DEF,HEF	3
37	<i>Bulbophyllum bittnerianum</i> Schltr.	E,L	Jul-Aug	MEF,PF	3
38	<i>Bulbophyllum blepharites</i> Rchb.f.	E,L	Jun-Nov	MDF,DEF,HEF	3
39	<i>Bulbophyllum capillipes</i> C.S.P. Parish & Rchb. f.	E,L	May	HEF,PF	3
40	<i>Bulbophyllum dayanum</i> Rchb. f.	E,L	Jan-Aug	HEF,PF	3
41	<i>Bulbophyllum microtepalum</i> Rchb.f.	E,L	Nov-Jan	DEF,MEF,HEF	3
42	<i>Bulbophyllum morphologorum</i> F. Kranzl.	E,L	Jan-May	DEF,MEF,HEF	3
43	<i>Bulbophyllum nigrescens</i> Rolfe	E,L	Feb-May	DEF,MEF,HEF	3
44	<i>Bulbophyllum odoratissimum</i> (Sm.) Lindl.	E,L	Jun-Jul	MDF,DEF,MEF,HEF	3
45	<i>Bulbophyllum orientale</i> Seidenf.	E,L	Jan-May	DDF,MDF	2
46	<i>Bulbophyllum polyrhizum</i> Lindl.	E,L	Feb-Apr	MDF,HEF,PF	3
47	<i>Bulbophyllum psittacoglossum</i> Reichb. f.	E,L	Jun	HEF,PF	2
48	<i>Bulbophyllum reclusum</i> Seidenf.	E,L	Nov-Dec	MDF	1
49	<i>Bulbophyllum retasiusculum</i> Rchb.f.	E	Oct-Feb	DEF,MEF,HEF,PF	2
50	<i>Bulbophyllum lobbii</i> Lindl.	E,L	Oct-Jan	DDF,MDF	3
51	<i>Bulbophyllum spathulatum</i> (Rolfe ex E.Cooper) Seidenf.	E	Oct-Nov	DDF,MDF,DEF	2
52	<i>Bulbophyllum suavissimum</i> Rolfe	E	Jan	DDF,MDF,DEF	2
53	<i>Bulbophyllum sutepense</i> (Rolfe ex Downie) Seidenf. & Smitinand	E,L	Mar-May	MDF	2
54	<i>Bulbophyllum triste</i> Rchb.f.	E,L	Jan-Apr	MDF	1
55	<i>Bulbophyllum wallichii</i> Rchb.f.	E,L	Jan-Feb	HEF,PF	3
56	<i>Calanthe cardioglossa</i> Schltr.	E,L	Nov-Jan	HEF,UMS	3
57	<i>Calanthe lyroglossa</i> Rchb. f.	T	Apr-Sep	MEF,HEF	2
58	<i>Calanthe sylvatica</i> (Thouars) Lindl.	T	Jul-Aug	HEF,PF	2
60	<i>Cephalantheropsis obcordata</i> (Lindl.) Ormerod.	T	Feb	MEF	3
61	<i>Ceratostylis siamensis</i> Rolfe ex Downie	T	May-Jul	PF,UMS	3
63	<i>Chiloschista parishii</i> Seidenf.	T	Feb-Apr	PF	1
64	<i>Cleisostoma linearilobatum</i> (Seidenf. & Smitinand) Garay	E	May-Oct	HEF,PF	3
65	<i>Cleisostoma arietinum</i> (Rchb. f.) Garay	E	Jan-Apr	DDF,MDF	3
66	<i>Cleisostoma filiforme</i> (Lindl.) Garay	E	Sep-Oct	DDF,MDF	3
67	<i>Cleisostoma fuerstenbergianum</i> F. Kranzl.	E	Jul-Aug	DDF,MDF,DEF	3
68	<i>Cleisomeria lanatum</i> (Lindl.) Lindl. ex G. Don	E,L	May-Aug	DDF,MDF,DEF	4
69	<i>Coelogyne viscosa</i> Rchb. f.	E,L	Aug-Nov	MDF,DEF	3
70	<i>Coelogyne brachyptera</i> Rchb. f.	E,L	Mar-Sep	DDF,MDF,DEF	4
71	<i>Coelogyne fuscescens</i> var. <i>brunnea</i> (Lindl.) Lindl.	E	Nov	HEF,PF	4
72	<i>Coelogyne nitida</i> (Wallich. ex Don) Lindley.	E	Jul-Sep	HEF,PF	3
73	<i>Coelogyne phuhinrongklaensis</i> Ngerns. & P. Tippayasri	E,L	Jun-Sep	PF,UMS	1
74	<i>Coelogyne schultesii</i> Jain & Das.	E,L	Jun-Jul	MDF,DEF,PF	4
75	<i>Crepidium orbiculare</i> (W.W.Sm. & Jeffrey) Seidenf.	T	May-Sep	DEF,PF	3
76	<i>Cymbidium aloifolium</i> (L.) Sw.	E	Jan-Dec	DDF,MDF	5

77	<i>Cymbidium baoshanense</i> F. Y. Liu & H. Perner	T,L	Jan-Mar	HEF,UMS	1
78	<i>Cymbidium dayanum</i> Rchb.f.	E	Sep-Jan	DEF,MEF,HEF	2
79	<i>Cymbidium ensifolium</i> (L.) Sw.	T	Sep-Jan	DEF,MEF,HEF	3
80	<i>Cymbidium sinensis</i> (Andr.) Wild	T	Aug-Dec	DEF,MEF,HEF	3
81	<i>Cymbidium tigrinum</i> Parish ex Hook. f.	E,L	Mar-Jul	PF,UMS	1
82	<i>Dendrobium acinaciforme</i> Roxb.	E	Jan-Dec	DDF,MDF	5
83	<i>Dendrobium christyanum</i> Rchb. f.	E	May-Aug	HEF,PF	5
84	<i>Dendrobium chrysotoxum</i> Lindl.	E	Apr-Jul	MDF,DEF,HEF	4
85	<i>Dendrobium dantaniense</i> Guillaumin	E	Mar-May	MDF,DEF,HEF	4
86	<i>Dendrobium delacourii</i> Guillaumin.	E	Mar-Jun	DDF,MDF	5
87	<i>Dendrobium denudans</i> D.Don	E	May	PF	5
88	<i>Dendrobium devonianum</i> Paxton	E	May-Sep	MDF,DEF,HEF	
89	<i>Dendrobium draconis</i> Rchb.f.	E	Dec-Feb	MDF	2
90	<i>Dendrobium elliotianum</i> O'Byrne	E	Mar-May	DDF	2
91	<i>Dendrobium ellipsophyllum</i> Tang & Wang.	E	Mar-May	MDF	1
92	<i>Dendrobium falconeri</i> Hook.	E	Jun-Sep	MDF,DEF,MEF,HEF	3
94	<i>Dendrobium gratiotissimum</i> Rchb.f.	E	Feb-Mar	MDF,DEF	3
95	<i>Dendrobium infundibulum</i> Lindl.	E	Jun-Mar	HEF,PF	3
96	<i>Dendrobium leonis</i> (Lindl.) Rchb.f.	E	Jan-Sep	MDF,DEF	3
97	<i>Dendrobium lindleyi</i> Steud.	E	Feb-Apr	MDF,DEF,HEF	3
98	<i>Dendrobium lituiflorum</i> Lindl.	E	Feb-Mar	MDF	3
99	<i>Dendrobium moschatum</i> (Buch.-Ham.)	E	Apr-Jun	HEF,PF	3
100	<i>Dendrobium pachyglossum</i> Par. & Rchb.f.	E	Sep-Oct	MDF,DEF	3
101	<i>Dendrobium parishii</i> Rchb.f.	E	Feb-Mar	DEF,MEF,HEF	2
102	<i>Dendrobium pendulum</i> Roxb.	E	Feb	MDF,DEF,HEF	3
103	<i>Dendrobium primulinum</i> Lindl.	E	Feb-Mar	MDF,DEF,HEF	3
104	<i>Dendrobium pulchellum</i> Roxb. ex Lindl.	E	Feb-Apr	MDF	3
105	<i>Dendrobium secundum</i> (Blume) Lindl.	E	Feb-Apr	DDF	3
106	<i>Dendrobium senile</i> Par. & Rchb. f.	E	Feb-Mar	MDF,DEF	3
107	<i>Dendrobium signatum</i> Rchb. f.	E	Feb-Apr	MDF	3
108	<i>Dendrobium strongylanthum</i> Rchb.f.	E	Jul-Aug	PF	2
109	<i>Dendrobium thyrsoiflorum</i> Rchb.f.	E	Feb-Mar	MDF,MEF,HEF	2
110	<i>Dendrobium trigonopus</i> Rchb.f.	E	Mar-May	MDF	2
111	<i>Dendrobium unicum</i> Seidenf.	E	Feb-May	MDF,PF	3
112	<i>Dendrobium uniflorum</i> Griff.	E	Feb-Sep	DDF,PF	3
113	<i>Didymoplexiella siamensis</i> (Rolfe ex Downie) Seidenf.	S	Feb-Apr	MDF,MEF	1
114	<i>Didymoplexis pallens</i> Griff.	S	Mar-May	MDF,MEF	4
115	<i>Dienia ophrydis</i> (J.König) Seidenf.	T	May	DEF,HEF,PF	5
116	<i>Drymoda gymnopus</i> (Hook.f.) Garay, Hamer & Siegerist	E	Feb-Sep	MDF	4
117	<i>Drymoda siamensis</i> Schltr.	E	Jan-Mar	MDF	1
118	<i>Epipogium roseum</i> (D. Don) Lindl.	S	Mar-May	MDF,MEF	3

119	<i>Eria bractescens</i> Lindl.	E,L	Feb-Sep	MDF	3
120	<i>Eria coronaria</i> (Lindl.) Rchb.f.	E,L	Feb-Aug	HEF,PF	2
121	<i>Eria globulifera</i> Seidenf.	E	Jan-Sep	DEF,PF	3
122	<i>Eria paniculata</i> Lindl.	E	Jan-May	HEF,PF	4
123	<i>Eria pannea</i> Lindl.	E,L	Mar-Apr	MDF,DEF,MEF,HEF	4
124	<i>Eria perpusilla</i> Par. & Reichb. f.	E	Feb-Aug	MDF,MEF,HEF	3
125	<i>Eria spicata</i> (D. Don) Hand.-Mazz.	E	Aug-Sep	HEF	3
126	<i>Eria truncata</i> Lindl.	E	Oct-Dec	MDF,HEF,UMS	3
127	<i>Esmeralda clarkei</i> Rchb.f.	E	Apr-May	MDF,DEF	1
129	<i>Eulophia graminea</i> Lindl.	T	Feb-Apr	DDF,MDF	4
130	<i>Eulophia spectabilis</i> (Dennst.) Suresh	T	Feb-Jun	DDF,MDF	3
132	<i>Gastrodia exilis</i> Hook.f.	S	Jun	HEF	4
133	<i>Geodorum attenuatum</i> Griff.	T	Feb-May	DDF	3
134	<i>Geodorum citrinum</i> Jacks.	T	May	DDF	3
135	<i>Geodorum recurvum</i> (Roxb.) Alston	T	Apr	DDF	3
136	<i>Grammatophyllum speciosum</i> Blume	E	Jun-Sep	MDF,DEF,HEF	1
137	<i>Herpysma longicaulis</i> Lindl.	T	Apr-Aug	MEF,HEF,PF	3
138	<i>Hygrochilus parishii</i> (Veitch & Rchb.f.) Pfitzer.	E	Mar	MDF,DEF	2
139	<i>Liparis elliptica</i> Wight	E	Feb-May	MDF,DEF	3
140	<i>Liparis nigra</i> Seidenf.	L,T	Apr-Aug	MEF,HEF,PF	2
141	<i>Liparis paradoxa</i> (Lindl.) Rchb. f.	T	Apr-Jun	MEF,HEF,PF	2
142	<i>Liparis tschangii</i> Schltr	L,T	Feb-May	DEF,MEF,PF	2
143	<i>Liparis vestita</i> Rchb. f.	E	Mar-May	DEF	2
144	<i>Luisia thailandica</i> Seidenf.	E	Feb-Apr	DEF	2
145	<i>Luisia zollingeri</i> Rchb.f.	E	Jan-Apr	DDF,MDF,DEF	2
146	<i>Monomeria barbata</i> Lindl.	E	Sep-Nov	HEF,PF	2
147	<i>Neogyna gardneriana</i> (Lindl.) Rchb.f.	E	Jul-Aug	DEF,HEF,PF	2
148	<i>Nephelaphyllum tenuiflorum</i> Blume.	T,L	May-Jul	DEF,MEF,HEF,PF	3
179	<i>Nervilia aragoana</i> Comm. ex Gaudich.	T	Jan-Apr	DDF,MDF	4
150	<i>Nervilia calcicola</i> Kerr.	T	Jan-Apr	DDF,MDF	4
151	<i>Nervilia plicata</i> (Andrews) Schltr.	T	Jan-Apr	DDF,MDF	4
152	<i>Oberonia acaulis</i> Griff.	E	Oct	DEF,MEF,HEF,PF	5
153	<i>Oberonia mucronata</i> (D.Don) Ormerod & Seidenf	E	Dec	DEF,MEF	5
154	<i>Ornithochilus difformis</i> (Wall. ex Lindl.) Schltr.	E	May-Jul	SF-UMS	5
155	<i>Otochilus fuscus</i> Lindl.	E,L	Mar-Aug	HEF,PF	5
156	<i>Panisea apiculata</i> Lindl.	E	Mar-Jul	MDF,DEF,HEF	4
157	<i>Panisea tricallosa</i> Rolfe.	E	Mar-Jul	MDF,DEF,HEF	4
158	<i>Papilionanthe biswasiana</i> (Ghose & Mukerjee) Garay	E	Mar-Jul	MDF,DEF,HEF	1
159	<i>Papilionanthe teres</i> (Roxb.) Schltr.	E	Mar-Jul	MDF,DEF,HEF	5
160	<i>Phaius flavus</i> (Bl.) Lindl.	E	Jul	MEF	2
161	<i>Phaius mishmensis</i> (Lindl. et Paxton) Rchb. f.	T	Nov	MEF	2



162	<i>Phaius takeoi</i> (Hayata) H.J.Su	T	Oct-Dec	MDF,MEF	1
164	<i>Phalaenopsis cornucervi</i> (Breda) Blume & Rchb. f.	E	Jan-Dec	DDF,MDF	5
165	<i>Pholidota articulata</i> Lindl.	E,L	May-Sep	DEF,MEF,HEF,PF	5
167	<i>Pholidota recurva</i> Lindl.	E,L	May-Sep	DEF,MEF,HEF,PF	5
168	<i>Pinalia acervata</i> (Lindl.) Kuntze	E	May-Jul	DEF	3
169	<i>Pinalia amica</i> (Rchb.f.) Kuntze	E	Apr-Jul	DEF,HEF	3
170	<i>Pinalia bipunctata</i> (Lindl.) Kuntze	E,L	Apr-Jun	DDF,MDF	3
171	<i>Pleione maculata</i> (Lindl.) Lindl. & Paxton	E,L	Sep	HEF,PF,UMS	2
172	<i>Pleione praecox</i> (Lindl.) D. Don	E,L	Sep	HEF,PF,UMS	2
173	<i>Polystachya concreta</i> (Jacq.) Garay & hrSweet	E,L	Aug-Sep	SF-UMS	5
174	<i>Pomatocalpa maculosum</i> (Lindl.) J.J.Sm.	E	Apr-Jul	DDF,MDF,DEF	2
175	<i>Porpax elwesii</i> (Rchb.f.) Rolfe	E	May-Jul	DEF,MEF,HEF	2
176	<i>Rhynchostylis coelestis</i> (Rchb. f.) Rchb. f. ex Veitch	E	Nov-Mar	DDF,MDF	3
177	<i>Rhynchostylis gigantea</i> (Lindl.) Ridl.	E	Jan-Dec	DDF,MDF	3
178	<i>Seidenfadenia mitrata</i> (Rchb. f.) Garay	E	Mar-Apr	MDF	3
179	<i>Spathoglottis pubescens</i> Lindl.	T	May-Sep	PF	2
180	<i>Sunipia cirrhata</i> (Lindl.) P.F.Hunt	E,L	Mar-Aug	HEF,PF	2
181	<i>Sunipia minor</i> (Seidenf.) P.F.Hunt	E,L	Mar-Sep	HEF,UMS	2
182	<i>Tainia penangiana</i> Hook.f.	T	May-Jul	SF-HEF	3
183	<i>Thrixspermum centipeda</i> Lour.	E	Apr	HEF	5
184	<i>Thunia alba</i> (Lindl.) Rchb. f.	T,E,L	May-Sep	PF	3
185	<i>Trichotosia dasyphylla</i> (C.S.P.Parish & Rchb.f.) Kraenzl.	E,L	Mar-Dec	DDF,DEF,MEF,HEF,PF	5
186	<i>Trichotosia pulvinata</i> (Lindl.) Kraenzl.	E,L	Jul-Sep	DDF,DEF,MEF,HEF,PF	3
187	<i>Tropidia angulosa</i> (Lindl.) Bl.	T	Jul-Aug	DDF,MDF	3
188	<i>Vanda denisoniana</i> Bens. & Rchb.f.	E	Mar	MDF,DEF,HEF	2
189	<i>Vanda lilacina</i> Teijsm. & Binn.	E	Mar-May	DDF,MDF	2
190	<i>Vanda liouvillei</i> Finet	E	Mar-Apr	MDF	2
191	<i>Vanda pumila</i> Hook. f.	E	Feb-Mar	DDF,MDF	2

## Table Abbreviation

### 1. Orchid habit

E = epiphytic orchid T = terrestrial orchids L = lithophytic orchids S = saprophytic orchids

### 2. Month

1. Jan = January 4. Apr = April 7. Jul = July 10. Oct = October  
2. Feb = February 5. May = May 8. Aug = August 11. Nov = November  
3. Mar = March 6. Jun = June 9. Sep = September 12. Dec = December

### 3. Vegetation type

SF = Secondary Forest MEF = Moist Evergreen Forest  
DDF = Dry Dipterocarp Forest and Grassland HEF = Hill Evergreen Forest and Grassland  
MDF = Mixed Deciduous Forest and Grassland PF = Pine Evergreen Forest  
DEF = Dry Evergreen Forest and Grassland UMS and ORP = Upper Montane Scrub and Open Sandstone Rockplatform with Grassland

### 4. Abundance

0 = Not seen 3 = medium (11-15)  
1 = few individuals (1-5) 4 = common (50-100)  
2 = rare (6-10) 5 = abundant (>100)

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา บัวนาค, นิรันดร จันทวงศ์, วีระชัย ณ นคร, ยิ่งยง ไพสุขศานติวัฒนา, ดนัย สรรพศรี, นาวัน อินทกุล และ บพิตร ปงโสภา. (2552). ความหลากหลายของกล้วยไม้ดินบริเวณลานสนสามใบในอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว จังหวัดอุดรธานี ใน เรื่อง เติบโตการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาพืช, 17-20 มีนาคม. (2552). น 131-138. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ก่องกานดา ชยามฤต. (2539). ความก้าวหน้าของการศึกษาพรรณไม้ในเมืองไทย ในรายงานการประชุมวิชาการทางพฤกษศาสตร์ เรื่อง ทรัพยากรพืชเชิงเขาหิมาลัย ณ สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ และโรงแรมฮอติเดย์อินท์ เชียงใหม่, 18-19 พฤศจิกายน (2539). น 228-260. สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์. องค์การสวนพฤกษศาสตร์, เชียงใหม่.
- ทวีศักดิ์ บุญเกิด, มณฑกานต์ วัชรภักย์, สุทพพรณ ตริรัตน์, เยวาลักษณ์ มณีรัตน์, อบฉันท ไทยทอง และนาฏฉลวย หลายชูไทย. (2530). การเก็บและรักษาตัวอย่างพรรณไม้. อรุณอมรินทร์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- สมราน สุดดี. (2546). การศึกษาอนุกรมวิธานของพืชวงศ์กล้วยไม้ บริเวณอุทยานแห่งชาติป่าหินงามจังหวัดชัยภูมิ. กลุ่มพฤกษศาสตร์ป่าไม้ ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- Bridson, D. and L. Forman . (2010). 3<sup>rd</sup> ed. The Herbarium Handbook. Royal Botanic Garden, Kew, Whitstable Litho Printers Ltd., England.
- Brummitt, R.K. (2001). World geographical scheme for recording plant distributions. 2<sup>nd</sup> Ed. Hunt Institute for Botanical Document Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Buanaka, K., N. Juntawong, Y. Paisuksantivattana and W. Nanakorn. (2015). Notes on *Dendrobium elliotianum* O'Byrne (Orchidaceae), a poorly known orchid from Thailand . *Thai J. For.* 34 (3) : 124-130.
- Chantanaorapint, S. and Frahm J.P. (2011). Biomass and selected ecological factors of epiphytic bryophyte along altitudinal gradients in southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 33 (6) : 625-632.

- Chantanaorrapint, S. and O. Thaithong. (2005). Preliminary study of Orchidaceae at Huai Yang Waterfall National Park, Prachup Khiri Khun Province, Thailand. In: Proceedings of the 17th World Orchid Conference Shah Alam 2002. H. Nair & J. Arditti (Eds.), pp. 146–149. Natural History Publications (Borneo), Malaysia.
- Kurzweil, H., P. Suksathan and S. Watthana. (2009). First Recording of the Genus *Satyrium* Sw. (Orchidaceae) in Thailand. *Nat. Hist. J. Chulalongkorn Univ.* 9 (2): 105-111.
- Maxwell, J. F.. (2004). A synopsis of the vegetation of Thailand. *Nat. Hist. J. Chulalongkorn Univ.* 4 (2) : 19–29.
- Nanakorn, W. and S. Indhamusika. (2000). Thai Orchids :Queen Sirikit Botanic Garden (vol.6). O.S. Printing House, Bangkok.
- Pridgeon, A.M., F. P. J. Cribb, W. C. Mark and F. N. Rasmussen. (1999). Genera Orchidacearum volume:1 General Introduction, Apostasioideae, Cyrtopodioideae. Oxford university press. New York.
- Santisuk, T., K. Chayamarit, R. Pooma and S. Suddee. (2006). Thailand Red Data: Plants. Office of Natural Resource and Environmental Policy and Planning, Bangkok.
- Seidenfaden, G. (1979). Orchid Genera in Thailand VIII. *Bulbophyllum* Thou. *Dansk Botanisk Arkiv* 33: 1–228.
- \_\_\_\_\_. (1985). Orchid Genera in Thailand XII. *Dendrobium* Sw. *Opera Botanica* 83: 1–295.
- \_\_\_\_\_. (1988). Orchid Genera in Thailand XIV. Fifty-nine vandoid genera. *Opera Botanica* 95: 1–397.
- Seidenfaden, G. and T. Smitinand. (1961). The Orchids of Thailand A-Preliminary list Part III. The Siam society, Bangkok.
- Thaithong, O. (1999). Orchids of Thailand. Office of Environmental Policy and Planning, Bangkok.
- Tippayasri, P., and C. Ngernsaengsaruy . (2012). *Coelogyne phuhinrongklaensis* (Orchidaceae), a new species for Thailand. *Thai For. Bull. (Bot)* (40) : 125-129.

## Diagnostic value of clusterin as a novel biomarker for predicting early progression of knee osteoarthritis

Tachatra Ungsudechachai<sup>1</sup>, Sittisak Honsawek<sup>2</sup>, Jiraphun Jittikoon<sup>1</sup>,  
Wanvisa Udomsinprasert<sup>1</sup>

Master of Science in Pharmacy program (Pharmacology and Biomolecular Science),  
Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Mahidol University

### Abstract

Due to lack of early diagnosis, knee osteoarthritis (OA) patients will develop severe disability toward total knee replacement. Hence, this study aimed to investigate whether plasma and synovial fluid clusterin (CLU) levels are associated with knee OA severity and could serve as a biomarker for disease progression. A total of 50 healthy controls and 50 knee OA patients were recruited. Circulating and synovial fluid CLU levels were examined using enzyme-linked immunosorbent assay. Severity of knee OA was assessed by radiographic grading according to Kellgren-lawrence (KL) classification. Results showed that plasma CLU levels of knee OA patients were significantly lower than that of healthy controls ( $P<0.0001$ ), but were significantly higher than paired synovial fluid samples of knee OA ( $P<0.0001$ ). Furthermore, both plasma and synovial fluid CLU levels were positively associated with KL grading ( $r=0.85$ ,  $P<0.0001$ ;  $r=0.71$ ,  $P<0.0001$ ). Interestingly, there was a significantly direct association between plasma CLU levels and synovial fluid levels ( $r=0.74$ ,  $P<0.0001$ ). Receiver operating characteristic curve showed that CLU could be used as a biomarker for discriminating knee OA patients with early-stage from healthy controls (AUC=0.99, 95% CI=0.97-1.00,  $P<0.001$ ) with high values of sensitivity (90%) and specificity (98%). Collectively, aberrant CLU levels in the circulation and joint fluid would reflect knee OA severity and could emerge as early biomarkers for knee OA development and progression.

**Keywords:** Clusterin, Knee osteoarthritis, Biomarker

### Introduction

Knee Osteoarthritis (OA) is a chronic degenerative disease of the knee joint causing severe pain, movement limitation affecting quality of the life among ageing population worldwide (Loeser et al., 2012, p. 1697-1707; Malfait, 2016, p. 21-26). The increasing prevalence and delay detection of knee OA leads to total knee replacement (TKR), thereby emphasizing the development of early diagnosis for developmental and progressive knee OA. In current diagnosis of knee OA, taking the history of disease along with determinations on symptoms and physical performances are utilized for diagnosis of knee OA, which are confirmed by imaging techniques including radiographic imaging and magnetic resonance imaging being conventional tools for monitoring knee OA progression (Taruc-Uy and Lynch, 2013, p. 821-836, vii). In general, the Kellgren and Lawrence (KL) classification is commonly used to evaluate the severity of knee OA, which is divided into 5 KL grading scales ranging from 0-4 (Parsons et al., 2018, p. 17-25). However, the

---

<sup>1</sup>Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>2</sup>Department of Biochemistry, Osteoarthritis and Musculoskeleton Research Unit, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society, Bangkok 10330, Thailand

symptoms of knee OA obviously appear at advanced-stage of the disease (grade 3-4) that contributes to the late prediction of knee OA severity and eventual TKR. Although the current diagnosis for knee OA is available for advanced-stage of knee OA, it is still limited to knee OA patients with early-stage. Regarding this, the development of effective biomarkers for early detection of knee OA progression would be a great value for improving clinical outcomes of knee OA patients and reducing the requirement of TKR.

Clusterin (CLU) is well-known as a chaperone-like protein that plays a crucial role in stabilization of unfolded proteins. CLU has 2 isoforms including nuclear clusterin (nCLU) residing in the nucleus and secretory clusterin (sCLU) being a predominant isoform and residing in the cytoplasm (Leskov et al., 2003, p. 11590-11600). CLU has been found in several cell types and body fluids, in which its functions including anti-apoptosis and anti-inflammation have been reported to be related to many multifaceted diseases (Leskov et al., 2003, p. 11590-11600). Regardless of its association with arthritis, previous study demonstrated up-regulation of *CLU* mRNA expression in advanced-hip OA cartilage compared to healthy cartilage (Fandridis et al., 2011, p. 745-749). Besides this, a significant reduction in circulating CLU levels in patient with erosive hand OA has been reported (Kropackova et al., 2018, p. 264). Taken together, it seems likely that circulating CLU may have the great potential as a diagnostic value for the development and progression of degenerative articular diseases including knee OA.

Drawing together several lines of evidence, the relationship between CLU mRNA and protein levels and OA severity have been partially investigated. However, there were, to date, no studies of association between CLU levels and knee OA severity. Hence, the propose of this study was to investigate the possible association of CLU levels in the circulation and synovial fluid with knee OA severity classified using KL grading and to determine whether CLU could be used as a biological marker for knee OA.

## **Objectives**

- 1) To investigate the possible association between CLU levels in plasma and synovial fluid and KL grading scores of knee OA.
- 2) To determine whether CLU could be used as a biological marker for knee OA.

## **Research Methodology**

The research protocols performed in accordance with the ethical guidelines of the declaration of Helsinki were approved by the Ethical Committee on Human Research of the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University (IRB No. 533/54) and the Faculty of Dentistry/Faculty of Pharmacy, Mahidol University (IRB No. 2019/074.2511). Written inform consents were obtained by all participants prior to their entering in the study.

### **Study population**

A total of 50 patients who were diagnosed with knee OA in accordance with the American College of Rheumatology criteria and 50 age- and gender-matched healthy controls who had no clinical and radiographic evidence of knee OA were recruited in the current study. Other participants with underlying diseases such as diabetes, chronic liver disease, other arthritis diseases, other inflammatory diseases and medicated history influencing bone, joint metabolism as well as inflammation were excluded from this study. The classification of knee OA severity was performed using KL grading scores, in which KL grade less than 2 was generally defined as early-stage, and KL grade more than 2 were

defined as advanced-stage. In the present study, all knee OA patients had KL grades 2-4 without KL grade 1, and healthy controls exhibited KL grade 0.

#### **Quantification of CLU protein levels**

Blood sample was collected approximately 3-5 mL in a standard tube and then centrifuged at 4,000 rpm for 10 minutes to separate plasma. Synovial fluid was collected approximately 3-5 mL in a standard tube. Plasma and synovial fluid samples will be stored at -80°C for the quantification of CLU concentrations. Plasma and synovial fluid CLU levels were quantified using a commercially available sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit (R&D Systems, Minneapolis, MN, USA), according to the manufacturer's instruction.

#### **Statistical analysis**

The statistical package for social sciences, version 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for statistical analysis. Comparisons in each group (for >2 groups) were assessed by one-way Analysis of Variance (ANOVA) (for parametric data) and Kruskal-Wallis H test (for non-parametric data). Correlations were analyzed using Pearson's correlation coefficient (for parametric data) and Spearman's rho correlation coefficient (for non-parametric data). To evaluate the clinical usefulness of CLU levels as a possible biological marker for knee OA severity, receiver operating characteristic (ROC) curve and the area under the ROC curve (AUC) were constructed. Data are shown as a mean  $\pm$  standard error of mean (SEM). Statistically significant value in this study was set at  $P < 0.05$ .

## **Results and conclusions**

### **Results**

Comparisons in plasma and synovial fluid CLU levels between healthy controls and knee OA patients are shown in Figure 1A. Plasma CLU levels of knee OA patients ( $268.07 \pm 9.92$   $\mu\text{g/mL}$ ) were significantly lower than that of healthy controls ( $358.68 \pm 7.61$   $\mu\text{g/mL}$ ) ( $P < 0.0001$ ), whereas its plasma levels were significantly higher than that of synovial fluid samples of knee OA patients ( $194.78 \pm 9.07$   $\mu\text{g/mL}$ ) ( $P < 0.001$ ). When severity of knee OA according to KL grading scores was considered, plasma CLU levels were significantly elevated in knee OA patient with KL grade 3 ( $259.55 \pm 5.43$   $\mu\text{g/mL}$ ) and KL grade 4 ( $354.06 \pm 5.44$   $\mu\text{g/mL}$ ), compared with those with KL grade 2 ( $209.96 \pm 11.39$   $\mu\text{g/mL}$ ) ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.0001$ , respectively) (Figure 1B). Furthermore, synovial fluid CLU levels of knee OA patients with KL grade 2 ( $151.52 \pm 6.81$   $\mu\text{g/mL}$ ) were significantly lower than that of those with KL grade 3 ( $184.20 \pm 11.66$   $\mu\text{g/mL}$ ) and 4 ( $263.04 \pm 14.83$   $\mu\text{g/mL}$ ), respectively ( $P = 0.0361$ ,  $P < 0.0001$ , respectively) (Figure 1C). To evaluate the association between CLU levels knee OA severity, statistical correlation analysis was performed. As depicted in Figure 2A and 2B, plasma and synovial fluid CLU levels of knee OA patients were found to be positively associated with KL grading scores ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.0001$ ;  $r = 0.71$ ,  $P < 0.0001$ , respectively). For further evaluation, plasma CLU levels were positively correlated with synovial CLU levels ( $r = 0.74$ ,  $P < 0.0001$ ) (Figure 2C).

Because of no effective biomarkers for early-stage of knee OA, the ROC curve analysis was performed to assess the feasibility of CLU as an early-biomarker for knee OA severity. The analysis revealed that plasma CLU levels allow discriminating early-stage knee OA (KL grade 2) from healthy controls. The AUC of this results was 0.99 (95%CI: 0.97-1.00;  $P < 0.001$ ), and cutoff value of plasma CLU was defined as 276.44  $\mu\text{g/mL}$ . The sensitivity and specificity of plasma CLU for separating early knee OA from healthy controls were 90% and 98%, respectively (Figure 3A). In addition to this, the notable findings uncovered that plasma and synovial fluid CLU levels could probably be used as

biological markers for distinguishing knee OA patients with early-stage (KL grade 2) from those with advanced-stage (KL grade 3-4). As shown in Figure 3B, the ROC curve analysis demonstrated that cutoff value of plasma CLU was 238.57  $\mu\text{g/mL}$ , with a sensitivity of 94%, a specificity of 70%, and an AUC of 0.91 (95%CI: 0.84-0.99;  $P<0.0001$ ). For synovial fluid CLU levels, the AUC was identified as 0.77 (95%CI: 0.64-0.89;  $P<0.001$ ), and specificity as well as sensitivity for differentiating early-stage knee OA from those with advanced-stage were 80% and 75%, yielding the cutoff value at 185.57  $\mu\text{g/mL}$  (Figure 3C).

### **Conclusions**

This is the first study to demonstrate significant alterations in plasma and synovial fluid CLU levels in knee OA patients. In addition, plasma and synovial fluid CLU levels were found to be directly correlated with knee OA severity classified by KL grading scores. Moreover, plasma CLU levels were found to be related to synovial fluid CLU levels. Interestingly, ROC curve analysis revealed that plasma CLU levels were potentially used as biomarker for detecting early-stage of knee OA, with high values of AUC, specificity and sensitivity. Further studies are affirmed to investigate the exact role of CLU underlying knee OA pathogenesis, which would provide novel insights into potentially valuable data for validation of CLU as a clinical biomarker for knee OA progression and a novel therapeutic target for improving clinical outcome of knee OA patients.

### **Discussion**

Due to the delay detection of knee OA, most knee OA patients develop severe symptoms including severe pain toward disability and eventually undergo TKR. As a result, the present study places an importance on the search and development of early detection of knee OA, which may be useful for improving the clinical outcome of knee OA patients and lessening the requirement of TKR. Our results showed that plasma CLU levels of healthy controls were significantly greater than that of knee OA patients, while plasma CLU levels significantly were higher than paired synovial fluid samples of knee OA patients (Figure 1). Based on the CLU biology, CLU was normally synthesized from several cell types and tissues, whereas damaged tissues such as articular degeneration known to influence pathogenesis of knee OA may result in a reduction in CLU production in knee OA patients. This could be the possible explanation for significantly higher plasma CLU levels in healthy controls than that in knee OA patients. Given that CLU is widely found in the body fluids, plasma CLU levels of knee OA patients were greater than synovial fluid CLU levels of knee OA patients. With this explanation, despite increased synovial fluid CLU levels of knee OA patients with advanced-stage, synovial fluid CLU levels of those were still lower than plasma CLU levels of those with advanced-stage. In accordance with our findings, previous study reported that serum CLU levels in erosive hand OA patients were decreased when compared with that in healthy controls (Kropackova et al., 2018, p. 264). Furthermore, an increase in circulating and synovial fluid CLU levels in hip OA patient with advanced-stage has been observed (Fandridis et al., 2011, p. 745-749). In the same manner as this previous finding, our further results illustrated increases in plasma and synovial fluid CLU levels in knee OA patients with advanced-stage. Furthermore, plasma CLU levels of knee OA patients with KL grade 4 were seem to be similar to those of healthy controls. This may be due to a compensatory response for joint degeneration, resulting in increased production of CLU from the damaged tissue-specific cells into the circulation. More precisely, plasma and synovial fluid CLU levels were both associated with radiographic severity of knee OA. Interestingly, a positive correlation between plasma CLU levels and its synovial fluid levels was found in knee OA patients. Our findings may help

explain that CLU may be overproduced to help protect joint degradation and inflammation. To support this hypothesis, previous evidence unveiled an association of CLU levels with alterations in joint space width in OA patients (Ritter et al., 2014, p. 456). However, Fukuda et al. (2012, p. 36) reported no association of circulating CLU levels and the altered ratio of knee joint space width. For the direct correlation between plasma CLU levels and its synovial fluid levels in knee OA patients, this finding suggests that alterations in plasma CLU levels may reflect its levels in the local joint sites. In an attempt to investigate a novel biomarker for knee OA, a previous study by Fernández-Puente et al. (2019, p. 2018-2028) displayed the feasible use of CLU protein as a biomarker, which yielded a high AUC analyzed by ROC curve. The prior finding supports our results showing the high values of AUC, specificity and sensitivity of plasma and synovial fluid CLU as novel-biomarkers for knee OA severity, suggesting that CLU may emerge as a potentially novel biomarker for knee OA progression. In regard to the expectation that plasma CLU levels may reflect synovial fluid CLU levels, plasma CLU may be used as a non-invasive biomarker for predicting its levels in the joint and eventual progression of the disease.

Despite our substantial findings, this study had some inherent limitations, which need to be taken into consideration. These caveats are the facts that this study consisted of a small sample size of study participants and was cross-sectional in design, in which we were unable to determine the cause-and-effect associations. In addition, we were not able to collect plasma and synovial fluid samples from knee OA patients with KL grade 1. Moreover, synovial fluid samples were not obtained from healthy participants, resulting in that a direct comparison in CLU synovial fluid levels between knee OA patients and healthy controls was unachievable. Additionally, a large sample size of study participants needs to be further studied in order to identify the exact CLU value in plasma and synovial fluid for more clarification and explication of its clinical usefulness for monitoring knee OA severity.

### **Recommendations**

1) This study was performed with small sample sizes, therefore, the validation or warrant of alterations in CLU levels as biomarkers for knee OA in larger sample size need to be conducted.

2) The ROC curve analysis was performed in this study to evaluate whether CLU can be effectively used as a biomarker for knee OA, however, further methods to determine whether it has a potential biomarker will help to confirm the findings of this study.

3) Further studies of the exact molecular role of CLU in knee OA pathogenesis may provide novel insights into a therapeutic target for knee OA.

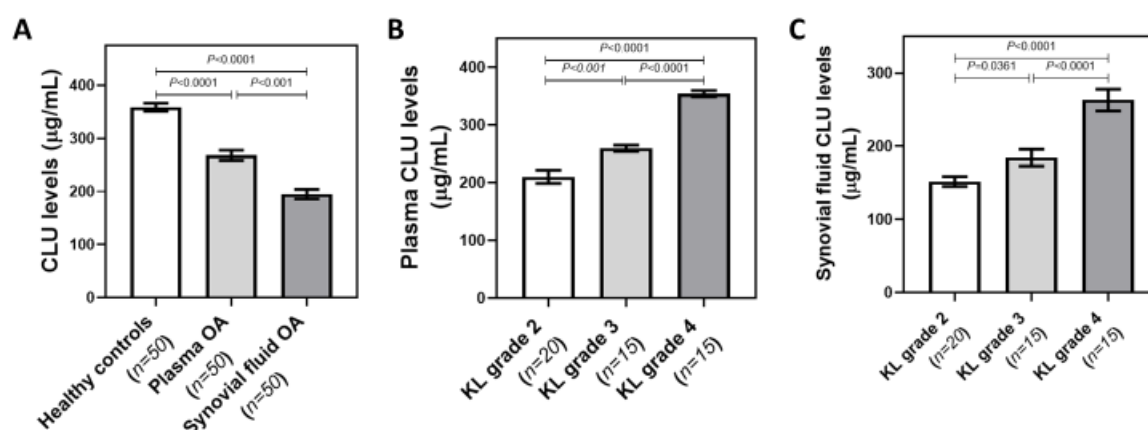
### **References**

- Fandridis, E., Apergis, G., Korres, D. S., Nikolopoulos, K., Zoubos, A. B., Papassideri, I., . . . Trougakos, I. P. (2011). Increased expression levels of apolipoprotein J/clusterin during primary osteoarthritis. *In Vivo*, 25(5), 745-749.
- Fernández-Puente, P., González-Rodríguez, L., Calamia, V., Picchi, F., Lourido, L., Camacho-Encina, M., . . . Ruiz-Romero, C. (2019). Analysis of endogenous peptides released from osteoarthritic cartilage unravels novel pathogenic markers. *Molecular and Cellular Proteomics*, 18(10), 2018-2028. doi:10.1074/mcp.RA119.001554

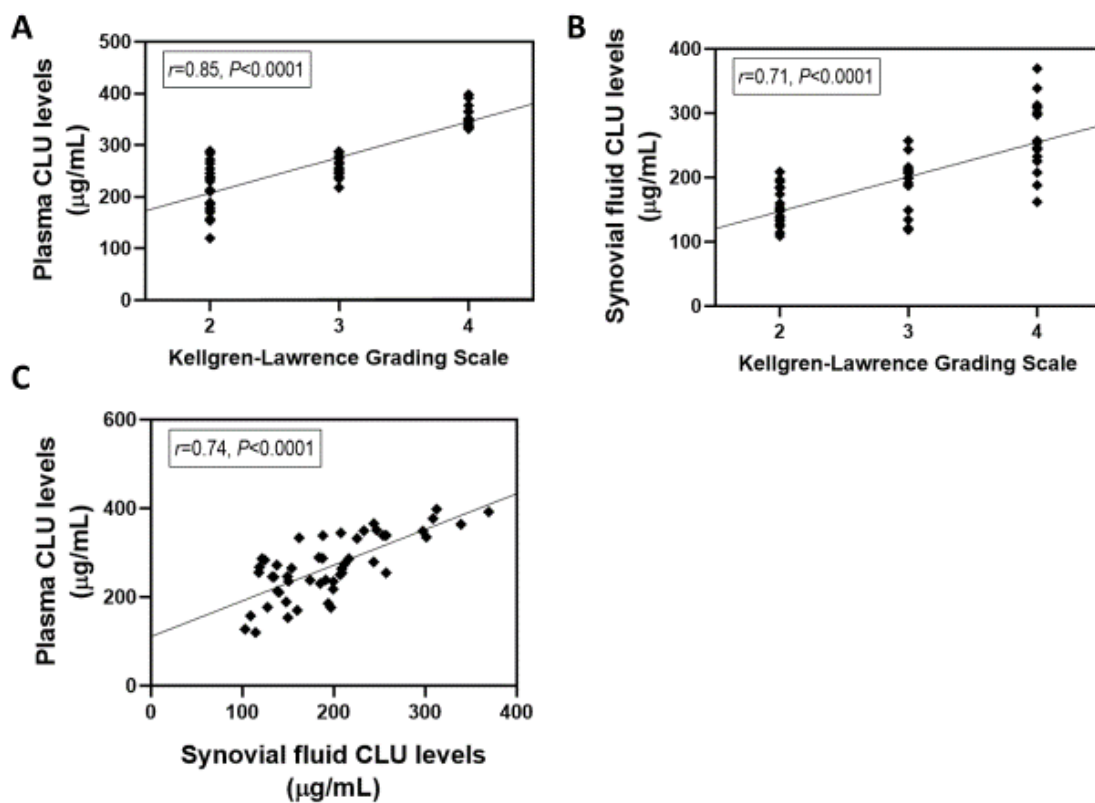


- Fukuda, I., Ishihara, T., Ohmachi, S., Sakikawa, I., Morita, A., Ikeda, M., . . . Fukui, N. (2012). Potential plasma biomarkers for progression of knee osteoarthritis using glycoproteomic analysis coupled with a 2D-LC-MALDI system. *Proteome Science*, *10*(1), 36. doi:10.1186/1477-5956-10-36
- Kropackova, T., Sleglova, O., Ruzickova, O., Vencovsky, J., Pavelka, K., . . . Senolt, L. (2018). Lower serum clusterin levels in patients with erosive hand osteoarthritis are associated with more pain. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *19*(1), 264. doi:10.1186/s12891-018-2179-3
- Leskov, K. S., Klokov, D. Y., Li, J., Kinsella, T. J., & Boothman, D. A. (2003). Synthesis and functional analyses of nuclear clusterin, a cell death protein. *The Journal of Biological Chemistry*, *278*(13), 11590-11600. doi:10.1074/jbc.M209233200
- Loeser, R. F., Goldring, S. R., Scanzello, C. R., & Goldring, M. B. (2012). Osteoarthritis: a disease of the joint as an organ. *Arthritis and Rheumatism*, *64*(6), 1697-1707. doi:10.1002/art.34453
- Malfait, A. M. (2016). Osteoarthritis year in review 2015: biology. *Osteoarthritis Cartilage*, *24*(1), 21-26.
- Parsons, C., Fuggle, N. R., Edwards, M. H., Goulston, L., Litwic, A. E., Jagannath, D., . . . The, E. R. G. (2018). Concordance between clinical and radiographic evaluations of knee osteoarthritis. *Aging Clinical and Experimental Research*, *30*(1), 17-25. doi:10.1007/s40520-017-0847-z
- Ritter, S. Y., Collins, J., Krastins, B., Sarracino, D., Lopez, M., Losina, E., . . . Aliprantis, A. O. (2014). Mass spectrometry assays of plasma biomarkers to predict radiographic progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Research and Therapy*, *16*(5), 456. doi:10.1186/s13075-014-0456-6
- Taruc-Uy, R. L., & Lynch, S. A. (2013). Diagnosis and treatment of osteoarthritis. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, *40*(4), 821-836, vii. doi:10.1016/j.pop.2013.08.003

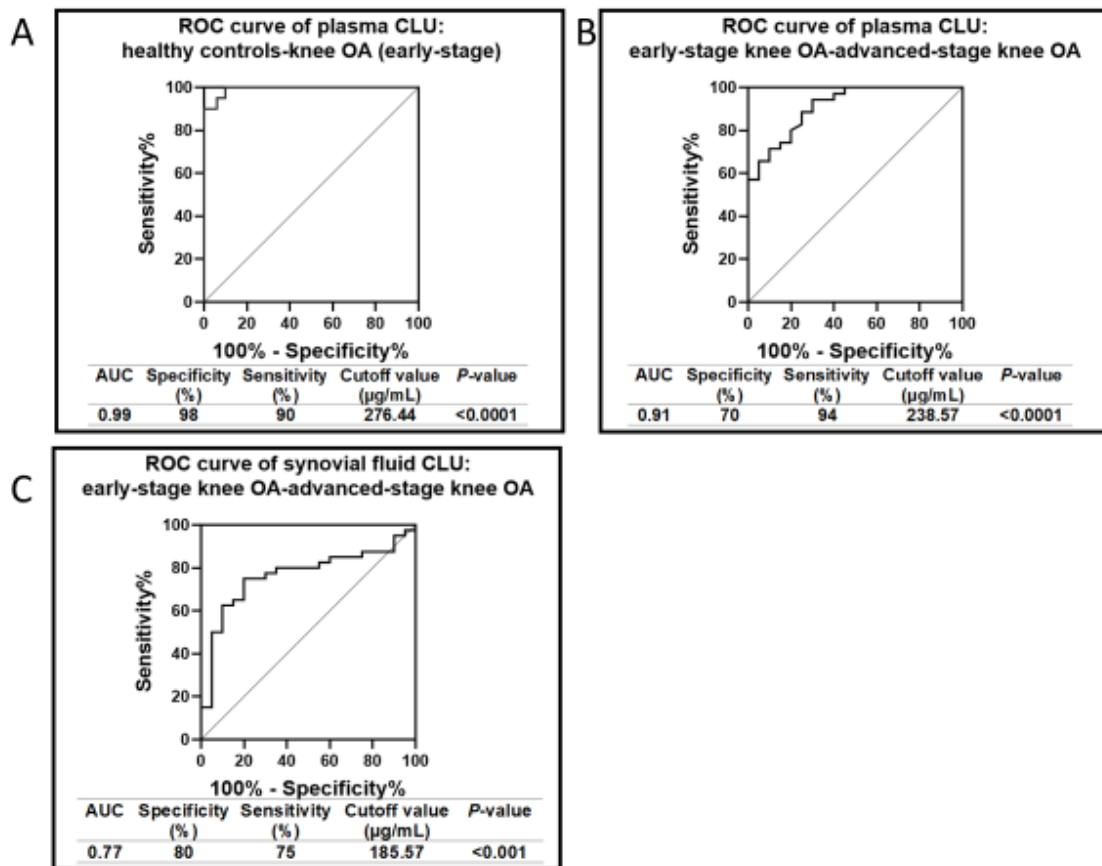
## Appendixes



**Figure 1. Comparisons in plasma and synovial fluid CLU levels between healthy controls and knee OA with different KL grades.** (A) Plasma CLU levels in healthy controls and knee OA patients. (B) Plasma CLU levels among knee OA subgroups according to radiographic severity. (C) Synovial fluid CLU levels among knee OA subgroups according to radiographic severity.



**Figure 2. Correlations of plasma and synovial CLU levels with radiographic severity of knee OA.** (A) Positive association of plasma CLU levels with KL grading scores. (B) Positive association of synovial CLU levels with KL grading scores. (C) Direct association between plasma CLU levels and its synovial fluid levels.



**Figure 3. Receiver operating characteristic (ROC) curve analyses of plasma and synovial fluid CLU levels as biomarkers for knee OA severity.** (A) Plasma CLU as a biomarker for differentiating early-stage of knee OA from healthy subjects. (B) Plasma CLU as a biomarker for distinguishing knee OA patient with early-stage from those with advanced-stage. (C) Synovial fluid CLU as a biomarker for discriminating knee OA patient with early-stage from those with advanced-stage.

## การสังเคราะห์สารประกอบไตรแอริลมีเทนชนิดไม่สมมาตรอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ของเหลวไอออนิกชนิดกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Efficient synthesis of unsymmetrical triarylmethane using Brønsted acidic ionic liquids as catalysts

นิภาพร พลเอก<sup>1</sup> และ อุทัยวรรณ ศิริอ่อน<sup>1,2</sup>

Nipaphorn Ponpao<sup>1</sup> and Uthaiwan Sirion<sup>1,2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบไตรแอริลมีเทนชนิดไม่สมมาตร ผ่านปฏิกิริยาเอซา-ฟรีเดิล-คราฟ (aza-Friedel-Crafts reaction) โดยใช้ของเหลวไอออนิกชนิดกรดเบรินสเต็ดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Brønsted acidic ionic liquid) กระบวนการสังเคราะห์ประกอบด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมสารตัวกลาง (3) ผ่านปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้น 4-nitrobenzaldehyde (1) และ aniline (2) เร่งปฏิกิริยาด้วย [mim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่ปราศจากตัวทำละลาย ได้ผลิตภัณฑ์ในร้อยละของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 48 จากนั้นในขั้นตอนที่สอง นำสารตัวกลาง (3) มาทำปฏิกิริยากับ indole (4) ศึกษาการทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวทำละลาย อุณหภูมิและเวลา เพื่อให้ได้ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูงที่สุด และจากผลการศึกษาพบว่าในสภาวะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ปริมาณ 2.5 มิลลิเปอร์เซ็นต์ ในตัวทำละลายน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูงที่สุดเท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** ไตรแอริลมีเทนชนิดไม่สมมาตร, ปฏิกิริยาเอซา-ฟรีเดิล-คราฟ, ของเหลวไอออนิกชนิดกรดเบรินสเต็ด

<sup>1</sup> ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand.

<sup>2</sup> หน่วยวิจัยสารสังเคราะห์และอนุพันธ์สังเคราะห์จากสารธรรมชาติเพื่อการค้นคว้า ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131 ประเทศไทย

The Research Unit in Synthetic Compounds and Synthetic Analogues from Natural Product for Drug Discovery (RSND), Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand.

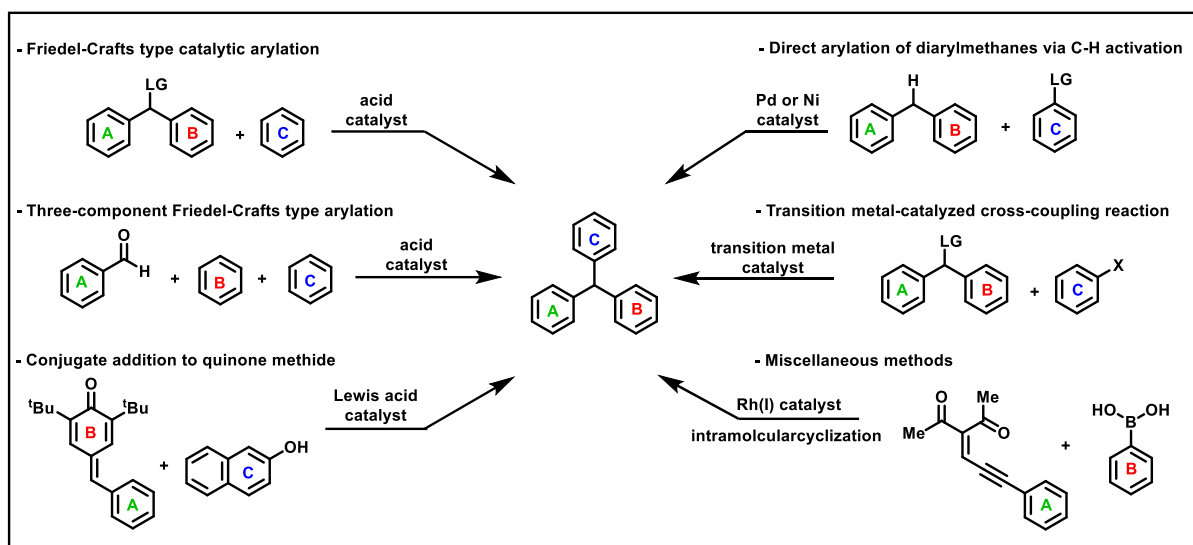
## Abstract

This work was developed a novel methodology for the synthesis of unsymmetrical triarylmethanes through *aza*-Friedel–Crafts reaction in the presence of Brønsted acidic ionic liquids (BALLs) as catalysts. The synthesis consists of two steps, in the first step, intermediate (3) was prepared from the reaction of 4-nitrobenzaldehyde (1) and aniline (2) using [mim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] as a catalyst under solvent-free condition at 60°C for 6 h to afford the product (3) in a moderated yield (48%). Then intermediate (3) was employed as the starting material to react with indole (4) in various conditions by varying ratios of substrates, catalysts, solvents, temperature and time. The results showed that 2.5 mol% of [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] was found to be the most efficient catalyst for this protocol to produce the highest yield of the desirable products (5) in 98% isolated yield under water media at 100°C for 6 h.

**Keyword:** unsymmetrical triarylmethanes, *aza*-Friedel–Crafts reaction, Brønsted acidic ionic liquid.

## Introduction

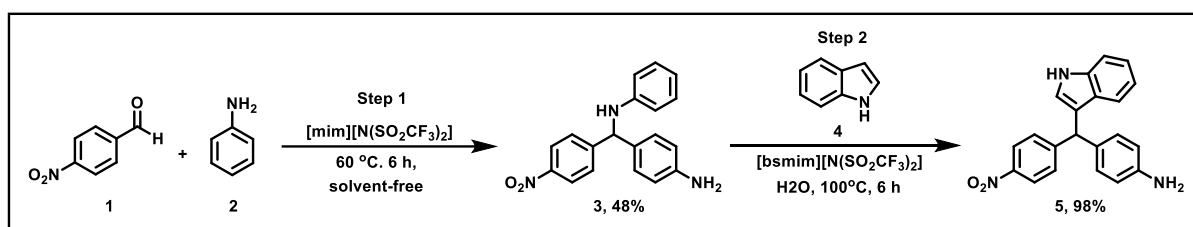
The unsymmetrical triarylmethanes are well-known in the pharmaceutical and colorant industry. Moreover, a numerous of these compounds have been perceived in the evolution of functional organic materials (Shchepinov, 2003). Due to their advantages, a lot of previous reports have been developed for the more efficient strategies with simple routes, rapidly and mild conditions through various reactions such as Friedel–Crafts type catalytic arylation (Ruengsangtongkul, 2016), direct arylation of diarylmethanes *via* C–H activation (Zhang, 2012), three-component Friedel–Crafts type arylation (Bosica, 2015), transition metal-catalyzed cross-coupling reaction (Podder, 2007), conjugate addition to quinone methide and miscellaneous methods (Leu, 2015) (Scheme 1).



Scheme 1. The different synthetic approaches for the synthesis of unsymmetrical triarylmethane

The previous reports were studied for the synthesis of triarylmethanes with a wide range of catalytic system including Brönsted and Lewis acids (Hekmatshoar, 2013). Although most of these catalysts gave the high yields of the desired products, some have serious drawbacks such as unstable, difficult to use and expensive. Therefore, some attempts have been investigated for the novel efficient catalyst and process.

Brönsted acidic ionic liquids (BAILs) are ionic liquids modified by connecting a Brönsted acid group into molecules to enable defined as an ionic liquid substance that can donate a proton. BAILs have been utilized in many research fields. Particularly, they are presented as acid-catalysts with good catalytic activities in important organic reactions because they are non-toxic, environment-friendly, stable, inexpensive and reusable (Vafaezadeh, 2016). Herein, we reported the best route for utilizing BAILs as efficient catalysts for the synthesis of unsymmetrical triarylmethanes through *aza*-Friedel-Crafts reaction under water media and metal-free conditions (Scheme 2).



Scheme 2. The synthetic method for the synthesis of unsymmetrical triarylmethanes

## Objectives

การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

1. To develop the novel synthetic method for the synthesis of unsymmetrical triarylmethane by using Brönsted acidic ionic liquids (BAILs) as catalysts under mild condition.

2. To study the effect of various factors for the optimization of the reaction, affording the high yields of unsymmetrical triarylmethane.

## Materials and Methods

All chemicals were purchased from commercial sources and used without further purification. Column chromatography was carried out using open-column chromatography utilized silica gel 60-7734 and eluting with EtOAc/n-hexane. Thin layer chromatography (TLC) was performed with Merck silica gel 60 PF254 aluminum plate. Proton NMR spectra were recorded on a BRUKER AVANCE (400 MHz). All spectra were measured in  $\text{CDCl}_3$  solvent, and chemical shifts were reported as  $\delta$  values in parts per million (ppm) relative to tetramethyl silane ( $\delta$  0.00) or chloroform ( $\delta$  7.26).

The synthesis of [mim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (I); a solution of 1-methylimidazole (0.5 mL, 6.2 mmol) in toluene (10 mL) was added bis-(trifluoromethanesulfonyl)imide (1.07 g, 6.2 mmol). The reaction mixture was stirred at 80°C for 24 h and then cooled to room temperature. Toluene was removed by rotary evaporator and dried under reduced pressure to obtain the [mim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (I) in 100.3% (6.7 g).

The synthesis of [bsmim][X] (II), (III) and (IV); a solution of 1-methylimidazole (5.0 mL, 62 mmol) in acetonitrile (MeCN) (25 mL) was added 1,4-butanedisulfone (7 mL, 68 mmol) at room temperature. The reaction was heated to 80°C for 24 h, and then cooled to room temperature resulting in white solid. The white solid was filtered to obtain a zwitterion compound in quantitative yield. Then the solution of the zwitterion compound (1.0 g, 4.6 mmol) in anhydrous toluene (3 mL) was added a stoichiometric amount (1.00 eq.) of acids, which were bis-(trifluoromethanesulfonyl)imide, trifluoromethanesulfonic acid or *p*-toluenesulfonic acid in portions at room temperature. The reaction mixture was then heated at 80°C for 24 h and then cooled to room temperature. Toluene was removed by rotary evaporator and dried under reduced pressure to obtain the [bsmim][X] (II), (III) and (IV) in 106% (2.46 g), 94% (0.08 g) and 98% (0.09 g), respectively.

The synthesis of [bsdodecim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (V); a solution of imidazole (2.7 g, 40.1 mmol) was treated with 1-bromododecane (9.62 mL, 40.1 mmol) in the presence of potassium carbonate (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) in acetonitrile (MeCN) (20 mL) at room temperature for 24 h, resulting 1-dodecyl-1*H*-imidazole in 30% (40 g). Then, 1-dodecyl-1*H*-imidazole (1.5 g, 6.4 mmol) was dissolved in acetonitrile (MeCN) (10 mL) and added 1,4-butanedisulfone (0.7 mL, 7.0 mmol) at room temperature. The reaction was heated to 80°C for 24 h, and then cooled to room temperature resulting in white solid. The white solid was filtered to obtain a zwitterion compound in quantitative yield. Then a mixture of the zwitterion compound (1.5 g, 4 mmol) in anhydrous toluene (10 mL) was added a

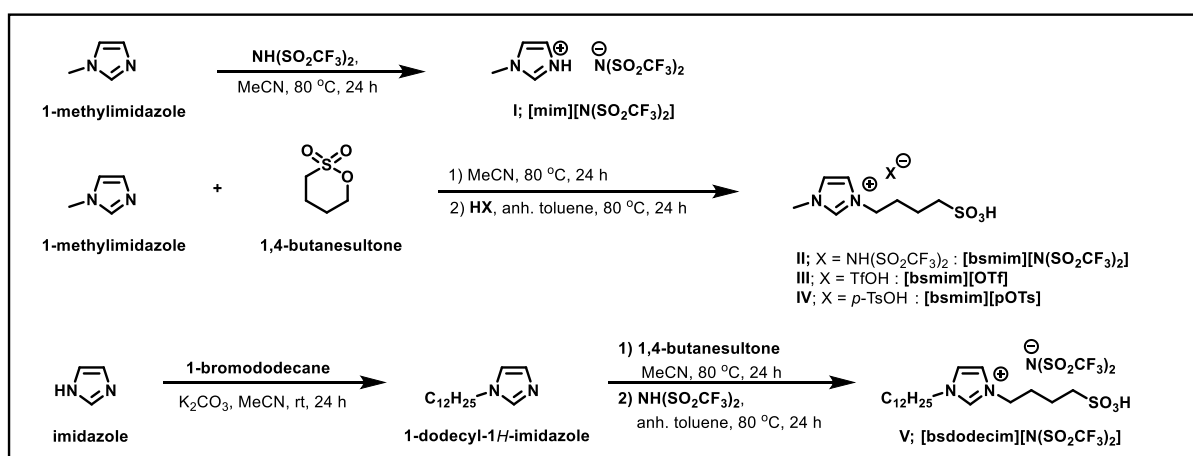
stoichiometric amount (1.00 eq.) of bis-(trifluoromethanesulfonyl) imide (1.0 eq.). The reaction mixture was then heated at 80°C for 24 h and then cooled to room temperature. Toluene was removed by rotary evaporator and dried under reduced pressure to obtain the [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (V) in >99% (2.58 g).

The synthesis of intermediate (3); mixing [mim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (63.2 mg, 0.20 mmol), 4-nitrobenzaldehydes (1) (0.50 g, 3.3 mmol) and aniline (2) (1.5 mL, 16.5 mmol) at 60 °C with magnetic stirring for 6 h. After the completion of the reaction (observed by TLC), the mixture was neutralized with saturated aqueous sodium hydrogen carbonate and extracted with ethyl acetate (10×3 mL). The combined organic layer was dried over sodium sulfate anhydrous, concentrated to dryness, and the crude residue was purified on silica gel column chromatography (20% ethyl acetate/n-hexane) to give the desired intermediate (3) in 48 % yield (0.5058 g).

The synthesis of unsymmetrical triarylmethane (5); a solution of [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] 2.5 mol% (6.24 mg, 0.0125 mmol) in water media (1.0 mL) was added intermediate (3) (160 mg, 0.5 mmol) and indole (4) (117 mg, 1.0 mmol), respectively. The reaction mixture was stirred at 100 °C for 6 h. After the completion (observed by TLC), the mixture was neutralized with saturated aqueous sodium hydrogen carbonate and extracted with ethyl acetate (10×3 mL). The combined organic layer was dried by rotary evaporator, and the crude residue was purified on silica gel column chromatography (30% ethyl acetate/n-hexane) to give the desired products (5).

## Results and Discussion

The preparation of a series of Brønsted acidic ionic liquids was employed the method according to previous report (Senapak, 2016) (Scheme 3) and utilized as catalysts for the synthesis of unsymmetrical triarylmethane *via* aza-Friedel–Crafts reaction.





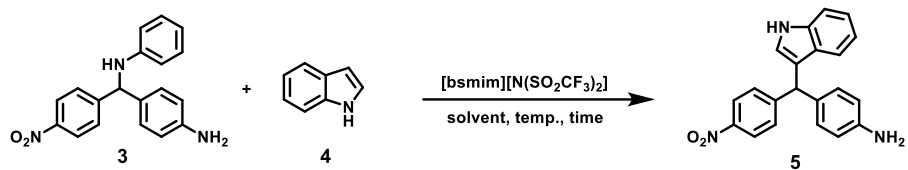
### Scheme 3. Preparation of Brønsted acidic ionic liquids catalysts

Initially, *N*-((4-aminophenyl)(4-nitrophenyl)methyl)aniline (**3**) was synthesized from the reaction of 4-nitrobenzaldehyde (**1**) and aniline (**2**) using 20 mol% of catalyst I under solvent-free condition at 60 °C for 6 h to obtain the maximum yield of compound (**3**) in 48% (as shown in Scheme 2 step 1). Then, compound (**3**) was employed as a starting material for the efficient synthesis of unsymmetrical triarylmethanes.

The reaction of intermediate (**3**) and indole (**4**) was investigated with various conditions and the results were summarized in Table 1. To study the optimized condition, a ratio of substrates was first examined in the presence of 10 mol% of catalyst II in toluene at 100 °C for 6 h (entries 1-3). The highest yield of the desired product (**5**) was found with 1:1.5 ratio of intermediate (**3**) and indole (**4**) (86%, entry 2). Subsequently, other solvents such as 1,4-dioxane and water were screened under the same condition and found that 1,4-dioxane gave the lower yield (79%, entry 4), while the similar yield as with toluene was observed under water media (84%, entry 5). However, water was considered as the best solvent for this protocol.

To improve the yield of the desired product (**5**) with water solvent, an amount of indole (**4**) was slightly increased to afford the higher yield of the product (**5**) in 94% (entry 6). In addition, the effectiveness of catalyst II was examined in decreasing amounts (5 and 2.5 mol%), resulting the yield remained unchanged in 92 and 93% (entries 7 and 8, respectively). Whereas, lower yield was observed when the reaction was carried out at lower temperature (80 °C) (entry 9). This is due to incomplete reaction, remaining starting material (**3**) that monitored by TLC. Moreover, the high yield of the product (**5**) was achieved even in the shorter reaction time about 90% for 1.5-3 h (entries 10-12). Surprisingly, the reaction without neutralization step could produce the product (**5**) in highest yield (98%, entry 8) and (95%, entry 10). According to the procedure, after completion of the reaction, the reaction mixture was extracted with ethyl acetate (10×3 mL). The combined organic layer was dried by rotary evaporator, and the crude residue was directly purified by column chromatography. This process could make the method to be easily production in industrial scale.

Table 1. Optimization of the reaction with various conditions<sup>a</sup>



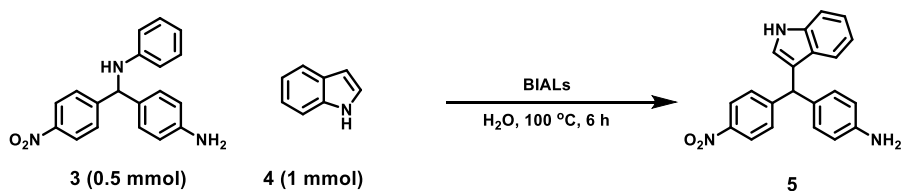
entry	mmol		solvent	catalyst (mol%)	temp. (°C)	time (h)	yield <sup>b</sup> (%)
	3	4					
1	0.5	0.5	Toluene	10	100	6	70
2	0.5	0.75	Toluene	10	100	6	86
3	0.5	1.0	Toluene	10	100	6	81
4	0.5	0.75	1,4-dioxane	10	100	6	79
5	0.5	0.75	H <sub>2</sub> O	10	100	6	84
6	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	10	100	6	94
7	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	5	100	6	92
8	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	2.5	100	6	93, 98 <sup>c</sup>
9	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	2.5	80	6	79
10	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	2.5	100	3	90, 95 <sup>c</sup>
11	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	2.5	100	2	91
12	0.5	1.0	H <sub>2</sub> O	2.5	100	1.5	91

<sup>a</sup>All reactions were conducted with compound 3 (0.5 mmol), indole (4, 0.5-1.0 mmol), [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (2.5-10 mol%) in solvent (1.0 mL) at 80-100°C for 1.5-6.0 h, <sup>b</sup>Isolated yield. <sup>c</sup>Not neutralized with sat.aq. NaHCO<sub>3</sub>

To confirm the efficiency of catalyst II, other catalysts including catalysts III, IV, V, HN(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, DBSA, cyanuric chloride, FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, and iodine were studied for comparison using the optimized condition (Table 1, entry 8). The results were shown in Table 2. The Brønsted acidic ionic liquids with different anions (catalysts III and IV) produced the desired product (5) in lower yields (entries 2 and 3). Catalyst V, which contains N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub> anion and long alkyl-chain, gave the similar high yield (92%, entry 4). This disclosed that the activity of catalyst depends on the counter-anion, and the N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub> anion showed the best catalytic activity for this protocol. Moreover HN(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and DBSA were examined and gave the desired product (5) in the same yield with 95% and 96% (entries 5 and 6, respectively). However, these catalysts are not reusable, hard to handle and are considered to be environmental toxicants. Surprisingly, catalyst II was exhibited more efficient than

FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, and iodine (entries 8 and 9). In addition, the reaction with no catalyst was also performed and found that a trace amount of product (5) was observed only 7% (entry 10).

Table 2. Effect of various catalysts<sup>a</sup>



entry	catalyst (mol%)	yield <sup>b</sup> (%)
1	II	98
2	III	59
3	IV	36
4	V	92
5	HN(SO <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	95
6	DBSA	96
7	Cyanuric Chloride	44
8	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	67
9	Iodine	86
10	none	7

<sup>a</sup>All reactions were conducted with compound 3 (0.5 mmol), indole (4, 1.0 mmol), [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] (2.5 mol%) in water (1.0 mL) at 100°C for 6.0 h, <sup>b</sup>Isolated yield.

## Conclusion

In summary, we have demonstrated a novel and facile methodology for the synthesis of unsymmetrical triarylmethane through *aza*-Friedel-Crafts-type reaction using Brønsted acidic ionic liquids (BAILs) as the catalysts in water media under metal-free conditions. BAILs, named [bsmim][N(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], was the most efficient catalyst to afford the corresponding product (5) in an excellent yield (98%).

## Reference

- Bosica, G., & Abdilla, R. (2017). A regioselective one-pot aza-Friedel–Crafts reaction for primary, secondary and tertiary anilines using a heterogeneous catalyst. *Green Chemistry*, 19(23), 5683-5690.
- Hekmatshoar, R., Mousavizadeh, F., & Rahnamafar, R. (2013). Lewis acidic (choline chloride. 3ZnCl<sub>2</sub>) ionic liquid: A green and recyclable catalyst for the one-pot synthesis of 4-((3-indolyl) (aryl) methyl)-N,N-dimethylanilines under solventfree conditions. *Journal of Chemical Sciences*, 125(5), 1009-1013.
- Lou, Y., Cao, P., Jia, T., Zhang, Y., Wang, M., & Liao, J. (2015). Copper-catalyzed enantioselective 1,6-boration of para-quinone methides and efficient transformation of gem-diarylmethine boronates to triarylmethanes. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(41), 12134-12138.
- Podder, S., Choudhury, J., Roy, U. K., & Roy, S. (2007). Dual-reagent catalysis within Ir-Sn domain: highly selective alkylation of arenes and heteroarenes with aromatic aldehydes. *The Journal of Organic Chemistry*, 72(8), 3100-3103.
- Ruengsangtongkul, S., Taprasert, P., Sirion, U., & Jaratjaroonphong, J. (2016). Facile synthesis of nonsymmetrical heteroaryl-substituted triarylmethanes via the FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O catalyzed two-step Friedel–Crafts-type reaction. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 14(36), 8493-8502.
- Senapak, W., Saeeng, R., Jaratjaroonphong, J., Kasemsuk, T., & Sirion, U. (2016). Green synthesis of dipyrroles in aqueous media catalyst by SO<sub>3</sub>H-functionalized ionic liquid. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 14, 1302-1310.
- Senapak, W., Saeeng, R., Jaratjaroonphong, J., & Sirion, U. (2018). Brønsted acid-surfactant-combined ionic liquid catalyzed green synthesis of 2-alkyl and 2-arylbenzothiazoles in water: Reusable catalyst and metal-free conditions. *Molecular Catalysis*, 458, 97-105.
- Senapak, W., Saeeng, R., Jaratjaroonphong, J., Promarak, V., & Sirion, U. (2019). Metal-free selective synthesis of 2-substituted benzimidazoles catalyzed by Brønsted acidic ionic liquid: Convenient access to one-pot synthesis of N-alkylated 1,2-disubstituted benzimidazoles. *Tetrahedron*, 75, 3543-3552.
- Vafaezadeh, M., & Alinezhad, H. (2016). Brønsted acidic ionic liquids: Green catalysts for essential organic reactions. *Journal of Molecular Liquids*, 218, 95-105.
- Zhang, J., Bellomo, A., Creamer, A. D., Dreher, S. D., & Walsh, P. J. (2012). Palladium-catalyzed C(sp<sup>3</sup>)–H Arylation of diarylmethanes at Room Temperature: Synthesis of Triarylmethanes via Deprotonative-Cross-Coupling Processes. *Journal of the American Chemical Society*, 134(33), 13765–13772.

# **Title: Association Between *NAT2* Polymorphisms And Drug-induced Liver Injuries in Tuberculosis Treatment: A Systematic Review And Meta-Analysis**

**Author:** Khanh Ngoc Cong Duong<sup>1</sup>, Mac Ardy Junio Gloria<sup>1</sup>, Sasivimol Rattanasiri<sup>4</sup>, Usa Chaikledkaew<sup>1,2</sup>, Jiraphun Jittikoon<sup>3</sup>, Ammarin Thakkinstantian<sup>1,4</sup>

**Program:** Health Technology Assessment Program

**Institute:** Mahidol University

## **Abstract**

Evidence on association between N-acetyl-transferase-2 (*NAT2*) polymorphisms and anti-tuberculosis drug-induced liver injuries (DILI) had been controversial. Therefore, we conducted this meta-analysis to pool effects of *NAT2* polymorphisms on DILI in tuberculosis treatment.

Eligible studies were identified from Medline and Scopus from August 2019 backwards. Minor allele frequencies (MAF) with 95% confidence interval (CI) were estimated for each ethnicity. Allele effect was assessed using random-effects model if heterogeneity was present, otherwise fixed-effect model was applied. Heterogeneity was assessed using Q-test and  $I^2$ . Publication bias was assessed using funnel plots and Egger's test.

A total of 38 out of 3,278 studies were eligible. Among Asians, MAF (95%CI) of rs1799930, rs1799931, rs1799929, and rs1495741 were 0.22 (0.18, 0.26), 0.14 (0.11, 0.16), 0.16 (0.09, 0.22), and 0.48 (0.40, 0.57), respectively. These were significantly associated between these SNPs and DILI with ORs (95%CI) of 1.44 (1.01, 2.04), 1.47 (1.23, 1.77), 1.31 (1.02, 1.68), and 2.62 (1.39, 4.94), respectively. In conclusion, there was a significant association between *NAT2* gene and DILI in Asians.

**Keywords:** Meta-analysis/ *NAT2*/ Drug-induced liver injury/ Tuberculosis

## **Introduction**

Tuberculosis (TB) has remained one of the biggest global health problem (World Health Organization, 2018). One of the challenges in TB treatment is drug-induced liver injuries (DILI) with incidence between 2 and 28% which can cause interruptions and failure of TB treatment (Teixeira and Lopes, 2013). Regarding pathogenesis of DILI, *NAT2* gene was highly associated with DILI in many genetic studies (Xiang and Ma, 2014; Yuliwulandari and Susilowati, 2016). It was found that the polymorphic *NAT2* enzyme encoded by *NAT2* gene plays a major role in the detoxification of many drugs (Blum and Grant, 1990). Single nucleotide polymorphisms (SNPs)

---

<sup>1</sup> Mahidol University Health Technology Assessment (MUHTA) Graduate Program, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>2</sup> Social Administrative Pharmacy Excellence Research (SAPER) Unit, Department of Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>3</sup> Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>4</sup> Section for Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

in *NAT2* gene at rs1801279, rs1041983, rs1801280, rs1799929, rs1799930, rs1208, rs1799931 and rs1495741 were often studied in association with DILI in TB treatment. The association between these *NAT2* polymorphisms and DILI was also revealed in previous studies (Ng and Hasnat, 2014; Wattanapokayakit and Mushiroda, 2016), however, the results were controversial. Minor allele frequency (MAF) and allele effects have not been estimated for these SNPs. We, therefore, performed a meta-analysis to assess the association between rs1799929, rs1799930, rs1799931, rs1041983, rs1801280, rs1208, rs1801279, and rs1495741 in *NAT2* gene with DILI.

### Objectives

The objectives were to estimate MAF and allele effect at rs1799929, rs1799930, rs1799931, rs1041983, rs1801280, rs1208, rs1801279, and rs1495741 in *NAT2* gene with DILI.

### Research Methodology

Studies were located from MEDLINE and Scopus up to August, 2019. Studies were selected if they assessed the associations between at least one of rs1799929, rs1799930, rs1799931, rs1041983, rs1801280, rs1208, rs1801279, and rs149574 and DILI in patients who received TB medicine. Extracted data included the general characteristics of studies, participants, *NAT2* SNPs, and frequencies of alleles between case and control groups. The quality of studies were assessed using a risk of bias assessment for genetic association studies (Thakkinstian A. and McKay, 2011). HWE was assessed in the control groups. The MAF for each SNP was pooled using based on method for meta-analysis of pooling prevalence. Heterogeneity of OR was assessed using Cochran Q test and the degree of heterogeneity ( $I^2$ ). To estimate allele effects, an OR of minor versus major allele along with its 95%CI were estimated, using random-effects model if heterogeneity was present, otherwise fixed-effect model was applied.

Analyses were performed using STATA, version 14.0. P value < 0.05 was considered statistically significant.

### Results

A total of 38 studies were selected. Among them, 36, 36, 31, 14, 14, 11, 5, and 4 studies had data of rs1799930, rs1799931, rs1799929, rs1801280, rs1041983, rs1208, rs1801279, and rs1495741, respectively. 25, 5, 4, 2, and 2 studies conducted in Asians, Latin Americans, Africans, Caucasians, and mixed population, respectively. Most studies (37/38) had low risk of bias for DILI and control ascertainment. Risk of bias was also low in selecting reports (38/38), confounding bias (37/38) and population stratification (36/38).

In Asians, the MAF was common for rs1799930, rs1799931, rs1799929, rs1041983 and rs1495741 with values of 0.22 (0.18, 0.26), 0.14 (0.11, 0.16), 0.16 (0.09, 0.22), 0.30 (0.11, 0.49), and 0.52 (0.43, 0.60), respectively. For rs1041983, the minor T allele was more frequent in Asians and Latin Americans with values of 0.30 (95% CI: 0.11, 0.49) and 0.34 (95% CI: 0.29, 0.38), respectively. The MAF for rs1801279 was less frequent across ethnicities with overall MAF of 0.02 (95% CI: 0.01, 0.04). For rs1495747, all of selected studies conducted in Asians with MAF G was 0.52 (95% CI: 0.43, 0.60).

Regarding allele effects, the results showed significant associations on DILI at rs1799930, rs1799931, rs1799929, rs1041983, and rs1495741 with ORs (95%CI) 1.76(1.45, 2.13), 1.47(1.23, 1.76), 1.31(1.02, 1.68), 2.74(1.88, 4.01), and 2.62(1.39, 4.94), respectively. That is, carrying a minor allele of A in rs1799930, A in rs1799931, T in rs1799929, T in rs1041983, A in rs1495741 increased the odds of having DILI by approximately 76%, 47%, 31%, 174%, and 162% in comparison of carrying of G, G, C, C, and G alleles, respectively. In Latin Americans, our findings showed that persons with minor C allele in rs1801280 having roundly 49% higher odds of developing DILI relative to persons who carried T allele. As for Africans, carrying a minor A allele in rs1799930 increased 48% odds of suffering DILI in TB treatment as compared with carrier of major G allele.

**Table: Summary results of studied SNPs at NAT2 gene and DILI in TB treatment**

Ethnicity	MAF	OR (95%CI)	I <sup>2</sup> (%)	p
rs1799930	A	A vs. G		
Asian	0.22 (0.18, 0.26)	1.76 (1.45, 2.13)	60	<0.001
Latin American	0.17 (0.10, 0.24)	1.51 (0.96, 2.38)	49	0.115
African	0.29 (0.24, 0.34)	1.48 (1.08, 2.03)	0	0.662
rs1799931	A	A vs. G		
Asian	0.14 (0.11, 0.16)	1.47 (1.23, 1.76)	33	0.090
Latin American	0.09 (0.03, 0.15)	1.45 (0.85, 2.45)	34	0.195
African	0.03 (0.01, 0.04)	0.55 (0.18, 1.71)	0	0.996
rs1799929	T	T vs. C		
Asian	0.16 (0.09, 0.22)	1.31 (1.02, 1.68)	31	0.127
Latin American	0.33 (0.28, 0.38)	1.28 (0.97, 1.69)	0	0.567
rs1801280	C	C vs. T		
Asian	0.05 (0.03, 0.08)	1.27 (0.88, 1.88)	0	0.713
Latin American	0.36 (0.27, 0.45)	1.49 (1.03, 2.15)	49	0.097
rs1041983	T	T vs. C		
Asian	0.30 (0.11, 0.49)	2.74 (1.88, 4.01)	60	0.022
Latin American	0.34 (0.29, 0.38)	1.80 (0.93, 3.51)	76	0.016
rs1208	G	G vs. A		
Asian	0.05 (0.02, 0.08)	1.21 (0.78, 1.89)	0	0.693
Latin American	0.44 (0.23, 0.65)	0.98 (0.61, 1.58)	50	0.137
rs1801279	A	A vs. G		
Overall	0.02 (0.01, 0.04)	1.03 (0.36, 2.93)	0	0.728
rs1495741	G	A vs. G		
Asian	0.52 (0.43, 0.60)	2.62 (1.39, 4.94)	89	<0.001

Ethnicity with insufficient data for pooling are not shown in this table, MAF: Minor allele frequency

## Discussions

Our findings were consistent with the previous meta-analysis conducted by Khan and colleague, (Khan and Mandal, 2019) which identified significant associations between rs1799930, rs1799931, and rs1799929 and DILI. We ascertained that these associations in Asians while the previous review estimated overall effects across ethnicity. This review also found allele effects at rs1041983, and rs1495741 in Asians which have not been reported in previous meta-analysis. In terms of clinical application, screening *NAT2* gene and combining them with non-genetic factors (e.g., age, gender, etc.) could lead to more effective tool of predicting DILI in TB treatment than screening clinical factors alone (Chan and Chua, 2017).

## Conclusions

In conclusion, this meta-analysis provided an updated evidence for the association between *NAT2* gene (rs1799930, rs1799931, rs1799929, rs1801280, rs1041983, rs1208, rs1801279, and rs1695741) and DILI in TB treatment. Overall, the results were consistent and robust in Asians, in which carrying A in rs1799930, A in rs1799931, T in rs1799929, T in rs1041983, and A in rs1495741 could mean that TB patients face 1.76, 1.47, 1.31, 2.74, and 2.62 times higher risk of developing DILI, respectively. Identifying potential biomarkers in *NAT2* gene can give promising impact in clinical implementation, not only identify high-risk people more accurately but also personalize TB treatment effectively. Further studies focusing on this genes should be conducted.

## Acknowledgements

This work is a part of training in Health Technology Assessment (HTA)'s master degree at Mahidol University Health Technology Assessment (MUHTA) Graduate Program, Mahidol University, Bangkok, Thailand.

## References

- Blum, M., Grant, D. M., McBride, W., Heim, M., and Meyer, U. A. (1990). Human arylamine N-acetyltransferase genes: isolation, chromosomal localization, and functional expression. *DNA Cell Biol.*, 9(3), 193-203.
- Chan, S. L., Chua, A. P. G., Aminkeng, F., Chee, C. B. E., Jin, S., Loh, M., Gan, S. H., Wang, Y. T., and Brunham, L. R. (2017). Association and clinical utility of *NAT2* in the prediction of isoniazid-induced liver injury in Singaporean patients. *PLoS One*, 12(10).
- Khan, S., Mandal, R. K., Elsbali, A. M., Dar, S. A., Jawed, A., Wahid, M., Mahto, H., Lohani, M., Mishra, B. N., Akhter, N., Rabaan, A. A., and Haque, S. (2019). Pharmacogenetic association between *NAT2* gene polymorphisms and isoniazid induced hepatotoxicity: Trial sequence meta-analysis as evidence. *Biosci. Rep.*, 39(1).
- Ng, C. S., Hasnat, A., Al Maruf, A., Ahmed, M. U., Pirmohamed, M., Day, C. P., Aithal, G. P., and Daly, A. K. (2014). N-acetyltransferase 2 (*NAT2*) genotype as a risk factor for



- development of drug-induced liver injury relating to antituberculosis drug treatment in a mixed-ethnicity patient group. *Eur. J. Clin. Pharmacol.*, 70(9), 1079-1086.
- Teixeira, R. L. d. F., Lopes, M. Q. P., Suffys, P. N., and Santos, A. R. (2013). Tuberculosis Pharmacogenetics: State of The Art. *Tuberculosis - Current Issues in Diagnosis and Management*.
- Thakkestian, A., McKay, G. J., McEvoy, M., Chakravarthy, U., Chakrabarti, S., Silvestri, G., Kaur, I., Li, X., and Attia, J. (2011). Systematic Review and Meta-Analysis of the Association Between Complement Component 3 and Age-related Macular Degeneration: A HuGE Review and Meta-Analysis. *American Journal of Epidemiology*, 173(12), 1365-1379.
- Wattanapokayakit, S., Mushiroda, T., Yanai, H., Wichukchinda, N., Chuchottawon, C., Nedsuwan, S., Rojanawiwat, A., Denjanta, S., Kantima, T., Wongyai, J., Suwanekesawong, W., Rungapiromnan, W., Kidkeukarun, R., Bamrungram, W., Chaiwong, A., Suvichapanich, S., Mahasirimongkol, S., and Tokunaga, K. (2016). NAT2 slow acetylator associated with anti-tuberculosis drug-induced liver injury in Thai patients. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 20(10), 1364-1369.
- World Health Organization. (2018). WHO : Global tuberculosis report 2018.
- Xiang, Y., Ma, L., Wu, W., Liu, W., Li, Y., Zhu, X., Wang, Q., Ma, J., Cao, M., Wang, Q., Yao, X., Yang, L., Wubuli, A., Merle, C., Milligan, P., Mao, Y., Gu, J., and Xin, X. (2014). The incidence of liver injury in uyghur patients treated for TB in Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China, and its association with hepatic enzyme polymorphisms NAT2, CYP2E1, GSTM1 and GSTT1. *PLoS One*, 9(1).
- Yuliwulandari, R., Susilowati, R. W., Wicaksono, B. D., Viyati, K., Prayuni, K., Razari, I., Kristin, E., Syafrizal, Subagyo, Sri Diana, E., Setiawati, S., Ariyani, A., Mahasirimongkol, S., Yanai, H., Mushiroda, T., and Tokunaga, K. (2016). NAT2 variants are associated with drug-induced liver injury caused by anti-tuberculosis drugs in Indonesian patients with tuberculosis. *J. Hum. Genet.*, 61(6), 533-537.

## การประเมินฝุ่นละออง PM2.5 จากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต

The Evaluation for PM2.5 Concentration in Asphaltic Concrete and Portland Cement Concrete Pavement Construction.

ณัฐสิทธิ์ ชุ่มเชื้อ<sup>1</sup> และ ฌนิศา รุ่งแจ้ง<sup>2</sup>  
Nattasit Chumchuey<sup>1</sup> and Kanisa Rungjang<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของกิจกรรมทางโลจิสติกส์ส่งผลต่อความเป็นอยู่ของประชาชนทั้งด้านรายได้และด้านสุขภาพ อย่างไรก็ตามปัญหามลพิษจากภาวะโลกร้อนและปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างโครงข่ายถนนและขนส่งเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงขึ้นตามลำดับ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินค่ามลพิษทางอากาศของถนนที่เกิดจากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างทางส่งผลให้เกิดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในอากาศสูงขึ้น การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีค่าอนุภาคฝุ่นละออง PM2.5 มากกว่าการก่อสร้างผิวทางคอนกรีต ผลการวิจัยสามารถเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางในการพัฒนาสายทางภายใต้สภาวะการฝุ่นละอองเป็นพิษในประเทศไทยต่อไป

**คำสำคัญ :** อนุภาคฝุ่นละอองPM2.5 การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต

### Abstract

The growth of economy and logistic activities has affected the human being not only for the personal income but also the personal health. The pollution from global warming and especially from highway construction and transport has more severe effect. This research has aimed to evaluate the air pollution from road construction focusing on asphaltic concrete and Portland cement concrete pavement construction. The result shows that the construction activities cause more PM2.5 concentration in air. The asphaltic concrete pavement construction generated higher concentration than the Portland cement concrete one. This findings will be beneficial for setting up a guideline in highway construction planning toward sustainable solution for Thailand's air pollution.

**Keyword :** particle pollutionPM2.5, Asphaltic Concrete Construction, Cement Concrete Pavement Construction

---

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย  
Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย  
Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

## บทนำ

การก่อสร้างถนนในประเทศไทยจะมีการก่อสร้างผิวทางถนนแบ่งเป็นหลักใหญ่คือ ผิวทางแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางแบบคอนกรีต เพื่อตอบสนองกับการพัฒนากิจกรรมทางโลจิสติกส์ของประเทศ อย่างไรก็ตามการเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของกิจกรรมทางโลจิสติกส์ส่งผลต่อความเป็นอยู่ของประชาชนทั้งด้านรายได้และด้านสุขภาพ ปัญหามลพิษจากภาวะโลกร้อนและปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดจากการขนส่งและการก่อสร้างโครงข่ายถนนเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงขึ้นตามลำดับ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินค่ามลพิษทางอากาศทางถนนที่เกิดจากการก่อสร้างผิวทางระหว่างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต พร้อมทั้งได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณพื้นที่การก่อสร้าง ผลการวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางในการพัฒนาสายทางภายใต้สภาวะการมีฝุ่นละอองเป็นพิษในประเทศไทยต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและการก่อสร้างผิวทางคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือแบบง่ายที่หาได้ในท้องตลาด



ภาพที่ 1 เครื่องมือวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบพกพา ยี่ห้อ EURUS รุ่น AQM001

### วิธีการ

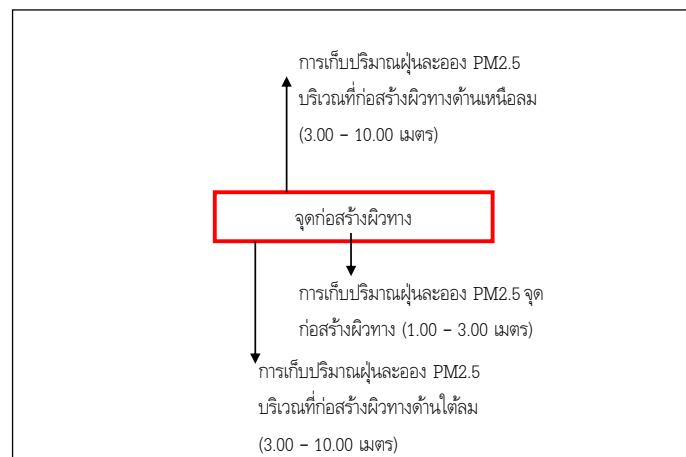
การเก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

- 1.การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณพื้นที่การก่อสร้าง หมายถึง การนำเครื่องมือเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จากบริเวณพื้นที่บริเวณการก่อสร้าง โดยไม่มีผลกระทบฝุ่นละอองจากจุดที่ก่อสร้างมาเกี่ยวข้อง

2.การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จุดก่อสร้างผิวทาง หมายถึง การนำเครื่องมือเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จากแหล่งกำเนิดที่คาดว่าจะเกิดปริมาณฝุ่นละอองมากที่สุด โดยวัดค่าห่างจากแหล่งกำเนิดประมาณ 1.00 – 3.00 เมตร

3.การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลม หมายถึง การนำเครื่องมือเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ใกล้บริเวณการก่อสร้างด้านเหนือลม ห่างจากบริเวณก่อสร้างประมาณ 3.00 – 10.00 เมตร

4.การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลม หมายถึง การนำเครื่องมือเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ใกล้บริเวณการก่อสร้างด้านใต้ลม ห่างจากบริเวณก่อสร้างประมาณ 3.00 – 10.00 เมตร



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ที่จุดต่างๆ

สถานที่เก็บข้อมูลในการศึกษา

คัดเลือกสถานที่ในการจัดเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จำนวน 2 แห่ง ประกอบด้วย

1.สถานที่เก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ตั้งอยู่ที่ทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงกม. 53+350.000 ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ พื้นที่โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สาย อ.บางปู - อ.บางปะกง ตอน 2

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

ลำดับที่	สถานที่เก็บ	วันที่	เวลา	สภาพอากาศ	ความชื้นในอากาศ (RH) %
1	ทล.3 ช่วงกม. 53+350.000	27 มกราคม 2563	13.30 น.	แจ่มใส	32
	ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 (ug/m <sup>3</sup> )	19	บริเวณพื้นที่การก่อสร้าง		
		999	จุดก่อสร้างผิวทาง		
		10	บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลม		
		238	บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลม		



ภาพที่ 3 การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

2.สถานที่เก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต ตั้งอยู่ที่ทางหลวงหมายเลข 304 ช่วงกม. 112+400.000 ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา พื้นที่โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 304 สาย ฉะเชิงเทรา - ต.เขาหินซ้อน ตอน อ.พนมสารคาม - ต.เขาหินซ้อน (รวมสะพานข้ามแยกทางหลวงหมายเลข 319) ตอน 1

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ของการก่อสร้างผิวทางคอนกรีต

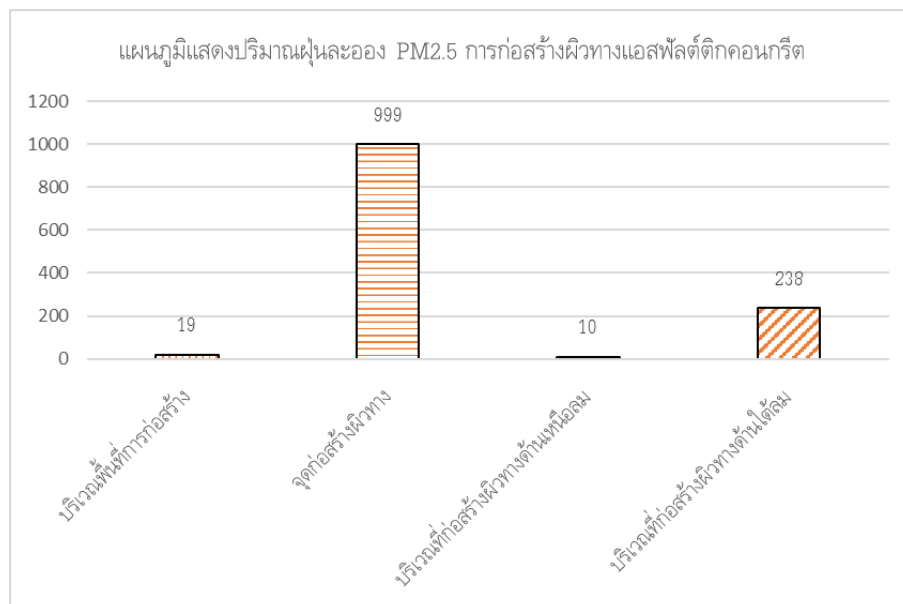
ลำดับที่	สถานที่เก็บ	วันที่	เวลา	สภาพอากาศ	ความชื้นในอากาศ (RH) %
2	ทล.304 ช่วงกม. 112+400.000	13 กุมภาพันธ์ 2563	14.00 น.	แจ่มใส	36
		28	บริเวณพื้นที่การก่อสร้าง		
	ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 (ug/m <sup>3</sup> )	36	จุดก่อสร้างผิวทาง		
		32	บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลม		
		42	บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลม		



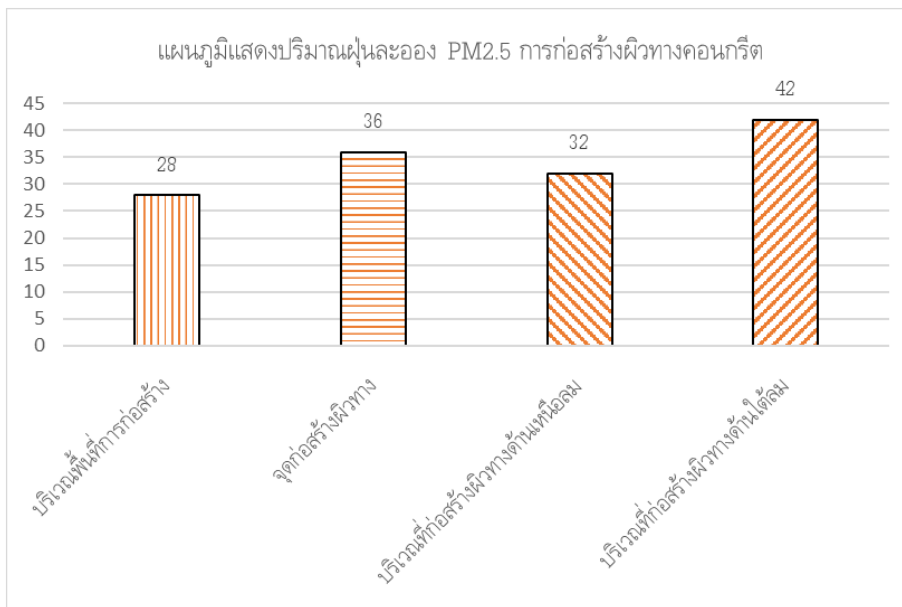
ภาพที่ 4 การเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต

### ผลและวิจารณ์

จากการเก็บปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ที่เกิดจากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและผิวทางคอนกรีต รวมทั้งบริเวณพื้นที่บริเวณการก่อสร้างผิวทาง ผลการศึกษาที่ได้สรุปคือ



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ก่อให้เกิดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในจุดก่อสร้างผิวทางมาก เนื่องจากมีส่วนผสมของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีการระเหยจากการเผาไหม้ของไอน้ำมันจำนวนมาก ทั้งนี้ทำให้บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลมปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ได้ฟุ้งกระจายไปในอากาศจำนวนมาก ขณะที่บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลมและบริเวณพื้นที่การก่อสร้างมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 น้อยมาก มาตรฐานไม่เกิน 50 (ug/m<sup>3</sup>)

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างผิวทางคอนกรีต ในทุกจุดมีค่าไม่เกินมาตรฐาน 50 (ug/m<sup>3</sup>)

พิจารณาข้อมูลจากการก่อสร้างผิวทางทั้ง 2 ประเภทแล้วปรากฏว่า

ผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตบริเวณก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลม ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 น้อยกว่าผิวทางแบบคอนกรีต เนื่องจากจากวิธีการก่อสร้างที่ต่างกัน กล่าวคือขั้นตอนการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต จะมีการปูยาง Prime Coat ที่ผิวหน้าวัสดุชั้นโครงสร้างทางก่อนการปูแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ทำให้เมื่อมีกระแสลมจะไม่พัดพาฝุ่นละอองฟุ้งกระจายในบริเวณพื้นที่การก่อสร้าง

ผิวทางคอนกรีตบริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านเหนือลม จะมีปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 มากกว่าผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเนื่องจากจาก วัสดุชั้นโครงสร้างทางนั้นเป็นดินลูกรังและทรายรองพื้นทางก่อนก่อสร้างผิวคอนกรีต เมื่อมีกระแสลมพัดทำให้ฝุ่นละอองฟุ้งกระจายในอากาศ

## สรุป

ผลการศึกษาข้างต้นค่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยอยู่ที่ 50 (ug/m<sup>3</sup>) พบว่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต จุดก่อสร้างผิวทาง (จุดเครื่องปูยาง) ก่อมลภาวะฝุ่นละออง PM2.5 มากที่สุดคือ 999 (ug/m<sup>3</sup>) อยู่ในระดับอันตราย มีผลกระทบต่อสุขภาพ ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เนื่องจากส่วนผสมของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีการระเหยจากการเผาไหม้ของไอน้ำมันจำนวนมาก

บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลม ค่าฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> คือ 238 (ug/m<sup>3</sup>) อยู่ในระดับอันตราย มีผลกระทบต่อสุขภาพ ผู้ปฏิบัติงานควรใส่อุปกรณ์ป้องกันตัวเองเช่นกัน

การก่อสร้างผิวทางคอนกรีต บริเวณที่ก่อสร้างผิวทางด้านใต้ลมเป็นจุดที่มีค่าฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> มากที่สุดคือ 42 (ug/m<sup>3</sup>) อยู่ในระดับปานกลาง สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ทั้งนี้การก่อสร้างผิวทางคอนกรีตไม่พบบริเวณใดที่มีค่าฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> เกินค่าที่ส่งผลต่อสุขภาพ

## คำขอบคุณ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้ดี ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตา รุ่งแจ้ง ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย การให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาลดจน การตรวจแก้ไขการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ และขอเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ที่ทำงานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีและขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์สาขาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้เป็นเบื้องหลังในความสำเร็จและให้กำลังใจตลอดมา และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน

## เอกสารอ้างอิง

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ **ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ.**

[http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi\\_info.php](http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php)

สมจินตนา แชนงแก้ว. 2559 **การวัดและการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างถนน กรณีการศึกษาก่อสร้างถนนในเขตจังหวัดลำปาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ **อันตรายของฝุ่น PM<sub>2.5</sub>.** วิศวกรรมสาร. 2561

กรมควบคุมมลพิษ. **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ.** กรุงเทพมหานคร, 2546.

กรมควบคุมมลพิษ. **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2551.** 2551.

กรมควบคุมมลพิษ. **สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535, Edited by 6, 2535.**

นพภาพร พานิชและคณะ. **ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ, Edited by 2.** กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วนิดา จินตศาสตร์. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ, Edited by 1.** กรุงเทพฯ: บริษัท มิสเตอร์ก็อปปี (ประเทศไทย) จำกัด, 2551.

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง, 2557.**



กองวิศวกรรมและวิจัย กรมทางหลวง. มาตรฐานที่ ทล.-ม 408/2532 แอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot – Mix Asphalt), 2532.

กรมทางหลวง. มาตรฐานที่ ทล.-ม 309/2544 มาตรฐานถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต, 2544.

# การศึกษาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นบนในประเทศไทย : กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร

Investigation of water vapour in the upper atmosphere of the earth: a case study at

Bangkok

จินดารัตน์ ปรีโยธร<sup>1</sup> สุมามาลย์ บรรเทิง<sup>1</sup> และ เสริม จันทร์ฉาย<sup>1</sup>

Jindarat Pariyothon<sup>1</sup>, Sumaman Buntoung<sup>1</sup>, and Serm Janjai<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์ขึ้นไปถึงส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิกากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันอากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่ได้จากการปล่อยบอลลูนซึ่งติดตั้งวิทยุหึ่งอากาศที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพฯ (13.67°N, 100.60°E) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2017 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีการแปรค่าตามความสูง นอกจากนี้พบว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์และส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์มีการแปรค่าตามฤดูกาลซึ่งมีค่าสูงในฤดูฝนในช่วง 2.5 – 6.4 ppmv

**คำสำคัญ :** ไอน้ำ, วิทยุหึ่งอากาศบน, โทรโพสเฟียร์, สตราโตสเฟียร์, ฤดูกาล

## Abstract

This study aimed at data gathering and analyzing atmospheric water vapour from the upper troposphere to the lower stratosphere. The data were collected from radiosondes attached to balloons that launched at the head office of the Thai Meteorological Department (TMD) Bangna, Bangkok (13.67°N, 100.60°E) between February-December 2017. The results have shown that there is a variation of water vapour with height. The water vapour of the upper troposphere to the lower stratosphere varied by season with high values in the rainy season, being in the range of 2.5 to 4.6 ppmv.

**Keywords :** water vapour, radiosonde, troposphere, stratosphere, season

---

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000

## บทนำ

ไอน้ำในบรรยากาศเป็นตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีในบรรยากาศทั้งที่ระดับพื้นผิวและบรรยากาศชั้นบน ไอน้ำในชั้นโทรโพสเฟียร์มีอิทธิพลต่อขนาดและองค์ประกอบของฝุ่นละอองซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของฝุ่นละออง ทิศนวิสัยของบรรยากาศ และมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเมฆและฝน นอกจากนี้ไอน้ำในบรรยากาศยังเป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) เนื่องจากยอมให้รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (0.75-1.0 ไมโครเมตร) ที่แผ่จากพื้นผิวโลกและบรรยากาศ ถึงแม้ว่าไอน้ำในบรรยากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณใกล้พื้นผิวโลก แต่ในบรรยากาศระดับสูงขึ้นไปก็ยังมี การตรวจพบปริมาณไอน้ำอยู่บางส่วน ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิของอากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์ การไหลเวียนของอากาศในบรรยากาศชั้นบนและมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของบรรยากาศโลก (Dessler et al., 2014, Kampfer, 2013) นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ 1% ต่อปีด้วย (Scaife et al., 2003)

ในช่วงที่ผ่านมาพบว่ามี การศึกษาการแปรค่าของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์และสตราโตสเฟียร์จำนวนมาก (Palchetti et al., 2008; Dessler et al., 2014; Sunilkumar et al., 2016) แต่ยังไม่พบการศึกษาในลักษณะดังกล่าวในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษากปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นบนซึ่งหมายถึงบรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์และส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์ที่กรุงเทพฯ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศของประเทศและนำไปใช้ในงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์และส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์ในประเทศไทย

## อุปกรณ์และวิธีการ

ผู้วิจัยได้ทำการวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ณ ศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ บางนา (13.67°N, 100.60°E) ดังรูปที่ 1 โดยใช้วิทยุหยั่งอากาศ ยี่ห้อ InterMet รุ่น i-Met1 (รูปที่ 2) ซึ่งมีเซ็นเซอร์ (sensor) วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิอากาศ และความดันบรรยากาศ



**รูปที่ 1** ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศชั้นบน  
ของศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพ บางนา



**รูปที่ 2** เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์  
ของวิทยุหึ่งอากาศ

สำหรับการตรวจวัดปริมาณไอน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ผู้วิจัยจะทำการบรรจุก๊าซฮีเลียมในบัลลูนขนาด 1,600 g จากนั้นทำการติดตั้งร่มชูชีพ และวิทยุหึ่งอากาศไปกับบัลลูน แล้วปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดที่ระดับความสูงต่าง ๆ ประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันบรรยากาศ ซึ่งจะถูส่งกลับมายังเสาอากาศและเครื่องรับสัญญาณภาคพื้นดินโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ความถี่ 403 MHz จากนั้นสัญญาณที่ได้รับจะถูกประมวลผลและบันทึกค่าด้วยคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3) เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างแพง ผู้วิจัยจึงทำการตรวจวัดเพียงเดือนละ 1 ครั้ง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เดือนธันวาคม ค.ศ. 2017 โดยจะเลือกวันและเวลาการตรวจวัดในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการวัดในช่วงเช้า อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีสภาพอากาศไม่เหมาะสมทำให้ต้องทำการตรวจวัดในช่วงบ่ายแทน การตรวจวัดแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ข้อมูลจากการตรวจวัดรวมทั้งสิ้น 9 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1



### รูปที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

ตารางที่ 1 วันและเวลาที่ทำการตรวจวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ณ ศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพ ฯ บางนา

ลำดับที่	วันที่ทำการตรวจวัดปริมาณไอน้ำ	เวลาที่ตรวจวัด	ฤดูกาล
1	24 กุมภาพันธ์ 2017	13:28 – 15:35 น.	ฤดูร้อน
2	30 มีนาคม 2017	9:54 – 11:56 น.	
3	27 เมษายน 2017	9:14 – 11:05 น.	
4	8 มิถุนายน 2017	9:04 – 10:59 น.	ฤดูฝน
5	28 มิถุนายน 2017	13:05 – 15:10 น.	
6	28 สิงหาคม 2017	7:52 – 10:07 น.	
7	28 กันยายน 2017	6:52 – 9:09 น.	
8	30 พฤศจิกายน 2017	7:49 – 9:51 น.	ฤดูหนาว
9	22 ธันวาคม 2017	7:51 – 9:51 น.	

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะหาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในรูปของ volume mixing ratio ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ( $\mu_i$ ) ในหน่วย parts per million by volume (ppmv) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ระดับความดันต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

$$\mu_i = \frac{p_{vi}}{p_i} \times 10^6 \quad (1)$$

เมื่อ  $\mu_i$  คือ volume mixing ratio [ppmv]

$p_i$  คือความดันอากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ [hPa]

$p_{vi}$  คือความดันไอน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ [hPa] ซึ่งหาสามารถคำนวณได้จากสมการ (Wallace & Hobbs, 2006) ดังนี้

$$p_{vi} = RH_i \times p_{vsi} \quad (2)$$

เมื่อ  $RH_i$  คือความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ [-]

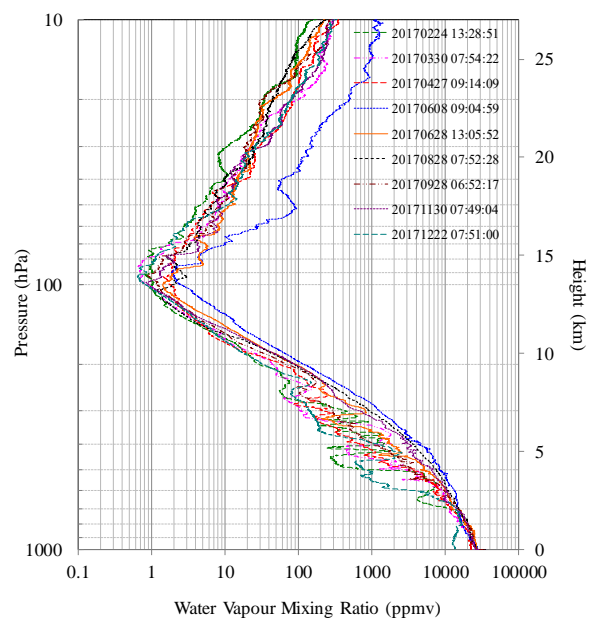
$p_{vsi}$  คือความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ระดับความสูงต่าง ๆ [hPa] โดยหาได้จากอุณหภูมิอากาศ (Murray, 1967) ดังสมการ

$$p_{vsi} = \begin{cases} 6.1078 \times 10^{(7.5T_i / 273.3 + T_i)}, & T_i > 0 \\ 6.1078 \times 10^{(9.32T_i / 261.2 + T_i)}, & T_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

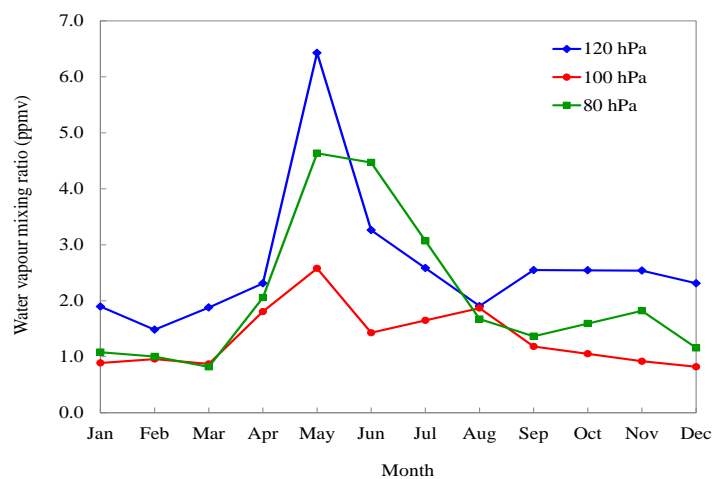
เมื่อ  $T_i$  คืออุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### ผลและวิจารณ์

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณไอน้ำในรูปของ volume mixing ratio ที่ได้จากการปล่อยบัลลูนที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ บางนา มาทำการเขียนกราฟกับความดันบรรยากาศ ซึ่งจะได้โปรไฟล์ (profile) ของ volume mixing ratio ของไอน้ำ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแปรค่า volume mixing ratio ของไอน้ำที่ได้จากการตรวจวัด ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ บางนา



รูปที่ 5 การแปรค่าของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศส่วนบนของโทรโพสเฟียร์ (120 hPa) โทรโพพอส (100 hPa) และ ส่วนล่างของสตราโตสเฟียร์ (80 hPa)

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีการแปรค่าตามความสูง โดยค่า volume mixing ratio จะลดลงตามความสูงในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์และจะมีปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในส่วนล่างของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ จากการศึกษาการแปรค่าตามฤดูกาลของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยผู้วิจัยเลือกข้อมูลที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้แก่ บรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์ (120 hPa) ระดับโทรโพพอส (100 hPa) และบรรยากาศส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์ (80 hPa) (รูปที่ 5) พบว่าปริมาณไอน้ำในบริเวณดังกล่าวมีการแปรค่าตามฤดูกาลโดยพบค่าสูงสุดในฤดูฝน (พฤษภาคม-มิถุนายน) ในช่วง 2.5-6.4 ppmv และมีค่าต่ำในช่วงฤดูแล้ง (กรกฎาคม-เมษายน) ประมาณ 1.7-2.1 ppmv ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูฝน กรุงเทพฯ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งจะพัดพาเอาไอน้ำจากทะเลอันดามัน ส่วนช่วงฤดูแล้งจะมีค่าไอน้ำต่ำเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมีอุณหภูมิอากาศค่อนข้างต่ำจึงเกิดการควบแน่นของไอน้ำได้ง่าย จากผลการศึกษาที่ได้นี้พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Das & Suneeth (2020)

จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีการแปรค่าตามความดันบรรยากาศและฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง volume mixing ratio (VMR) กับความดันบรรยากาศ (p) ในฤดูกาลต่าง ๆ โดยอาศัย non-linear regression ผลที่ได้แสดงดังนี้

- ฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม)

$$\text{VMR} = -6 \times 10^5 p^3 + 0.1102p^2 - 28.269p + 1149.1 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.98$$

- ฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม)

$$\text{VMR} = -2 \times 10^5 p^3 + 0.0671p^2 - 16.968p + 713.93 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.99$$

- ฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม)

$$\text{VMR} = -5 \times 10^5 p^3 + 0.1014p^2 - 24.057p + 928.89 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.99$$

เมื่อ VMR คือ volume mixing ratio [ppmv]

p คือความดันบรรยากาศ [hPa]

$R^2$  คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) [-]

จากผลที่ได้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า volume mixing ratio มีความสัมพันธ์กับค่าความดันบรรยากาศค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลตรวจวัดมีจำกัด ในงานวิจัยจึงไม่สามารถทำการทดสอบความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองการหาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ ควรจะมีข้อมูลการตรวจวัดเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงเวลาและสถานที่

## สรุป

จากการศึกษาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศชั้นบนโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากเครื่องวิทยุหยั่งอากาศที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยากรุงเทพ ฯ บางนา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2017 พบว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในรูปของ volume mixing ratio มีการแปรค่าตามความสูง และไอน้ำในบรรยากาศส่วนบนของชั้นโทรโพสเฟียร์และส่วนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์มีการแปรค่าตามฤดูกาล นอกจากนี้ยังเสนอแนวทางในการคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ระดับความดันบรรยากาศต่าง ๆ ซึ่งสามารถพัฒนาให้เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพต่อไปได้ในอนาคตหากมีข้อมูลการตรวจวัดที่เพียงพอ

## คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ของสถานีตรวจอากาศชั้นบนในการปล่อยบอลลูนสำหรับวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

## เอกสารอ้างอิง

- Das, S. S., & Suneeth, K. V. (2020). Seasonal and interannual variations of water vapor in the upper troposphere and lower stratosphere over the Asian Summer Monsoon region-in perspective of the tropopause and ocean-atmosphere interactions. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 105244.
- Dessler, A. E., Schoeberl, M. R., Wang, T., Davis, S. M., Rosenlof, K. H., & Vernier, J. P. (2014). Variations of stratospheric water vapor over the past three decades. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(22), 12-588.
- Kampfer, N. (2013). Introduction, in Monitoring atmospheric water vapour: ground-based remote sensing and in-situ methods. *ISSI scientific report series*, 10, pp.39-54, Springer, New York.
- Murray, F. W. (1967). On the computation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology*, 6(1), 203-204.



- Palchetti, L., Bianchini, G., Carli, B., Cortesi, U., & Del Bianco, S. (2008). Measurement of the water vapour vertical profile and of the Earth's outgoing far infrared flux. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 2885-2894.
- Scaife, A. A., Butchart, N., Jackson, D. R., Swinbank, R. (2003). Can changes in ENSO activity help to explain increasing stratospheric water vapor?. *Geophysical research letters*, 30(17).
- Sunilkumar, S. V., Muhsin, M., Emmanuel, M., Ramkumar, G., Rajeev, K., & Sijikumar, S. (2016). Balloon-borne cryogenic frost-point hygrometer observations of water vapour in the tropical upper troposphere and lower stratosphere over India: First results. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 140, 86-93.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: an introductory survey*. Elsevier, New York.

# ชุดการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง

## Experimental Set for Doppler Effect of Sound through Damped Harmonic Motion

ศรารัตน์ คนชื่อ<sup>1</sup> และ เขมฤทัย งามะพัฒน์<sup>1</sup>

Sararat Konsue<sup>1</sup> and Kheamrutai Thamaphat<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกตได้รับความถี่เสียงเปลี่ยนไปจากความถี่เสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงสร้างขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกต ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นบทเรียนหนึ่งในรายวิชาฟิสิกส์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับปริญญาตรี อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้เรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง ครูผู้สอนมักใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เนื่องจากขาดสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างชุดการทดลองราคาถูกลงและมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง โดยใช้ไมโครโฟนติดกับมวลแกว่งที่เคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วงทำหน้าที่เปรียบเสมือนผู้สังเกตที่เคลื่อนที่และใช้ลำโพงไร้สายทำหน้าที่เปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง แล้วใช้แอปพลิเคชันให้กำเนิดสัญญาณในสมาร์ตโฟนเพื่อสร้างความถี่เสียง 8,000 Hz ซึ่งแอปพลิเคชันนี้สามารถดาวน์โหลดได้จาก Play Store สำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์หรือ App Store สำหรับระบบปฏิบัติการไอโอเอส และวัดความถี่เสียงที่ผู้สังเกตได้รับโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง ซึ่งจะแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับเวลา ผลการทดลองพบว่าค่าความถี่เสียงที่ผู้สังเกตได้รับที่วัดได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับค่าความถี่เสียงที่คำนวณโดยใช้สมการดอปเพลอร์มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.007% หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพชรบุรี ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุกเพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงและการแกว่งกวัดแบบหน่วง พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ( $p < 0.01$ )

**คำสำคัญ:** การเคลื่อนที่แบบถูกหน่วง / ความถี่เสียง / ชุดการทดลอง / ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง / ฟิสิกส์ศึกษา

<sup>1</sup> หน่ววิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อคำตอบของสังคม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140 ประเทศไทย

Applied Science and Engineering for Social Solution Research Unit, Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

## Abstract

The Doppler effect of sound is a phenomenon that describes the change in the observed sound frequency whenever a source is moving relative to an observer. It is a physics topic in high school and undergraduate level. However, teachers can only emphasize on the mathematical equations due to the lack of learning tool. In this work, a cost effective and technology-based experimental set on the Doppler effect of sound through damped harmonic motion for using as an instructional media was therefore designed and constructed. A microphone attached to a hanging mass moving with damped harmonic motion was used as the observer, whereas a fixed wireless speaker was used as the source. The sound frequency of 8,000 Hz was generated from the Function Generator mobile application, which could be downloaded from Play Store for Android system or App Store for iOS system. The observed sound frequency was measured using a frequency analyzer. Then, it was presented as a graph of real-time frequency versus time. The

results showed that the percentage error of observed sound frequency measured from program compared with the sound frequency calculated using the Doppler equation was 0.007%. The experimental set developed herein was used to teach high school students of the Princess Chulabhorn Science High School, Phetchaburi, via active learning strategy to improve students' knowledge on the Doppler effect of sound and the damping oscillation. It was found that their cognitive achievement before and after learning was significantly different at the 0.01 level ( $p < 0.01$ ).

**Keywords:** Damped Harmonic Motion / Doppler Effect of Sound / Experimental Set / Physics Education / Sound Frequency

## บทนำ

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 เรื่องคลื่นเสียงเป็นบทเรียนหนึ่งในรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติมสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นให้นักเรียนสังเกตและอธิบายเกี่ยวกับการเกิดคลื่นเสียง ผู้เรียนต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นเสียงจนสามารถนำไปแก้ปัญหาหรือประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) สื่อการจัดการเรียนการสอนหรือชุดการทดลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างองค์ความรู้แก่นักเรียน อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่มีอยู่ในโรงเรียนต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดเสียงและสมบัติพื้นฐานของเสียงไม่สามารถนำมาใช้ทำการทดลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์บางประการของคลื่นเสียงได้ เช่น ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง (Doppler effect for sound) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกต (observer) ได้รับความถี่เสียงเปลี่ยนไปจากความถี่เสียงที่แหล่งกำเนิดเสียง (sound source) สร้างขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียง (Serway & Jewett, 2014) ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันจึงเน้นการบรรยาย การท่องจำสูตรเพื่อทำแบบฝึกหัด หรือการใช้สื่อวิดีโอในการสังเกตปรากฏการณ์ ซึ่งการสอนในรูปแบบนี้มักได้ผลดีเฉพาะช่วงที่มีการจัดการเรียนการสอนเท่านั้นแต่นักเรียนไม่สามารถจดจำบทเรียนได้ในระยะยาว ทำให้เกิดความคงทนของความรู้น้อยกว่าการที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อสืบค้นความรู้ด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างชุดการทดลองที่มีราคาถูกเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ โดยชุดการทดลองดังกล่าวประกอบขึ้นจากวัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในห้องปฏิบัติการหรือหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ง่ายต่อการติดตั้ง มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อความสะดวก แม่นยำ และสามารถบันทึกค่าความถี่ของเสียงและความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตตลอดการทดลองได้ โดยอาศัยการบูรณาการเรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วง (damped harmonic motion) เข้าด้วยกัน ซึ่งชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นการเรียนการสอนในชั้นเรียนสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับอุดมศึกษาได้โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบเชิงรุก (active learning) บูรณาการความรู้เรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วง เป็นการกระตุ้นการเรียนรู้แก่ผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 ซึ่งสามารถเรียนรู้เทคโนโลยีได้อย่างรวดเร็วโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการทดลอง

## วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง
- 2) เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วง
- 3) เพื่อศึกษาผลของความยาวแกนแกว่งและมวลถ่วงต่อเวลาในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วง

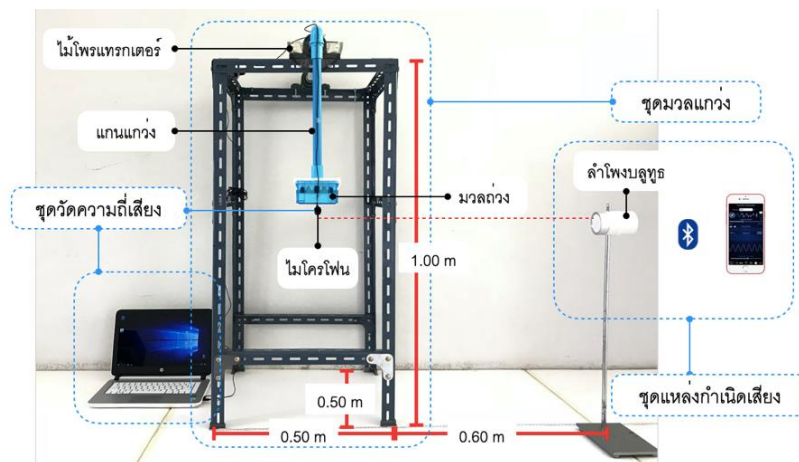
## อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบและสร้างชุดการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ โดยบูรณาการเชื่อมโยงกับความรู้ในหัวข้อการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วง เพื่อใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง ชุดการทดลองประกอบด้วยลำโพงบลูทูธทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง โดยจะขยายสัญญาณเสียงที่ถูกส่งมาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณในแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟน ไมโครโฟนที่ติดอยู่กับมวลแกว่งทำหน้าที่เป็นผู้สังเกตที่เคลื่อนที่แบบคาบที่ถูหน่วงในแนวเดียวกับแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นเสียงที่ไม่โครโฟนได้รับจะถูกส่งไปยังโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงในคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Harrison Investment

Inc, 2007) ความถี่เสียงที่วัดได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยใช้สมการดอปเพลอร์ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมวลและปรับความยาวของแกนแกว่ง เพื่อศึกษาผลของมวลและความยาวของแกนแกว่งต่อการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกรบกวน ใช้โปรแกรมวิเคราะห์วีดิโอ (Tracker) ทำหน้าที่วิเคราะห์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนจากการบันทึกวีดิโอขณะทำการทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับความเร็วที่คำนวณได้จากสมการดอปเพลอร์ ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

### 1. การสร้างชุดการทดลองสำหรับศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกรบกวน

ชุดการทดลองสำหรับศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ชุดมวลแกว่ง ชุดวัดความถี่เสียง และชุดแหล่งกำเนิดเสียง ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนของแกนแกว่งจะสามารถปรับความยาวได้ 5 ระดับ คือ 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 m ถ่วงน้ำหนักตรงปลายแกนแกว่งด้วยกล่องใส่มวลถ่วง ซึ่งสามารถปรับน้ำหนักของมวลถ่วงได้โดยใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนักซึ่งถ่วงน้ำหนักได้ 5 ขนาด คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 N ได้กล่องใส่มวลถ่วงจะมีไมโครโฟนติดอยู่เพื่อวัดความถี่เสียงขณะมวลมีการเคลื่อนที่ โดยเชื่อมต่อไมโครโฟนเข้ากับโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง (Real Time Analyzer) ในการทดลองจะใช้ชุดแหล่งกำเนิดเสียงสร้างสัญญาณเสียงด้วยแอปพลิเคชันให้กำเนิดสัญญาณ (Function Generator Application) ในสมาร์ตโฟนเชื่อมต่อกับลำโพงบลูทูธเพื่อขยายสัญญาณเสียง



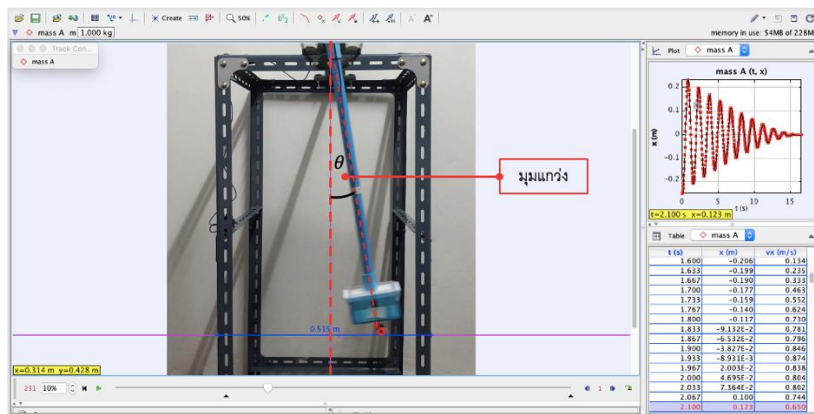
รูปที่ 1 การติดตั้งชุดการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกรบกวน

ในการศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกรบกวนด้วยชุดการทดลองที่สร้างขึ้น ทำการทดลองโดยใช้มวลถ่วงขนาด 1 N ความยาวแกนแกว่ง 0.50 m ถ่วงมวลถ่วงด้วยมุมเริ่มต้นเท่ากับ  $20^\circ$  (ทำมุมกับแนวตั้ง) ใช้ความถี่เสียง 8,000 Hz เป็นความถี่เสียงของแหล่งกำเนิดเสียง เนื่องจากไมโครโฟนสามารถรับเสียงได้ชัดเจนในช่วงความถี่ 7,500 – 8,500 Hz จากนั้นใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงวัดความถี่เสียงตลอดการเคลื่อนที่ของไมโครโฟน เพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยอาศัยสมการดอปเพลอร์ ดังสมการที่ (1)

$$v_0 = v \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right) \quad (1)$$

- เมื่อ  $v_0$  คือ ความเร็วของไมโครโฟน (m/s)  
 $v$  คือ ความเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 29 °C (m/s)  
 $f$  คือ ความถี่ที่โปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงวัดได้ (Hz)  
 และ  $f_0$  คือ ความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าเท่ากับ 8,000 Hz

ขณะที่ทำการทดลองจะบันทึกวิดีโอการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนไปพร้อมกัน เพื่อนำวิดีโอไปวิเคราะห์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ ดังแสดงในรูปที่ 2 หลังจากทำการทดลองเสร็จนำค่าความถี่เสียงที่ได้ไปคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยอาศัยสมการที่ (1) และเปรียบเทียบความเร็วที่คำนวณได้กับความเร็วที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ



รูปที่ 2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ

ในทางกลับกันสามารถนำความเร็วที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอไปคำนวณหาค่าความถี่เสียง ในขณะที่ไมโครโฟนเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดเสียง (ไมโครโฟนเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง) โดยอาศัยสมการดอปเพลอร์ดังสมการที่ (2) และเปรียบเทียบความถี่เสียงที่คำนวณได้กับความถี่เสียงจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง

$$f = f_0 \left( \frac{v + v_0}{v} \right) \quad (2)$$

- เมื่อ  $v_0$  คือ ความเร็วของมวลแกว่งที่วัดได้จากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ (m/s)  
 $v$  คือ ความเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 29 °C (m/s)  
 $f$  คือ ความถี่ที่คำนวณได้ (Hz)  
 และ  $f_0$  คือ ความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าเท่ากับ 8,000 Hz

## 2. การศึกษาผลของความยาวแกนแกว่งและมวลถ่วงต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง

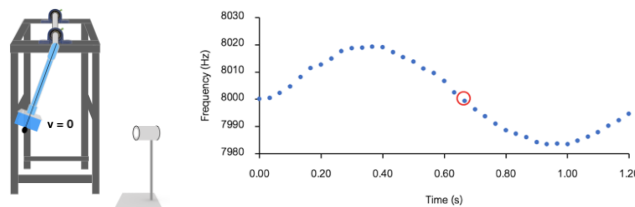
เนื่องจากชุดการทดลองนี้สามารถบูรณาการความรู้เรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์กับการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวงได้ จึงทำการศึกษาค้นคว้าผลของความยาวแกนแกว่งและมวลถ่วงต่อเวลาในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง โดยการศึกษาผลของความยาวแกนแกว่งต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวงจะใช้มวลถ่วงขนาด 1 N แล้วทำการทดลองโดยปรับความยาวแกนแกว่ง 5 ระดับ คือ 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 m ที่แต่ละระดับให้แกว่งมวลด้วยมุมเริ่มต้นคงที่เท่ากับ  $20^\circ$  (ทำมุมกับแนวตั้ง) แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแกนแกว่งกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ สำหรับการศึกษาค้นคว้าผลของมวลต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง จะกำหนดให้ความยาวแกนแกว่งเท่ากับ 0.30 m แล้วทำการทดลองโดยปรับมวลถ่วง 5 ระดับ คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 N ที่แต่ละระดับให้แกว่งมวลด้วยมุมเริ่มต้นคงที่เท่ากับ  $20^\circ$  (ทำมุมกับแนวตั้ง) แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลถ่วงกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

### ผลและวิจารณ์

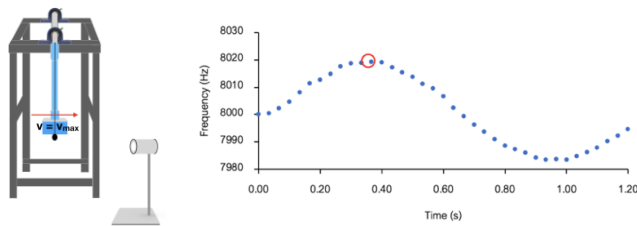
จากการใช้ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง และการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง ได้ผลการทดลองดังนี้

#### 1. ผลการศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ผ่านการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวง

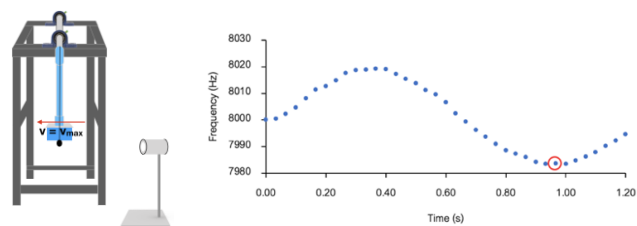
จากการทดลองพบว่าเมื่อไมโครโฟนเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกลูกหวงเข้าหาและออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่หนึ่ง ความถี่เสียงที่ไมโครโฟนได้รับจะเปลี่ยนแปลงไปจากความถี่เสียงของแหล่งกำเนิดเสียง โดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ 1) กรณีไมโครโฟนอยู่หนึ่ง ณ จุดเริ่มต้นหรือ ณ ตำแหน่งจุดวกกลับ พบว่าความถี่เสียงที่วัดได้จะเท่ากับความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ดังแสดงในรูปที่ 3 2) กรณีที่ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่หนึ่ง ซึ่งความเร็วของไมโครโฟนจะเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุด ณ จุดสมมูล พบว่าความถี่เสียงที่วัดได้มีค่ามากกว่าความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 3) กรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งความเร็วของไมโครโฟนจะเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุด ณ จุดสมมูล พบว่าความถี่เสียงที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่เสียงกับเวลาจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงเมื่อไมโครโฟนอยู่หนึ่ง ณ จุดเริ่มต้นหรือจุดวกกลับ



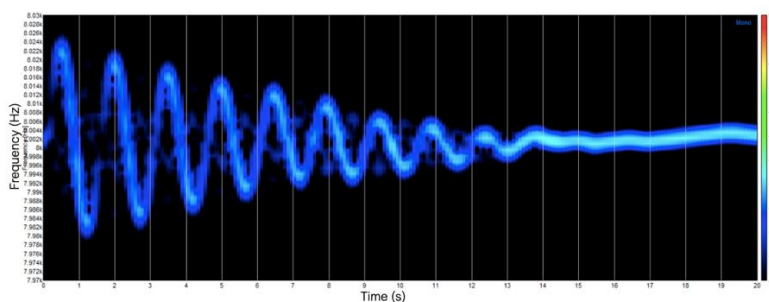
**รูปที่ 4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่เสียงกับเวลาจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง  
เมื่อเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุดสมมูล



**รูปที่ 5** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่เสียงกับเวลาจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง  
เมื่อเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุดสมมูล

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์โดยในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เพิ่มขึ้นจากความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง และในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่ลดลงจากความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ดังนั้นชุดการทดลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นการสอนเรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เพื่อให้นักเรียนได้เห็นการเปลี่ยนแปลงความถี่เสียงที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้ได้ชัดเจน

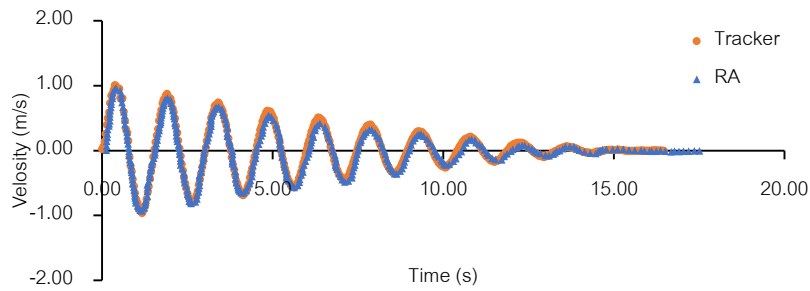
จากการทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เพื่อศึกษาความถี่เสียงขณะไมโครโฟนเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกห้วงผลการทดลองพบว่าค่าความถี่เสียงตลอดการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงมีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 6



**รูปที่ 6** ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงที่ไมโครโฟนได้รับกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟน วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง

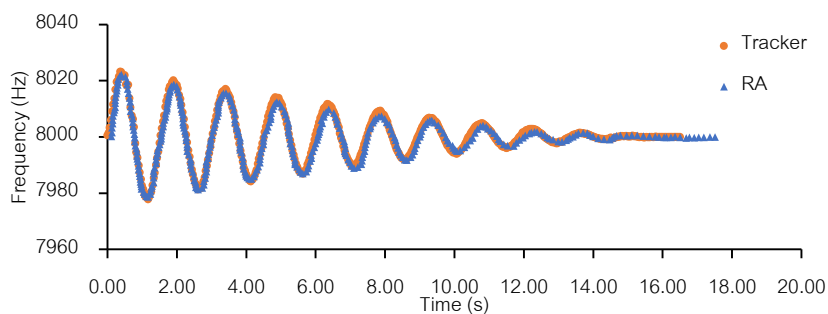
จากนั้นนำค่าความถี่เสียงที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงไปคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนโดยอาศัยสมการที่ (1) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ ผลการทดลองพบว่าความเร็วมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 5.04%





**รูปที่ 7** กราฟเปรียบเทียบความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนจากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ และความเร็วที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการดอปเพลอร์

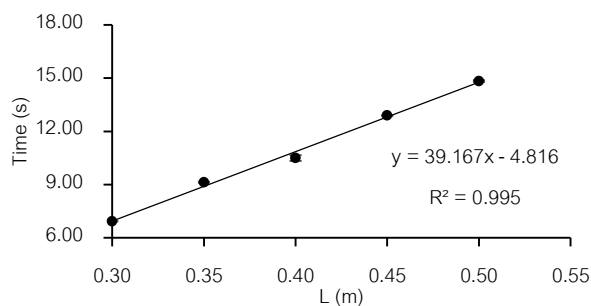
จากนั้นนำความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอไปคำนวณหาความถี่เสียงโดยอาศัยสมการที่ (2) แล้วเปรียบเทียบกับความถี่เสียงที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียง ผลการทดลองพบว่าความถี่มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.007%



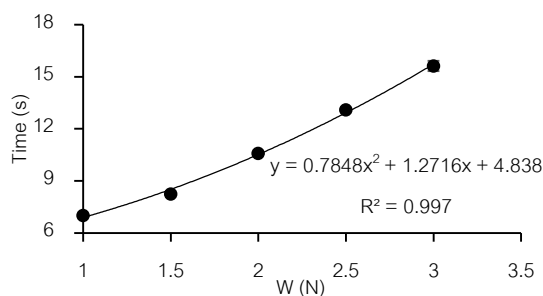
**รูปที่ 8** กราฟเปรียบเทียบความถี่เสียงจากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงและความถี่เสียงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการดอปเพลอร์

## 2. ผลของความยาวแกนแกว่งและมวลถ่วงต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแกนแกว่งกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง พบว่าเวลาที่ไมโครโฟนใช้ในการเคลื่อนที่จนหยุดนิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อมีความยาวแกนแกว่งเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแกนแกว่งกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 9 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลถ่วงกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกหน่วง พบว่าเวลาที่ไมโครโฟนใช้ในการเคลื่อนที่จนหยุดนิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของมวลถ่วงเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลถ่วงกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ พบว่ามีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแกน (L) แกว่งกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของมวลถ่วง (W) กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแกนแกว่งกับเวลาและความสัมพันธ์ระหว่างมวลถ่วงกับเวลา สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่า เมื่อให้มวลถ่วงมีค่าคงที่โดยความยาวแกนแกว่งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะจากจุดหมุนจนถึงจุดศูนย์กลางถ่วงเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการแกว่งจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อให้ความยาวแกนแกว่งมีค่าคงที่โดยขนาดมวลถ่วงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะจากจุดหมุนจนถึงจุดศูนย์กลางถ่วงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้มีผลให้เวลาที่ใช้ในการแกว่งจึงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกระงับของเพนดูลัมที่ยึดติดกับแกนที่มีมวล (Brown University, 2013)

## สรุป

ชุดทดลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกระงับที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถวัดความถี่เสียงได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงและวัดค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของไมโครโฟนได้ เมื่อนำความถี่เสียงที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่เสียงมาเปรียบเทียบกับความถี่เสียงที่คำนวณโดยใช้สมการดอปเพลอร์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.007% และเมื่อนำความเร็วของไมโครโฟนที่คำนวณโดยใช้สมการดอปเพลอร์เปรียบเทียบกับความเร็วที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์หิวดีโอ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 5.04% นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกระงับเพื่อสร้างสมการทำนายผลของความยาวแกนแกว่งและมวลถ่วงที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่แบบคาบที่ถูกระงับ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองนำชุดการทดลองเรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้อด้วยกระบวนการสอนแบบเชิงรุกแก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 19 คน ที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารัตนราชวิทยาลัย เพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี โดยใช้สถิติทดสอบที (t-test dependent samples) พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์

ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดการทดลองเรื่องปรากฏการณ์ดอปเพลอร์โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 4.47 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.18 ซึ่งแปลความหมายข้อมูลได้ว่ามีระดับความพึงพอใจระดับมาก (ระพีพันธ์ โพธิ์ศรี, 2547)

### คำขอบคุณ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณทุนในการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. สืบค้น 15 มิถุนายน 2561, จาก [http://lib.edu.chula.ac.th/FILEROOM/CABCU\\_PAMPHELT/DRAWER01/GENERAL/DATA0000/00000218.PDF](http://lib.edu.chula.ac.th/FILEROOM/CABCU_PAMPHELT/DRAWER01/GENERAL/DATA0000/00000218.PDF)
- ระพีพันธ์ โพธิ์ศรี. (2547). *การสร้างและวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือสำหรับงานวิจัย*. อุดรดิตถ์: คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- สุพรรณณี ชาญประเสริฐ. (ม.ป.ป.). *Active Learning การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21*. สืบค้น 10 พฤศจิกายน 2561, จาก <http://chemistry.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/4/2014/09/188-Active-Learning-การเรียนรู้ในศตวรรษที่-21.pdf>
- Brown University. (2013). *The Damped Motion of a Compound Pendulum*. Retrieved October 20, 2018, from <https://wiki.brown.edu/confluence/.../Damped%20Pendulum.pdf?>
- Harrison Investment Inc. (2007). *Realtime Analyzer*, Retrieved July 15, 2017, from <http://ymec.com/products/>
- Media College. (2011). *Dynamic Microphones*. Retrieved May 25, 2018, from <https://www.mediacollege.com/audio/microphones/dynamic.html>
- Serway, A.R. and Jewett, W.J. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. (9th ed.). Boston: Cengage Learning. pp. 517 – 519
- Stonawski, T. and Gálik, T. (2016). *Analysing Simple Motions Using the Doppler Effect 'Seeing' Sound*. Physics Education, Vol. 52, No. 1, pp. 1-8.

## การพัฒนาเวชสำอางต้านสิวจากสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

### Development of anti-acne cosmeceutics from Malidang rice bran extract

สิริพร คานภู<sup>1</sup>, ธีรวิทย์ ธีระวรวงษ์<sup>2</sup>, ปิยะ วงศ์ญาณิน<sup>3</sup>, ภัสราวดี เผ่าจินดา<sup>4</sup>, อ้อมบุญญ วัลลิสุต<sup>5</sup>,  
และ ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร<sup>6</sup>

Siriporn Kanpu<sup>1</sup>, Thien Thiraworawong<sup>2</sup>, Piya Wongyanin<sup>3</sup>, Patsarawadee Paojinda<sup>4</sup>, Omboon Vallisut<sup>5</sup>  
and Pilanthona Leesthitthanakorn<sup>6</sup>

#### บทคัดย่อ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดรำข้าวมะลิแดงที่สกัดด้วยเอทานอลด้วยเทคนิค Gas chromatography/ Mass spectrometry (GC/MS) พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นชนิดต่าง ๆ เมื่อนำสารสกัดรำข้าวมะลิแดงมาศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบ ได้แก่ *Cutibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Streptococcus pyogenase* โดยการทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารสกัดรำข้าวด้วยวิธี Disc diffusion และ Broth microdilution พบว่าค่า Inhibition zone ของสารสกัดต่อเชื้อ *C. acnes* สูงกว่าเชื้อชนิดอื่น ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อหรือ Minimal inhibitory concentration (MIC) ต่อเชื้อ *C. acnes*, *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenase* เท่ากับ 0.049, 6.250, 1.563 และ 3.125 mg/ml ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อหรือ Minimal bactericidal concentration (MBC) ต่อเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวเท่ากับ 6.250, 12.500, 25.000 และ 25.000 mg/ml ตามลำดับ จึงทำการพัฒนาสารสกัดรำข้าวมะลิแดงเป็นเวชสำอางในรูปแบบของเจลแต้มสิว 3 ตำรับ ผลการศึกษาความคงตัวทางกายภาพของตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงพบว่าตำรับเจลที่ใช้ butylene glycol เป็นสารเพิ่มความชุ่มชื้นนั้นมีความคงตัวทางกายภาพดีที่สุด และเหมาะสมที่จะนำไปศึกษาประสิทธิภาพทางคลินิกในการต้านสิวอักเสบในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ** : เวชสำอาง, รำข้าวมะลิแดง, สิว

---

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชกรรมไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา  
M.Sc.student, Master of Science Program in Thai Traditional Pharmacy, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University,

<sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

Assistant Professor, Biology Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

<sup>3</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคนิคการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

Assistant Professor, Department of Medical Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

<sup>4</sup>อาจารย์ สาขาวิชาเทคนิคการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

Lecturer, Department of Medical Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

<sup>5</sup>รองศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชกรรมไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

Associate Professor, Master of Science Program in Thai Traditional Pharmacy, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University,

<sup>6</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชกรรมไทย และศูนย์วิจัยกัญชา กัญชง และกระท่อมเพื่อการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

Assistant Professor, Master of Science Program in Thai Traditional Pharmacy and Cannabis, Hemp and Kratom Research Center, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University,

## Abstract

The study of chemical compositions of the Malidang rice bran ethanolic extract using Gas chromatography / Mass spectrometry (GC / MS) showed various kinds of essential fatty acids. Antibacterial activity of Malidang rice bran extract against inflammatory acne causing bacteria including *Cutibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* and *Streptococcus pyogenase* was determined by disc diffusion and broth microdilution methods. The inhibition zones of Malidang rice bran extract against *C. acnes* were higher than those of other bacterial strains. The Minimal inhibitory concentration (MIC) of Malidang rice bran extract against *C. acnes*, *S. aureus*, *S. epidermidis* and *S. pyogenase* were 0.049, 6.250, 1.563, 3.125 mg/ml, respectively and the Minimal bactericidal concentration (MBC) against the mentioned bacterial strains were 6.250, 12.500, 25.000 and 25.000 mg/ml respectively. Three formulations of Malidang rice bran extract anti-acne gel were developed. Physical stability study of 3 gel formulations revealed that the gel containing butylene glycol as humectant possessed the highest physical stability and was suitable for further clinical anti-acne efficacy studied in volunteers.

**Keyword:** Cosmeceutics, Malidang rice bran, acne

## บทนำ

สิวเป็นโรคผิวหนังที่พบบ่อยที่สุด มักเริ่มต้นเกิดขึ้นในวัยรุ่นซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน ส่งผลให้เกิดแผลอักเสบ แผลเป็นและริ้วรอยตามมา (สมาคมแพทย์ผิวหนังแห่งประเทศไทย, 2554) โดยมากมักเป็นบริเวณหน้า คอ และลำตัวส่วนบน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีต่อมไขมันขนาดใหญ่อยู่หนาแน่น บางคนอาจเป็น ๆ หาย ๆ จนอายุเกินสี่สิบปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดสิว (นภดล นพคุณ และคณะ, 2553) การอักเสบ (Inflammation) และการอุดตันบริเวณรูขุมขนที่เกิดขึ้น ทำให้มีการสะสมของเคราติน ไขมัน และแบคทีเรีย ขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแตกและกระจายออกสู่ผิวหนังข้างเคียงกระตุ้นให้เกิดกระบวนการอักเสบเป็นสิวก่อเกิดขึ้น ในคนที่ที่เป็นสิวบพบว่ามีแบคทีเรีย *Propionibacterium acne* มากกว่าคนที่ไม่ได้เป็นสิว (Zaenglein, et al., 2008) *P. acne* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่พบในต่อมไขมันบริเวณรูขุมขน นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ แต่มีปริมาณน้อยกว่า ได้แก่ *P. granulosum*, *P. parvum*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Staphylococcus aureus* แบคทีเรียเหล่านี้จะปล่อยเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกของ Comedone และยังเป็น Chemotactic factors ทำให้เกิดการหลั่งสารอักเสบ และสารอนุมูลอิสระ (Zaenglei, et al., 2012) การรักษาสิวในปัจจุบัน มุ่งเน้นไปที่การกำจัดปัจจัยที่มีผลต่อพยาธิกำเนิดของสิว ได้แก่ กำจัดสาเหตุที่ทำให้เกิดการหนาตัวที่ผิดปกติของชั้นผิวหนังกำพร้าบริเวณรูขุมขน การลดการทำงานของต่อมไขมัน ลดแบคทีเรียโดยเฉพาะ *P. acnes* และลดการอักเสบ (Zaenglein, et al., 2008)

โดยในปัจจุบันมีทั้งยากกลุ่มเรตินอยด์ (Topical Retinoids) กลุ่มยาปฏิชีวนะ (Antibiotics) และกลุ่มยาฮอร์โมน (Hormonal therapy) ในรูปยาทาและรับประทาน ซึ่งถูกนำมาใช้ในการรักษา (Zaenglein, et al., 2012) พืชสมุนไพรเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการรักษา เช่น สารสกัดจากเปลือกมังคุด (Traidej Chomnawang M, 2007) สารสกัดจากหอมแดง (สุนิดา เมืองโคตร และคณะ, 2557) สารสกัดจากใบกระทุ เป็นต้น พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและลดการอักเสบของผิว (Saising, et al., 2008, Limsuwa, et al., 2009) ข้าว (rice) เป็นธัญพืชที่พบมากในประเทศไทย (พรชนัน วชิโรดม, 2557) พบว่าข้าวมีสีชนิดต่าง ๆ ทั้งส่วนของเมล็ดข้าวและรำข้าวมีสารสำคัญคือวิตามินอี,  $\gamma$ -oryzanol, ferulic acid, polyphenols และ anthocyanin มีรายงานฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและลดการอักเสบ (Butsat S and Siriamornpun S, 2010), (Laokuldilok, et al., 2011) พบว่าสารสกัดรำข้าวมะลิแดง ประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) ในปริมาณสูง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากรำข้าวพื้นเมืองพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิข้าวขวัญ (บิณฑนา เลิศสิทธิธนกร และคณะ., 2559) แต่ยังไม่มียางานถึงฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบของสารสกัดรำข้าวมะลิแดง งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบจากสารสกัดรำข้าวมะลิแดง เพื่อพัฒนาเป็นเวชสำอางต้านสิวในรูปแบบเจลและศึกษาความคงตัวของตัวทางกายภาพเบื้องต้นของตำรับเจลดังกล่าว

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดรำข้าวมะลิแดงในการต้านเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบ
2. เพื่อพัฒนาตำรับเจลจากสกัดรำข้าวมะลิแดงและศึกษาความคงตัวของตัวทางกายภาพของตำรับเจล

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การสกัดรำข้าวมะลิแดง

นำรำข้าวมะลิแดงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบอินฟราเรด นาน 10 นาที หมักใน 95% เอทานอล นาน 72 ชั่วโมง ในอัตราส่วนรำข้าว : 95% เอทานอล = 1 : 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยเขย่าสลับหยุดพัก กรองสารสกัดผ่านกระดาษกรอง ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator เก็บสารสกัดหยาบในตู้เย็นอุณหภูมิต่ำ 0-4 °C โดยป้องกันแสง

### 2. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมีในสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

ศึกษาองค์ประกอบในสารสกัดรำข้าวมะลิแดง ด้วยวิธี Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS) นำสารสกัดจากรำข้าวมะลิแดงมาละลายด้วยเอทานอลให้ได้ความเข้มข้น 10 mg/ml ฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS QP 5050A, Shimadzu®) ซึ่งต่อกับเครื่องฉีดสารอัตโนมัติ AOC-17 (Shimadzu®) โดยใช้คอลัมน์แบบคาปิลลารี ขนาด 30.0 m x 0.32 mm id x 0.25  $\mu$ m ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพาด้วยอัตราการไหล 1 ml/min ฉีดสารสกัดปริมาตร 1  $\mu$ l โดยใช้ Split Mode ตั้งค่าอุณหภูมิ mass-transferred line เป็น 250 °C กำหนดค่าอุณหภูมิตู้อบให้เพิ่มจาก 80 °C ถึง 250 °C ด้วยอัตรา 10 °C/min

ร้อยละของปริมาณสารองค์ประกอบในสารสกัดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบทั้งหมด (Relative Content) คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ระบุชนิดสารโดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัม (Mass Spectrum) ของสารองค์ประกอบที่ได้กับข้อมูลในฐานข้อมูล Nist และ Wiley ของเครื่อง

### 3. การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบของสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ *Cutibacterium acnes* (ชื่อเดิม *Propionibacterium acnes*), *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Streptococcus pyogenes* ซึ่งจัดซื้อจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข นำสารสกัดรำข้าวมะลิแดงไปทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียดังกล่าว ด้วยวิธี Disc diffusion และ Broth microdilution ตามลำดับ

#### 3.1 Disc diffusion method

เพาะเลี้ยงเชื้อ *C. acnes*, *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenes* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton Agar สำหรับ *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenes* และบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain Heart Infusion Agar สำหรับ *C. acnes* ด้วยการ streak ให้ทั่วทั้ง petri dish วางแผ่นสารสกัดรำข้าวมะลิแดงความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายใน 95 % ethanol ซึ่งเตรียมโดยบ่มสารสกัดกับแผ่น paper disc ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. แล้วนำ Petri dish ไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C ด้วยสภาวะที่ใช้ออกซิเจนสำหรับเชื้อ *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenes* เป็นเวลา 18-24 ชม. กับสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับเชื้อ *C. acnes* เป็นเวลา 72 ชั่วโมง วิเคราะห์ผลโดยสังเกตจากบริเวณใส (Inhibition zone) รอบแผ่นสารสกัด ทำการวัดความกว้างของบริเวณใสด้วย Vernier caliper โดยมี negative control คือแผ่น disc ที่บ่มด้วย 95% ethanol และมี positive control คือแผ่น disc ของยา Ampicillin และ Norfloxacin โดยทำการทดลองกับสารสกัดรำข้าวมะลิแดง, negative control และ positive control อย่างต่ำ 3 ซ้ำต่อเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด

#### 3.2 Broth microdilution method

3.2.1) เติมน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวได้แก่ Mueller-Hinton Broth สำหรับ *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenes* และ Thioglycolate Broth สำหรับ *C. acnes* ปริมาตร 50 ml ลงใน 96 - well microliter plate ทุก well เติมน้ำละลายของสารสกัดรำข้าวมะลิแดงปริมาตร 50 ml ลงใน well ซ้ายสุดของแต่ละแถว แล้วเจือจางสารตัวอย่างลงใน well ถัดไปโดยเทคนิค serial 2-fold dilution

3.2.2) เติมน้ำละลายของเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดคือเชื้อ *C. acnes*, *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *S. pyogenes* (ซึ่งผ่านการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวและบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C ด้วยสภาวะที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนดังกล่าวแล้ว) ประมาณ  $10^7$  CFU/ml ปริมาตร 50 ml ลงไปทุก well แล้วผสมให้เข้ากัน บ่มในตู้บ่มเชื้อที่ 37 °C ด้วยสภาวะที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจน นาน 18-24 ชั่วโมง หรือ 72 ชั่วโมง

3.2.3) สังเกตความขุ่น-ใส ของสารผสมในแต่ละ well ด้วยสายตา และบันทึกค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimum inhibitory concentration, MIC) นั่นคือความเข้มข้นต่ำสุดที่เริ่มสังเกตเห็นสารผสมใสและไม่มีตะกอนใน well

3.2.4) ปิเปตสารผสมจาก well ที่ใส่ทั้งหมด ปริมาตร 10 ml ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่ 37 °C ด้วยสภาวะที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจน นาน 18-24 ชั่วโมง หรือ 72 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่รอดชีวิตจากแต่ละ well และบันทึกค่าความเข้มข้นต่ำสุดของตัวอย่างที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียรอดชีวิตน้อยกว่า 0.1% ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น (Minimum bactericidal concentration, MBC)

3.2.5) ทำการทดลองกับสารสกัดรำข้าวมะลิแดงอย่างต่ำ 3 ซ้ำต่อเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด รายงานผลเป็นค่า MIC และ MBC ของสารสกัดต่อเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด

#### 4. การเตรียมตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

เตรียมโดยไปรย Carbomer 940 ซึ่งเป็นสารก่อเจลในน้ำกัลัน คนจนกระจายตัว สะเทินด้วย triethanolamine จนได้เจลเบสที่ใส เติมสารเพิ่มความชุ่มชื้น เติมสารสกัดรำข้าวมะลิแดง และสารกันเสียตามลำดับ เตรียมเจล 3 ตำรับ แต่ละตำรับใช้สารให้ความชุ่มชื้นต่างชนิดกัน

#### 5. การศึกษาความคงตัวของทางกายภาพของตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

เปรียบเทียบตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงทั้ง 3 ตำรับ ด้วยการทดสอบความคงตัวของรูปแบบแรงด้วยอุณหภูมิร้อน สลับเย็น (Freeze thaw cycling) โดยการเก็บตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงบรรจุในขวดสี่ขาปิดสนิท เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 24 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ ทำการทดสอบรวมทั้งสิ้น 5 รอบ สังเกตลักษณะทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น การแยกชั้น และวัด pH รวมทั้งความหนืดของทุกตำรับก่อนและหลัง Freeze thaw cycling

### ผลและวิจารณ์

#### 1. ผลการสกัดสารสกัดหยาบจากรำข้าวมะลิแดง

เมื่อนำรำข้าวมะลิแดงที่อบแห้งมาหมักใน 95% เอทานอล นาน 72 ชั่วโมง ระเหยตัวทำละลายออก ผลการสกัดรำข้าวมะลิแดงได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีแดง มีน้ำมันปนอยู่

#### 2. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมีในสารสกัดหยาบของรำข้าวมะลิแดง

ผลการวิเคราะห์สารองค์ประกอบในสารสกัดรำข้าวมะลิแดงด้วยวิธี GC/MS พบสารองค์ประกอบซึ่งมีร้อยละปริมาณสัมพัทธ์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณสัมพัทธ์ของสารองค์ประกอบในสารสกัดหยาบจากรำข้าวมะลิแดง

Retention time (minutes)	Compound name	Percent relative content
8.019	Ethyl hexadecanoate	2.24
10.545	Ethyl oleate	6.51
11.265	Ethyl linoleate	5.05
14.108	Tetradecanoic acid	1.0



16.450	Oleic Acid	8.95
19.878	n-Hexadecanoic acid	44.88
20.189	Linoleic acid	19.51
29.484	Octadecanoic acid	3.78

จากตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบเคมีในสารสกัดหยาบของรำข้าวมะลิแดงโดยใช้เทคนิค Gas chromatography / Mass spectrometry (GC/MS) และใช้ระบบการวิเคราะห์ที่เหมาะสม ได้แก่กรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acid) ชนิดต่างๆ เช่น n- Hexadecanoic acid, Linoleic acid, Oleic Acid เป็นต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของปิลันธนา และคณะ (2559)

### 3. ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย

3.1 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบโดยวิธี Disc diffusion แสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ค่า inhibition zone (mm) ของสารสกัดรำข้าวมะลิแดงต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบ

Type of Bacteria	Control			Concentration of the rice bran extract		
	95% Ethanol	Ampicillin	Norfloxacin	100 mg/ml	200 mg/ml	400 mg/ml
<i>C. acnes</i>	-	27.78±5.02	29.30±5.33	17.12±4.16	18.43±0.50	19.70±0.99
<i>S. aureus</i>	-	16.05±6.35	12.88±4.69	6.08±0.14	6.90±0.82	9.62±2.01
<i>S. epidermidis</i>	-	-	14.95±4.09	6.40±0.40	8.87±1.18	13.30±1.49
<i>S. pyogenes</i>	-	18.90±6.23	-	-	-	-

3.2 ผลการทดสอบความไวรับ (Susceptibility) ของเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบต่อสารสกัดรำข้าวมะลิแดงโดยวิธี broth microdilution แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Minimum inhibitory concentration (MIC) และค่า Minimum bactericidal concentration (MBC) ของสารสกัดรำข้าวมะลิแดงต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของสิวอักเสบ

Type of Bacteria	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)
<i>C. acnes</i>	0.049	6.25
<i>S. aureus</i>	6.25	12.50
<i>S. epidermidis</i>	1.563	25
<i>S. pyogenes</i>	3.125	25

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าสารสกัดรำข้าวมะลิแดงสามารถต้านเชื้อ *C. acnes* ได้ดีที่สุดเนื่องจากผลการทดสอบด้วยวิธี Disc diffusion พบว่าสารสกัดรำข้าวมะลิแดงที่ความเข้มข้น 100, 200, และ 400 mg/ml แสดง inhibition zone ต่อเชื้อ *C. acnes*, *S. aureus*, *S. epidermidis* แต่ไม่เกิด inhibition zone ต่อ *S. pyogenes* และมีค่า inhibition zone สูงสุดต่อเชื้อ *C. acnes* ที่ความเข้มข้น 400 mg/ml โดยมีค่าเฉลี่ยของ inhibition zone เท่ากับ  $19.70 \pm 0.99$  mm และจากผลการทดสอบด้วยวิธี Broth microdilution พบว่าสารสกัดดังกล่าวสามารถยับยั้งเชื้อ *C. acnes* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ (MIC) เท่ากับ 0.049 mg/ml ซึ่งต่ำกว่าค่า MIC ของเชื้อชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบ และมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (MBC) เท่ากับ 6.25 mg/ml ซึ่งต่ำกว่าค่า MBC ของเชื้อชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบ จึงอาจกล่าวได้ว่าสารสกัดรำข้าวมะลิแดงมีฤทธิ์ต้าน *C. acnes* สูงกว่าเชื้อแบคทีเรียสาเหตุสิวอีกเสปชนิดอื่น ๆ ที่นำมาทดสอบ อนึ่ง ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Dhouioui M, 2016) และงานวิจัยของ (Karimi E, et al., 2015) ซึ่งพบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำ ลำต้น และใบของพืชบางชนิดซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนและกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ linolenic acids, palmitic acid, palmitoleic acid และ linoleic acids นั้นมีฤทธิ์เด่นในการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากกรดไขมันสามารถทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวและมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ pH ต่ำ จึงอาจกล่าวได้ว่ากรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acid) ที่พบในสารสกัดรำข้าวมะลิแดงมีความสัมพันธ์กันสูงกับศักยภาพของสารสกัดในการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก โดยเฉพาะเชื้อ *C. acnes*

#### 4. ผลการเตรียมตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบในตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงทั้ง 3 ตำรับ

ส่วนประกอบในตำรับ	ตำรับ A (g)	ตำรับ B (g)	ตำรับ C (g)
Malidang rice bran extract	0.4	0.4	0.4
Carbopol 940	1	1	1
Triethanolamine	qs to pH 7	qs to pH 7	qs to pH 7
Glycerin	7	-	-
Mono propylene glycol	-	7	-
Butylene glycol	-	-	7
Concentrated paraben	1	1	1
Purified water qs to	100	100	100

จากตารางที่ 4 แสดงสูตรตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง ซึ่งส่วนประกอบในตำรับเจลทั้ง 3 ตำรับต่างกัน ที่สารให้ความชุ่มชื้น ตำรับ A คือ Glycerin , ตำรับ B คือ Mono propylene glycol และตำรับ C คือ Butylene glycol

## 5. ผลการศึกษาความคงตัวของกายภาพของตำรับเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

ลักษณะทางกายภาพของเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงทั้ง 3 ตำรับ ก่อนและหลังทดสอบความคงตัวแบบเร่งด้วยอุณหภูมิร้อนสลับเย็น (Freeze thaw cycling) แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพ ก่อนและหลัง Freeze thaw cycling ของเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดง

ตำรับ	ลักษณะทางกายภาพ		pH		ความหนืด (เซนติปอยส์)	
	Before	After	Before	After	Before	After
A	น้ำตาลแดงใส	น้ำตาลแดงใส	4.75±0.04	4.66±0.05	543,800±23,487	177,600±58,348
	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น				
	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น				
B	น้ำตาลแดงใส	น้ำตาลแดงใส	4.57±	4.44±0.06	428,600±10,152	136,200±49,141
	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	0.02			
	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น				
C	น้ำตาลแดงใส	น้ำตาลแดงใส	5.22±	5.067±0.11	437,000±114,504	130,800±48,592
	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	0.07			
	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น	เนื้อเนียนไม่แยกชั้น				

จากตารางที่ 5 วิเคราะห์ได้ว่าเมื่อนำเจลสารสกัดรำข้าวมะลิแดงไปทดสอบความคงตัวผ่านสภาวะเร่ง พบว่าตำรับ C ซึ่งมี butylene glycol เป็นสารเพิ่มความชุ่มชื้นนั้นมีลักษณะกายภาพที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า pH ใกล้เคียงกับผิวหนังมากที่สุดทั้งก่อนและหลัง freeze thaw cycling ขณะที่เจลอีกสองตำรับนั้น pH จะค่อนข้างต่ำจึงไม่เหมาะกับผิว (Velichka Y Andonova, 2017) เนื่องจากค่า pH ของผิวหนังแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์มีความแตกต่างกัน บริเวณผิวหนังหน้าและผิวหนังกายจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.4–5.9 ผลิตภัณฑ์สำหรับผิวที่ดีจะสามารถช่วยรักษาสมดุลค่า pH บนผิวได้โดยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเซลล์ผิว เสริมการทำงานของเกราะปกป้องผิวตามธรรมชาติ (โกวิท คัมภีรภาพ, 2553) อนึ่ง หลัง Freeze thaw cycling เจลทุกตำรับมีค่าความหนืดลดลง เนื่องจากอิทธิพลของความกดดันภายใต้สภาวะเร่ง แต่ลักษณะอื่น ๆ ของเจลไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือไม่แยกชั้น สี กลิ่น คงเดิม มีลักษณะเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน และลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อทาผิวพบว่ามีกลิ่นหอมดี ไม่เหนอะหนะ

## สรุป

สารสกัดรำข้าวมะลิแดงมีองค์ประกอบหลัก คือกรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acid) ชนิดต่างๆ ได้แก่ n- Hexadecanoic acid, Linoleic acid, Oleic Acid เป็นต้น จากรายงานวิจัยอื่นพบว่า Essential Fatty Acid มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านแบคทีเรียโดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมบวก ผลการวิจัยที่ได้จึงสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนระบุว่า สารสกัดรำข้าวมะลิแดงอุดมไปด้วย Essential Fatty Acid จึงมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก โดยเฉพาะเชื้อ *C. acnes* ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของสิวอักเสบ เมื่อนำสารสกัดไปพัฒนาเป็นตำรับเจลและผ่านการทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง (Freeze thaw cycling) พบว่าตำรับที่มีส่วนผสมของ butylene glycol มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า pH ใกล้เคียงกับผิวหนังมากที่สุด อีกทั้งลักษณะอื่น ๆ ของเจลไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือไม่แยกชั้น มีสีและกลิ่นคงเดิม จึงเป็นตำรับที่มีศักยภาพในการนำไปทดสอบประสิทธิภาพทางคลินิกในการต้านสิวอักเสบในอาสาสมัครต่อไปในอนาคต

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมูลนิธิข้าวขวัญ จ.สุพรรณบุรี ซึ่งอนุเคราะห์รำข้าวมะลิแดงสำหรับใช้ในงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

โกวิท คัมภีรภาพ. (2553). *ผลิตภัณฑ์ (Cleansers) ทำความสะอาดผิวหนัง*. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2561 จาก สถาบัน

โรคผิวหนัง, กลุ่มงานโรคติดต่อ: [http://inderm.go.th/news/myfile/2256150037d725f5e2\\_cleansers.pdf](http://inderm.go.th/news/myfile/2256150037d725f5e2_cleansers.pdf)

นภดล นพคุณ และคณะ. (2553). *แนวทางการดูแลรักษาโรค Acne*. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2561 จาก สมาคมแพทย์

ผิวหนังแห่งประเทศไทย: [http://www.dst.or.th/files\\_news/Acne\\_2010.pdf](http://www.dst.or.th/files_news/Acne_2010.pdf)

ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร และคณะ. (2559). *การพัฒนาเวชสำอางชะลอความชราจากรำข้าวขวัญสุพรรณเพื่อเพิ่มมูลค่าข้าว*

พื้นเมือง. ใน *โครงการวิจัยปีงบประมาณ 2558*. มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. กรุงเทพมหานคร.

พรชนัน วชิโรดม. (2557). *การศึกษาฤทธิ์เวชสำอางชะลอการแก่ก่อนวัยของสารสกัดรำข้าวของข้าวเก่าสายพันธุ์*.

*ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น*.

สมาคมแพทย์ผิวหนังแห่งประเทศไทย. (2554). สืบค้นเมื่อ 17 มีนาคม 61 จาก Clinical practice guideline for acne.:

[www.dst.or.th](http://www.dst.or.th)

สุนิดา เมืองโคตร และคณะ. (2557). *การยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในคนจากสารสกัดกระเทียม หอมแดง และพริกแห้ง*

*คั่ว*. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2562 จาก <http://www.crdc.kmutt.ac.th/Data%202014/CRDC8/data/297-300.pdf>

Butsat S and Siriamornpun S. (2010). Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran

and endosperm of Thai rice. *Food Chemistry*, 119(2), 606-613.

- Dhouioui M. (2016). Fatty Acids Composition and Antibacterial Activity of *Aristolochia longa* L. and *Bryonia dioica* Jacq. Growing Wild in Tunisia. *Journal of Oleo Science*, 65(8), 655-661.
- Karimi E, Jaafar H ZE, Ghasemzadeh A & Ebrahimi M. (2015). Fatty acid composition, antioxidant and antibacterial properties of the microwave aqueous extract of three varieties of *Labisia pumila* Benth. *Biological Research*(48), 9.
- Laokuldilok, T., Shoemaker, C. F., Jongkaewwattana, S., & Tulyathan, V. (2011). Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented Rice Brans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 193-199.
- Limsuwan S, Trip EN, Kouwen T, et al. (2009). Rhodomyrtone : A new candidate as natural antibacterial drug from *Rhodomyrtus tomentosa*. *Phytomedicine*, 16(6-7), 645-651.
- Saising J, Hiranrat A Mahabusarakam W, Ongsakul M & Voravuthikunchai SP. (2008). RhodoRhodomyrtus tomentosa (Aiton) hassk. As a natural antibiotic for staphylococcal cutaneous. *Journal of Health Science*, 54(5), 589-595.
- Traidej Chomnawang M. (2007). Effect of *Garcinia mangostana* on inflammation caused by *Propionibacterium acnes*. *Fitoterapia*, 78(6), 401-408.
- Velichka Y Andonova. (2017, July). Carbopol hydrogel/sorbitan monostearate-almond oil. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(167), 1455-1463.
- Zaenglein A.L., and Thiboutot D.M. (2012). Acne Vulgaris. In *Dermatology*. In J. L. Bolognia, J. L., Jorizzo, R. P., Rapini(Eds): Philadelphia Elsevier, Mosby.
- Zaenglein, A.L, Grabe, E.M., Thiboutot, D.M.& Strauss J.S. (2008). Acne vulgaris and acneiform Eruption. In *In fitzpatrick's dermatology in general medicine*. USA, McGraw-Hill.

## **Efficacy of optimal dose and injection site of botulinum toxin for chronic anal fissure: Systematic review and meta-analysis**

Kasidin Vitoopinyoparb M.D.<sup>1</sup>, Putsarat Insin M.D.<sup>1</sup>, Kunlawat Thadanipon M.D., M.Sc.<sup>1</sup>, Sasivimol Rattanasiri, Ph.D.<sup>1</sup>, Ammarin Thakkinstian Ph.D.<sup>1</sup>  
Master of Science Program in Medical Epidemiology, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

### **Abstract**

In the recent decade, botulinum toxin (BT) injection has been applied for chronic anal fissure. However, various doses and techniques have been reported. A literature review showed that high-dose BT injected distantly from fissure BT (HDBT) was the appropriate technique. This meta-analysis aimed to compare HDBT with conventional treatment, i.e., surgery. We conducted a systematic literature review to identify all relevant randomized controlled trials (RCTs) by searching MEDLINE, Embase, CENTRAL, and Scopus. RCTs comparing between HDBT and surgery were included. Meta-analysis by fixed-effect model was used to pool risk ratios (RR). Four RCTs met the eligibility criteria and included, involving a total of 281 patients. The result showed that HDBT had a significantly less short term healing rate than surgery by 18%, RR = 0.82 (95% confidence interval: 0.75, 0.89), and had a significant, 4.18 times higher recurrence rate than surgery, RR = 4.18 (1.99, 8.81). However, HDBT had a non-significant, smaller short term incontinence rate than surgery, RR = 0.55 (0.20, 1.51). In conclusion, surgery still was the treatment of choice in terms of high short-term healing rate and low recurrence rate. However, HDBT showed a slightly (by < 20%) lower healing rate but less adverse effects than surgery, therefore it might be considered the first-line treatment for chronic anal fissure.

**Keywords:** Botulinum toxin; Chronic anal fissure; Dose; Injection technique; Meta-analysis

---

<sup>1</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

## Introduction

An anal fissure, a linear tear in distal anal canal, is a common and distressing problem. Despite no mortality, these symptoms are associated with significant reduced quality of life (Sailer, 1998). Surgical treatment, i.e., sphincterotomy is the treatment of choice for chronic anal fissure, with high cure rates of 90-97% (Perry, 2010). However, there is risk for incontinence in up to 20% after surgery. Botulinum toxin (BT) injections for anal fissure was first described in 1993 (Jost, 1993). BT binds locally to presynaptic nerve terminals at the neuromuscular junction, thereby preventing release of acetylcholine and resulting in temporary muscle paralysis (Beatty, 2016). Although the efficacy of BT, with healing in 60-80%, is less than surgery, it is well tolerated on the outpatient basis and its temporary effect reduces the rate of incontinence (Perry, 2010). Little evidence demonstrated the appropriate dosage and injection sites of BT. Brisinda et al. randomized 150 patients to receive treatment with Botox<sup>®</sup> at low dose (20 units) and high dose (30 units). At 2 months' evaluation, high-dose BT seemed to be more efficacious (96% vs. 89%; p-value=0.12) (Brisinda, 2002). Maria et al. randomized 50 patients to be injected with BT at different injection sites: at side of fissure and opposite to fissure. Two-month healing rate was higher in the group injected opposite to fissure (88% vs. 60%; p-value=0.025) (Maria, 2000). At present, there was no consensus on dosage, precise site of injection, or efficacy of BT in practice guidelines (Stewart, 2017). High dose and injection distant from fissure of BT seem to be the appropriate technique.

## Objectives

We aimed to compare the efficacy between BT, i.e., high dose injected distantly from fissure (HDBT), and surgery by performing meta-analysis.

## Research methodology

This study followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (Hutton et al., 2015). We performed a literature search in MEDLINE via PubMed and Scopus through September 15<sup>th</sup>, 2019. The search strategy was included the population (chronic anal fissure), intervention (BT), and outcome (healing, recurrence, and incontinence). No language restrictions were applied. Reference lists of review articles were also explored and manually searched for other relevant studies. Two reviewers (K.V. and P.I.) performed study selection independently. Studies were considered eligible for analysis if they: a) included adult patients with chronic anal fissure; b) were randomized clinical trials (RCTs) comparing between BT, which was high dose (i.e., > 20 units of onabotulinumtoxinA) and injected distantly from fissure, and surgery; c) had objective assessment of healing rate and recurrence in all participants. Studies which combined other interventions with BT were excluded. Dosage of abobotulinumtoxinA (i.e., Dysport<sup>®</sup>) was converted into equivalent of onabotulinumtoxinA (i.e., Botox<sup>®</sup>) by an equivalency ratio of 3:1 (Brisinda et al., 2004).

Data extraction and the risk of bias of studies were assessed independently by 2 reviewers (K.V. and P.I.) using the Revised Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials (Sterne et al., 2019). We resolved disagreements of study data extraction and risk of bias assessment between the 2 reviewers by discussion with a third reviewer (K.T.).

Meta-analysis of each treatment pair was performed by pooling risk ratios (RRs). Cochran's Q test and Higgins I<sup>2</sup> statistics were applied to assess heterogeneity. Fixed-effects model with the inverse-variance approach was used due to no evidence of heterogeneity (Cochran's Q test p-value > 0.10 and I<sup>2</sup> < 25%). Publication bias was assessed using Egger's test and visual assessment of funnel plot.

Stata 16.1 (Stata Corp., College Station, TX, USA) was used to perform statistical analysis. A 2-sided p-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

## Results

The entire searching and screening process of the literature is shown in the **Figure 1**. A total of 2,823 related articles published up to September 15<sup>th</sup>, 2019 were obtained. After screening and reviewing full-text studies, the remaining 4 articles were included in this review (Arroyo, 2005; Menten, 2003; Sahakitrungruang, 2011; Valizadeh, 2012). These studies involved a total of 281 participants. Mean age (standard deviation; SD) was 38.26 (12.12) and 37.50 (12.29) years in those receiving HDBT and surgery, respectively, while mean duration of symptoms (SD) was 15.24 (17.70) and 16.87 (15.45) months, respectively. Three studies used onabotulinumtoxinA and the other one used abobotulinumtoxinA. Total doses used ranged from 22 to 50 units of onabotulinumtoxinA equivalent. Three studies used 2 injection sites and the other used 3 sites. Median dilution and volume per each site were 50 units/ml (range: 25 to 50 units/ml) and 0.3 ml (range: 0.2 to 0.5 ml), respectively. The risk of bias of individual studies was assessed and all studies were scored as some concerns.

The results of the meta-analysis are presented in **Tables 1-3**. For the healing rate outcome, which was assessed within 3 months, the pooled RR (95% confidence interval) was 0.82 (0.75, 0.89) with no evidence of heterogeneity ( $I^2 = 0\%$ ; Q test: p-value = 0.47), suggesting that HDBT resulted in 18% less short term healing rate than surgery with statistical significance. For recurrence rate, the pooled RR was 4.18 (1.99, 8.81) with no evidence of heterogeneity ( $I^2 = 0\%$ ; Q test: p-value = 0.92), suggesting that HDBT had 4.18 times more recurrence than surgery with statistical significance. For short-term incontinence rate, the pooled RR was 0.55 (0.20, 1.51), with no evidence of heterogeneity ( $I^2 = 0\%$ ; Q test: p-value = 0.41), suggesting that HDBT resulted in 45% less short-term incontinence rate than surgery. However, this result was not statistically significant.

## Discussion

Surgery, the current treatment of choice, had a much higher cure rate than any form of medical therapy from previous studies. Chen et al. reported that surgery, i.e., lateral internal sphincterotomy was superior to BT injection in terms of healing rate and recurrence rate in pairwise meta-analysis, but BT injection had lower rate of incontinence (Chen et al., 2014). Ebinger et al. applied network meta-analysis and showed a significantly higher healing rate for anal fissures after sphincterotomy (surgery) than for all other treatment groups, but surgery also showed high rate of postoperative incontinence (Ebinger et al., 2017). In our review, the result shows the same direction with previous studies. For the primary objective, to determine the efficacious dosage and technique of BT injection, pairwise meta-analysis was applied to estimate the efficacy of BT in pre-specified dose and technique. High dose (> 20 units) injected distantly from fissure, chosen based on previous evidence, was hypothesized that its efficacy may be equal to surgery in the treatment of chronic anal pressure.

Our results demonstrated that HDBT had statistically significant 18% less short-term healing rate and 4.18 times more recurrence than surgery. However, HDBT had 45% less short-term incontinence rate than surgery, although not statistically significant. BT is a less invasive intervention and exerts temporary effects that might be enough to promote fissure healing. Usefulness of BT is still needed to be addressed further.

There are limitations in this review. Firstly, the number of included studies was small. Secondly, the doses of BT evaluated varied in the included studies. The results might



not be conclusive. Some aspects of injection technique were not evaluated, such as the number of injection sites, dilution of BT, or volume of BT per site, which might affect the efficacy of BT.

### **Recommendation**

Surgery was the treatment of choice for chronic anal fissure with higher short term healing rate and lower recurrence rate. High dose (> 20 units) of BT injected distantly from fissure had less efficacy than surgery, but also had less short-term incontinence rate. According to its temporary effect and less invasiveness, BT might be an efficacious first-line treatment for chronic anal fissure. Surgery might be reserved for refractory, non-healing anal fissure.

### **Acknowledgement**

I would like to offer my special thanks to my advisor team and my colleagues for their outstanding knowledge and their assistance of this research work.

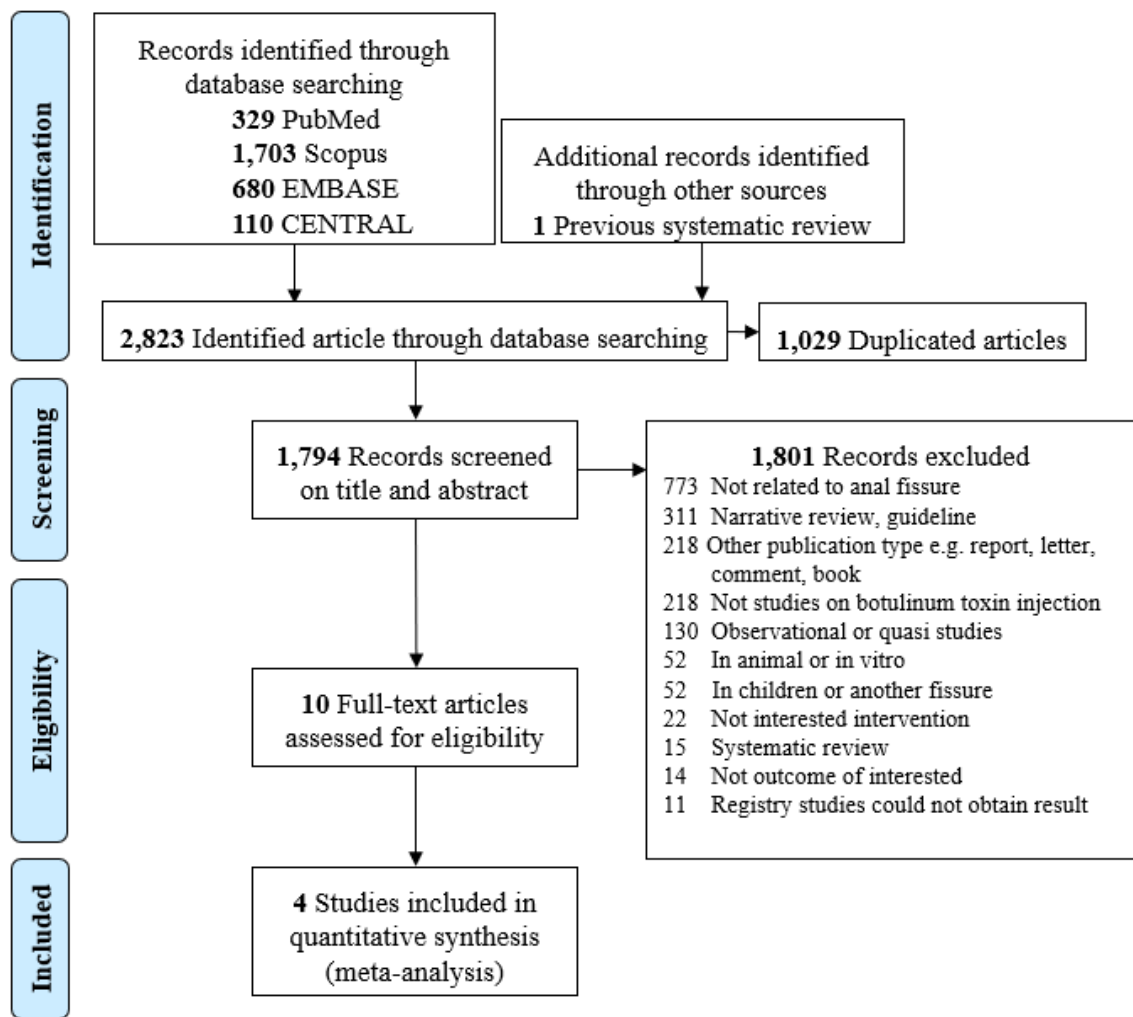
### **Funding**

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

### **References**

- Arroyo, A. (2005). Surgical versus chemical (botulinum toxin) sphincterotomy for chronic anal fissure: Long-term results of a prospective randomized clinical and manometric study. *American Journal of Surgery*, 189(4), 429-434. doi:10.1016/j.amjsurg.2004.06.045
- Beatty, J. S. (2016). Anal Fissure. *Clin Colon Rectal Surg*, 29(1), 30-37. doi:10.1055/s-0035-1570390
- Brisinda, G. (2002). Effectiveness of higher doses of botulinum toxin to induce healing in patients with chronic anal fissures. *Surgery*, 131(2), 179-184. doi:10.1067/msy.2002.119314
- Brisinda, G., Albanese, A., Cadeddu, F., Bentivoglio, A. R., Mabisombi, A., Marniga, G., & Maria, G. (2004). Botulinum neurotoxin to treat chronic anal fissure: results of a randomized "Botox vs. Dysport" controlled trial. *Aliment Pharmacol Ther*, 19(6), 695-701. doi:10.1111/j.1365-2036.2004.01895.x
- Chen, H. L., Woo, X. B., Wang, H. S., Lin, Y. J., Luo, H. X., Chen, Y. H., . . . Peng, J. S. (2014). Botulinum toxin injection versus lateral internal sphincterotomy for chronic anal fissure: A meta-analysis of randomized control trials. *Techniques in Coloproctology*, 18(8), 693-698. doi:10.1007/s10151-014-1121-4
- Ebinger, S. M., Hardt, J., Warschkow, R., Schmied, B. M., Herold, A., Post, S., & Marti, L. (2017). Operative and medical treatment of chronic anal fissures-a review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Gastroenterology*, 52(6), 663-676. doi:10.1007/s00535-017-1335-0
- Hutton, B., Salanti, G., Caldwell, D. M., Chaimani, A., Schmid, C. H., Cameron, C., . . . Moher, D. (2015). The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: checklist and explanations. *Ann Intern Med*, 162(11), 777-784. doi:10.7326/m14-2385

- Jost, W. H. (1993). Use of botulinum toxin in anal fissure. *Dis Colon Rectum*, 36(10), 974. doi:10.1007/bf02050639
- Maria, G. (2000). Influence of botulinum toxin site of injections on healing rate in patients with chronic anal fissure. *American Journal of Surgery*, 179(1), 46-50. doi:10.1016/S0002-9610(99)00255-X
- Mentes, B. B. (2003). Comparison of botulinum toxin injection and lateral internal sphincterotomy for the treatment of chronic anal fissure. *Dis Colon Rectum*, 46(2), 232-237. doi:10.1097/01.Dcr.0000044712.58674.09
- Perry, W. B. (2010). Practice parameters for the management of anal fissures (3rd revision). *Dis Colon Rectum*, 53(8), 1110-1115. doi:10.1007/DCR.0b013e3181e23dfe
- Sahakitrungruang, C. (2011). Long-term outcome of botulinum toxin injection for the treatment of chronic anal fissure: A randomized controlled trial. *Asian Biomedicine*, 5(3), 397-401. doi:10.5372/1905-7415.0503.051
- Sailer, M. (1998). Quality of life in patients with benign anorectal disorders. *Br J Surg*, 85(12), 1716-1719. doi:10.1046/j.1365-2168.1998.00958.x
- Sterne, J. A. C., Savović, J., Page, M. J., Elbers, R. G., Blencowe, N. S., Boutron, I., . . . Higgins, J. P. T. (2019). RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *Bmj*, 366, l4898. doi:10.1136/bmj.l4898
- Stewart, D. B., Sr. (2017). Clinical Practice Guideline for the Management of Anal Fissures. *Dis Colon Rectum*, 60(1), 7-14. doi:10.1097/dcr.0000000000000735
- Valizadeh, N. (2012). Botulinum toxin injection versus lateral internal sphincterotomy for the treatment of chronic anal fissure: Randomized prospective controlled trial. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 397(7), 1093-1098. doi:10.1007/s00423-012-0948-2



**Figure1.** Systematic review flow diagram

**Table 1** Results of meta-analysis of short-term healing rate

Treatment					RR (95% CI)	Weight (%)
First author, year	Number of patients					
	HDBT		Surgery			
	Heal	Non-heal	Heal	Non-heal		
Mentes 2003	45	16	49	1	0.75 (0.64, 0.88)	32.87
Arroyo 2005	34	6	39	1	0.87 (0.76, 1.00)	40.57
Sahakitrungruang 2011	15	5	20	0	0.76 (0.58, 0.98)	11.35
Valizadeh 2012	20	5	23	2	0.87 (0.69, 1.09)	15.2
Overall	Pooled RR (fixed effect)				0.82 (0.75, 0.89)	
Heterogeneity: $I^2 = 0\%$ , p-value = 0.84						

**Table 2** Results of meta-analysis of recurrence rate

Treatment					RR (95% CI)	Weight (%)
First author, year	Number of patients					
	HDBT		Surgery			
	Recur- rence	recur- rence	Recur- rence	recur- rence		
Mentes 2003	7	54	2	48	2.87 (0.62, 13.20)	23.8
Arroyo 2005	12	28	2	38	6.00 (1.43, 25.11)	27.06
Sahakitrungruang 2011	2	18	0	20	5.00 (0.26, 98.00)	6.26
Valizadeh 2012	12	13	3	22	4.00 (1.28, 12.47)	42.87
Overall	Pooled RR (fixed effect)				4.18 (1.99,8.81)	
Heterogeneity: $I^2 = 0\%$ , p-value = 0.92						

**Table 3** Results of pairwise meta-analysis for recurrence rate

Treatment					RR (95% CI)	Weight (%)
First author, year	Number of patients					
	HDBT		Surgery			
	Incon- tinence	Incon- tinence	Incon- tinence	Incon- tinence		
Arroyo 2005	2	38	3	37	0.67 (0.12, 3.78)	33.41
Sahakitrungruang 2011	3	17	4	16	0.75 (0.19, 2.93)	54.15
Valizadeh 2012	0	25	5	20	0.09 (0.01, 1.56)	12.43
Overall	Pooled RR (fixed effect)				0.55 (0.20, 1.51)	
Heterogeneity: $I^2 = 0\%$ , p-value = 0.41						

## **Efficacy of Botulinum toxin in Management of Equines Gait in Children with Spastic Cerebral palsy: A Systematic review and Meta-analysis**

Krongkaew Klaewkasikum<sup>1,2</sup>, Tanyaporn Patathong<sup>1,2</sup>, Patarawan Woratanarat<sup>1,2</sup>, Sakda Arj-Ong Vallibhakara<sup>2</sup>, Kunlawat Thadanipon<sup>2</sup>, Ammarin Thakkinstian<sup>2</sup>, Sasivimol Rattanasiri<sup>2</sup>

Program of master of science (Medical Epidemiology), Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University

### **Abstract**

**Background:** Botulinum toxin type A (BTX-A) is widely used to reduce spasticity in children with cerebral palsy. However, its effect on comparing with other treatments are still controversy.

**Objective:** To evaluated the efficacy of BTX on gait and range of ankle motion comparing to other treatments in spastic cerebral palsy children with dynamic equines foot.

**Method:** Studies were identified from PubMed and Scopus being run in June 2019. Studies were eligible if they assessed efficacy of BTX studies comparing to any of placebo, usual care, casting and physical therapy in ambulant children with spastic cerebral palsy presenting equines. Data and quality of the studies was extracted and evaluated by two reviewers. Risk ratio (RR) and unstandardized mean difference (USMD) was estimated with 95% confidence interval (CI).

**Results:** Ten RCTs comprising 404 participants, mean age was 5.06 years, and the mean passive ankle dorsiflexion was 6.91 degrees. Number of gait improvement was statistically significant higher in BTX-A than placebo (RRs= 2.64; 95 CI% 1.71, 4.07). Whereas, range of ankle dorsiflexion in BTX was not statistically significant difference from than casting (USMD=3.96; 95 CI% -6.01, 13.93). The combination of BTX-A and physical therapy was more efficacious than physical therapy alone to improve ankle dorsiflexion (USMD= 4.16; 95 CI% 1.54, 6.78).

**Conclusion:** BTX-X improves gait pattern than placebo. Its effect is also enhanced when combined with physical therapy. However, improvement ankle range of motion cannot be expected when compared with casting.

**Keywords:** spastic cerebral palsy/ equines/ botulinum toxin/ gait/ range of motion

---

<sup>1</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>Department of Orthopedics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

## **Introduction**

Equines is the most common deformity in spastic cerebral palsy (CP) which has an incidence rate of 75% (Banks & Green, 1958). Equines is the common deformity in spastic cerebral palsy (CP). The incidence of equines deformity among patients with spastic cerebral palsy is approximately 75% (the correction of equines Banks H 1958). The major cause of equines is spasticity of gastrocnemius complex (Gorter et al., 2004). Asymmetric muscle function brings to muscle contracture in part of plantar flexor muscle which limited ankle motion in plantar flexed position. This may lead to impair function and toe walking or equines gait (Stott, 2015). In addition, ambulation with equines may alter biomechanical function in gait. Moreover, equines foot may bring foot pathology (Miller, 2019) and had opportunity to develop fixed deformity. Thus, treating by improving efficiency gait and maintain range of ankle dorsiflexion may decrease disability later.

Botulinum toxin type A (BTX-A) is well-known and widely used to reduce spastic in patients with cerebral palsy. Previous systematic review and meta-analysis (Cardoso et al., 2006) showed that the efficacy of botulinum toxin was greater improvement of dynamic gait pattern and subjective assessment responding on the treatment than placebo group with mild adverse effect. However, there was still controversy evidence comparing the effect of BTX-A to other treatment options. In addition, previous study (Blackmore, Boettcher-Hunt, Jordan, & Chan, 2007) reviewed effects of casting, either alone or with BTX-A for treating equines gait in pediatric spastic cerebral palsy but there was limitation of quality of the study. In addition, this study is only a summary and explanation of the result. Besides, range of motion has not been included to investigate the effect of treatment on equines in any systematic review and meta-analysis. This systematic review and meta-analysis, we estimated the efficacy of botulinum toxin on gait and range of motion when compared to other treatments i.e. placebo, usual care, physical therapy and casting to manage dynamic equines deformity in children with ambulatory spastic cerebral palsy.

## **Objective**

To estimate mean difference and risk ratios of improvement of efficiency gait and ankle range of dorsiflexion when compared BTX-A to any of treatment i.e. placebo, usual care, physical therapy or casting in ambulant children who had spastic CP and equines gait.

## **Method**

### **Search Strategy and Study Eligibility**

PubMed and Scopus electronic databases were systematically searched up to June 2019 with keywords as follow: “children”, “spastic”, “cerebral palsy”, “equines”, “botulinum toxin”, “casting”, “physical therapy” “gait”, “range of motion” and we identified the studies in accordance with PRISMA guidelines and screened reference list of the selected articles with inclusion criteria were; (1) RCTs (2) assessed the effect of BTX comparing any of interventions among placebo, usual care, physical therapy or casting on gait, and/or range of ankle motion among ambulatory children with spastic cerebral palsy; (1) aged less than 18 years (2) ambulate by their self with or without gait aid (GMFCS level I-III), (3) dynamic equines deformity or spasticity of ankle plantar flexor grading 1-3. The selection of eligible studies was performed by the one author using title and abstract of the studies, based on the following inclusion and exclusion criteria. While, the other author will be randomly checked. If decision could not be made based on the abstracts, the full article will be reviewed.

## Data Extraction and statistical analysis

Data and quality of studies was extracted by two reviewers (K.K. and T.P.). The quality of eligible studies was assessed by using Revised Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials (RoB2). Number of gait improvement was estimated as risk ratio (RR) with 95% confidence interval (CI), and range of ankle dorsiflexion was estimated as unstandardized mean difference (USMD). A fixed-effect model was used to pool data when treatment effects were homogenous among studies, whereas a random-effect model was performed if there were heterogeneity. Between-studies heterogeneity was measured using  $I^2$  statistics (values <25% indicate low; 25%-75%, moderate; and >75%, high of heterogeneity) (Lin & Chu, 2018). Publication bias were assessed by funnel plot and Egger's test.

## Results

### Study selection and study characteristic

The search identified 4,876 eligible studies and two reviewers (K.K and T.P) screened title, abstract and full-text based on the inclusion and exclusion criteria. Ten articles of RCTs were included in meta-analysis after excluding insufficient data and no full-text articles. The details of selected studies are present in Figure 1.

The ten articles involving 404 participants, the mean ages were 5.06 years. (SD=1.87). There were 64.71% of male and 35.29% of female. The CP classification according limb distribution was reported as 23.99% of hemiplegia, 74.45% of diplegia and 1.56% of others (quadriplegia, triplegia and monoplegia). The average range of ankle dorsiflexion was 6.91 degrees (range, -8.2, 19.45 degrees). The mean follow-up period was 13.8 weeks (range, 4-48 weeks). There were only 1 study reporting the level of GMFCS, mostly studies reported only ability of ambulate. Of including 10 RCTs, the improvement of gait was described in 4 studies which compared between BTX-A versus placebo. Range of ankle motion was reported as passive ankle dorsiflexion with knee extension comprising 1 study of comparisons between BTX-A and placebo, 2 studies of comparisons between BTX-A and casting, and 2 studies of comparisons between BTX-A with physical therapy and physical therapy alone.

### Risk of bias assessment

The overall bias of 9 included studies present 4 studies of low risk of bias and 5 studies of some concern. Due to randomization process, there were not clearly described on method of allocation sequence random and concealment, even though, those studies informed that there was randomization. Therefore, the most response to answer was "no information" in randomization process.

### Pairwise meta-analysis

#### Number of gait improvement

Four studies (Koman, Mooney, Smith, Goodman, & Mulvaney, 1994; Koman, Mooney, Smith, Walker, & Leon, 2000; Sutherland, Kaufman, Wyatt, Chambers, & Mubarak, 1999; Ubhi, Bhakta, Ives, Allgar, & Roussounis, 2000) assessed the effect of BTX-A on number of gait improvement which were assessed by using difference gait assessment scale (PRS and VGA) comparing with usual care. The result showed that BTX-A had statistically significant higher number of gait improvement than placebo or usual care at 6-12 weeks (RRs = 2.64, 95 CI%; 1.71, 4.07). Two of four studies

(Koman et al., 1994; Ubhi et al., 2000) indicated education and allowed routine physical therapy to children and parent.

#### Passive ankle dorsiflexion with knee extension

For comparing the effect between BTX-A and casting of two studies (Corry et al., 1998; Flett et al., 1999), BTX-A was not statistically significant difference from casting (USMD=3.96; 95 CI% -6.01, 13.93). On the other hand, two studies (El-Etribi, Salem, El-Shakankiry, El-Kahky, & El-Mahboub, 2004; Kaishou, Tiebin, & Jianning, 2009) which evaluated the effect of BTX-A plus physical therapy versus physical therapy alone showed that BTX-A plus physical therapy had more statically significant improved about 4.16 degrees of passive ankle dorsiflexion with knee extension than physical therapy alone (USMD= 4.16; 95 CI% 1.54, 6.78).

### Discussion

This systematic review and meta-analysis was conducted to assess efficacy of BTX-A comparing with other treatments i.e., placebo, physical therapy and casting in children with spastic cerebral palsy presenting equines gait to improve efficiency gait and range of ankle dorsiflexion. Most of children aged range early to middle childhood which can ambulate by their self with/without assistance with mild equines deformity. Our study demonstrated that treating by BTX-A was more efficacious than placebo or usual care to improve gait pattern. Whereas, BTX-A was similar efficacious to casting for improving passive range of ankle dorsiflexion. Besides, treating of BTX-A was combined with other treatment i.e. physical therapy to increase efficacy of treatment. The combination of BTX-A and physical therapy had more efficacious to improve passive ankle dorsiflexion with knee extension than physical therapy alone. However, previous study showed that BTX-A had more adverse event than placebo or usual care (Cardoso et al., 2006), whereas application of casting may cause of skin irritation or breakdown and foot or calf pain (Blackmore et al., 2007).

The previous systematic review and meta-analysis (Cardoso et al., 2006) showed significant result of improving dynamic gait pattern in children who received BTX-A comparing with placebo same as our study. Due to biochemistry of BTX-A, it acts to bind with presynaptic membrane of cholinergic motor neurons without destroying neuromuscular junction and blocks neuromuscular function result in reduced muscle activity (Koman et al., 1994). However, there was the difference of reporting number of gait improvement even though we had included same studies. The magnitude of treatment effect of previous study (Peto odds ratio= 3.99; 95% CI 1.89, 8.44) was greater than our study (RRs= 2.64; 95% CI 1.71, 4.07), this might be the estimation of Peto odds ratio resulting in overestimated effect. For the non-significant difference result of the efficacy of comparing between BTX-A and casting, passive range of ankle dorsiflexion was same as the previous systematic review (Blackmore et al., 2007). However, it was not strong evidence due to limitation of number of included studies.

Our study used search term which was clearly defined and developed by specialists in the content without limited English language and using two big databases. This can bring to identify most relevant studies for a systematic review. Moreover, range of ankle motion had been added in our study. The gait assessment scale i.e. PRS and VGA evaluated other part which may effect on compensatory of gait and see overall gait pattern. Furthermore, the study was about 80% of low risk and some concern of risk of bias and not present publication bias. However, there were several limitations of the study. Lack of some information described characteristics of patient and variations of characteristic of the study



including age, range of equines or passive range of ankle dorsiflexion with knee extension at baseline, score of Modified Asworth scale (MAS) including characteristic of intervention affected the result of the study. The included studies had small studies and the RCTs had small number of sample size in each treatment arm including short follow-up time resulting in week evidences.

Although, BTX-A was effectiveness to improve gait pattern and ankle movement but there was still limitations of cost and side effects. This study would help parent, physician and physiotherapist to decide treatment options. Our study recommend that casting may be another treatment option which was benefit similar to BTX-A and cheaper than BTX-A (Corry et al., 1998). However, preference of treatment depended on perception of individual's child. The increasing efficacy of treatment for improving ankle movement by combining between BTX-A and physical therapy was more effectiveness than physical therapy alone to prevent deformity.

### **Conclusion**

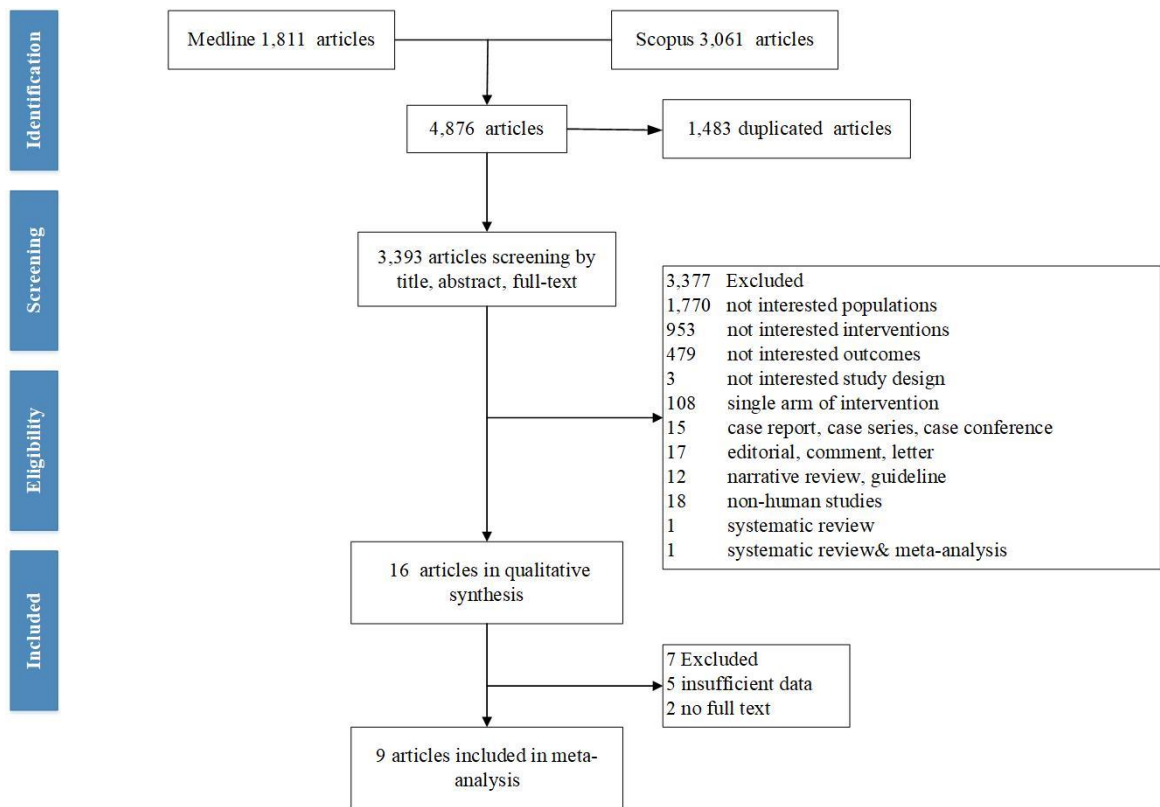
The injection of BTX-A is well-known for treating spasticity in children with spastic cerebral palsy but there was still controversy compared efficacy to other treatment. This study suggested BTX-A improve gait pattern more than placebo and its effect with physical therapy was more effectiveness than physical therapy alone to for improving ankle dorsiflexion. Whereas BTX-A was not difference from efficacy of casting. However, this study could not investigate which one is the best option between BTX-A and physical therapy. Further study is need to evaluate on other outcomes that is useful for global decision i.e. the International Classification of Functioning disability and health (ICF) body function and structure and activity including quality of life. Moreover, evaluating of long-term effect of treatment and establishing strong methodology by clearly stated randomization process and concealment of RCTs should more consider. In addition, descriptive characteristic of population is useful for selecting appropriate treatment i.e. severity and age because these factors have an effected on treatment. Moreover, dose-respond and adverse event is more need to investigate in further.

## Reference

- Banks, H. H., & Green, W. T. (1958). The correction of equinus deformity in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am*, *40-a*(6), 1359-1379.
- Blackmore, A. M., Boettcher-Hunt, E., Jordan, M., & Chan, M. D. (2007). A systematic review of the effects of casting on equinus in children with cerebral palsy: an evidence report of the AACPD. *Dev Med Child Neurol*, *49*(10), 781-790. doi:10.1111/j.1469-8749.2007.00781.x
- Cardoso, E. S., Rodrigues, B. M., Barroso, M., Menezes, C. J., Lucena, R. S., Nora, D. B., & Melo, A. (2006). Botulinum toxin type A for the treatment of the spastic equinus foot in cerebral palsy. *Pediatr Neurol*, *34*(2), 106-109. doi:10.1016/j.pediatrneurol.2005.08.010
- Corry, I. S., Cosgrove, A. P., Duffy, C. M., McNeill, S., Taylor, T. C., & Graham, H. K. (1998). Botulinum toxin A compared with stretching casts in the treatment of spastic equinus: a randomised prospective trial. *J Pediatr Orthop*, *18*(3), 304-311.
- El-Etribi, M. A., Salem, M. E., El-Shakankiry, H. M., El-Kahky, A. M., & El-Mahboub, S. M. (2004). The effect of botulinum toxin type-A injection on spasticity, range of motion and gait patterns in children with spastic diplegic cerebral palsy: an Egyptian study. *Int J Rehabil Res*, *27*(4), 275-281. doi:10.1097/00004356-200412000-00004
- Flett, P. J., Stern, L. M., Waddy, H., Connell, T. M., Seeger, J. D., & Gibson, S. K. (1999). Botulinum toxin A versus fixed cast stretching for dynamic calf tightness in cerebral palsy. *J Paediatr Child Health*, *35*(1), 71-77.
- Gorter, J. W., Rosenbaum, P. L., Hanna, S. E., Palisano, R. J., Bartlett, D. J., Russell, D. J., . . . Wood, E. (2004). Limb distribution, motor impairment, and functional classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *46*(7), 461-467. doi:10.1017/S0012162204000763
- Kaishou, X., Tiebin, Y., & Jianning, M. (2009). A randomized controlled trial to compare two botulinum toxin injection techniques on the functional improvement of the leg of children with cerebral palsy. *Clin Rehabil*, *23*(9), 800-811. doi:10.1177/0269215509335295
- Koman, L. A., Mooney, J. F., 3rd, Smith, B. P., Goodman, A., & Mulvaney, T. (1994). Management of spasticity in cerebral palsy with botulinum-A toxin: report of a preliminary, randomized, double-blind trial. *J Pediatr Orthop*, *14*(3), 299-303.
- Koman, L. A., Mooney, J. F., 3rd, Smith, B. P., Walker, F., & Leon, J. M. (2000). Botulinum toxin type A neuromuscular blockade in the treatment of lower extremity spasticity in cerebral palsy: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. BOTOX Study Group. *J Pediatr Orthop*, *20*(1), 108-115.
- Lin, L., & Chu, H. (2018). Quantifying publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, *74*(3), 785-794. doi:10.1111/biom.12817
- Miller, F. (2019). Ankle Equinus in Cerebral Palsy. In F. Miller, S. Bachrach, N. Lennon, & M. O'Neil (Eds.), *Cerebral Palsy* (pp. 1-24). Cham: Springer International Publishing.
- Stott, N. S. (2015). Chapter 8 - Cerebral Palsy. In K. Rome & P. McNair (Eds.), *Management of Chronic Conditions in the Foot and Lower Leg* (pp. 214-250): Churchill Livingstone.
- Sutherland, D. H., Kaufman, K. R., Wyatt, M. P., Chambers, H. G., & Mubarak, S. J. (1999). Double-blind study of botulinum A toxin injections into the gastrocnemius

muscle in patients with cerebral palsy. *Gait Posture*, 10(1), 1-9. doi:10.1016/s0966-6362(99)00012-0

Ubhi, T., Bhakta, B. B., Ives, H. L., Allgar, V., & Roussounis, S. H. (2000). Randomised double blind placebo controlled trial of the effect of botulinum toxin on walking in cerebral palsy. *Archives of disease in childhood*, 83(6), 481-487. doi:10.1136/ad.83.6.481



**Figure1** Flow chart of study selection

**Title:** Association of neck circumference with hypertension: a systematic review and meta-analysis

**Author:** Sagar Tiwari, Sakda Arj-ong Vallibhakara, Ph.D., Ammarin Thankkinstian Ph.D., Kunlawat Thadanipon, M.Sc. Master of Science Program in Medical Epidemiology, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

### **Abstract**

Many studies assessed the association between neck circumference (NC) and hypertension (HT) but their results were conflicting. Therefore, we conducted this systematic review and meta-analysis to assess the overall association of NC with HT in adults. Studies were identified from MEDLINE and Scopus databases up to December 2019. Meta-analysis was performed to pool odds ratio using a random-effect model if heterogeneity was present, otherwise, a fixed-effect model was used. Heterogeneity was assessed by Q test and  $I^2$ . Seventeen studies were eligible for analysis. Our results indicated that females and males with high NC were 1.88 (1.36, 2.58) and 1.63 (1.26, 2.11) times higher odds of HT than females and males with low NC. In addition, each unit rising in NC also showed an increased risk of HT of 1.13 (1.07, 1.19) and 1.13 (1.07, 1.19) in females, and male respectively. In conclusion, we found a positive association between NC and HT in adults.

**Keywords:** Adults, Neck circumference, Risks, Hypertension, Meta-analysis

### **Introduction**

Hypertension (HT) if prevented and diagnosed at earlier stage can decrease its risk of complications like cardiovascular disease, renal disease, retinopathy and even sudden death (Ogah et al., 2012). Obesity is an important factor that increases the risk of HT (Aneja et al., 2004). Studies had proposed the relation of indicators of whole body fat and central obesity i.e., body mass index (BMI) and waist circumference (WC) with the risk of HT (Brown et al., 2000; Leung et al., 2011). Despite this, both of them have limitations (Joshi et al., 2016). Measurement of WC may be discomfort in some situation like in female, severely obese, bed ridden and its accuracy is also affected by abdominal content, gases, pregnancy, and clothing. Neck circumference (NC) is recently used anthropometry, which is simplified, more practical for clinician, independent of time of measurement, time saving, and is not effected by patient position or respiratory cycle (inhale or exhale) (Ben-Noun et al., 2001). NC is assumed as a marker of subcutaneous fat distribution in upper body and is better in distinguishing HT than WC (Assyov et al., 2017). The accurate mechanism about the association between NC and HT still lacks. The abnormal free fatty acid release from upper body subcutaneous may affect the arterial BP ultimately developing HT by the endothelial cell dysfunction (Kurukulasuriya et al., 2011). Several studies showed associations between NC and HT but their results were controversial. A few meta-analyses (MA) (Moradi et al., 2019; Namazi et al., 2018) were therefore conducted by including 4 and 5 studies, which found significant positive associations of NC and HT. However, they had combined effects of continuous and categorical NC. In addition, some additional studies have been published since the previous MAs. Therefore, we conduct the study to update the pooling effects of NC on HT stratifying by gender.

## Methods

### Selection of studies

Studies were identified from MEDLINE and Scopus from initiation to December 2019. Two reviewers independently selected the studies based on the following inclusion criteria: original observational studies conducted in adults aged 18 years or older, reported association of NC with HT as odds ratio (OR) along with 95% confidence interval (CI). We excluded the following studies: multiple publications, insufficient data for pooling, and publications that could not be translated into English.

### Data extraction and risk of bias assessment

Two reviewers independently extracted the data using a standardized data extraction form. NC, as the exposure could be categorized as high versus low accordingly to original studies, or it could be continuous data. HT outcome was also defined according to original studies (SBP  $\geq$ 140 or DBP  $\geq$  90 mmHg (Whelton et al., 2018). The risk of bias assessment was performed using the Newcastle Ottawa scale (Zeng et al., 2015). Any disagreement was resolved with the discussion with advisors (A.T., S.V., and K.T.).

### Statistical analysis

ORs of high versus low NC and HT were estimated for individual studies. These were pooled using a fixed-effect model by the inverse variance method if heterogeneity was not present. Otherwise, the random-effects model by the method of DerSimonian and Laird was used. Q test (Thompson et al., 2001) and  $I^2$  statistics were applied to assess heterogeneity between studies, which was considered as low if the p-value was greater than 0.1 or  $I^2$  statistic < 25%. Publication bias was assessed by funnel plot and Egger's test if necessary contour-enhanced funnel plot was used. All analyses were performed in Stata version 16.1. Two-sided  $p < 0.05$  was considered statistically significant, but for heterogeneity,  $p < 0.1$  was used.

## Result

Seventeen studies from the total 1072 identified studies were selected for analysis. Among them 8 and 7 studies have data of ORs of high versus low NC on the occurrence of HT in male and female respectively. Six and 7 studies had data of ORs on the occurrence of HT for each unit rise in NC for male, female respectively. Eight and 9 studies were conducted in Asia and non-Asia countries respectively. Most studies (16/17) were of good quality, and (1/17) was of fair quality.

### High versus low NC and HT

Effects of high versus low NC on HT were varied across 7 and 8 studies in females and males with the  $I^2$  of 81.41% and 74.60%, respectively. Pooled ORs (95% CI) in these corresponding genders were 1.88 (1.36, 2.58) and 1.63 (1.26, 2.11) indicating significantly associated between high NC and HT. Publication bias was assessed and there was no evidence of publication bias for these pooling.

### Continuous NC and HT

The effect of each unit increase in NC on HT were varied across 7 and 6 studies in females and males with the  $I^2$  of 88.51% and 85.07% respectively. Our pooling indicated that for every one increasing NC would increase odds of HT of 1.13 (1.07, 1.19) and 1.13 (1.07, 1.19) in females and males respectively. Considering studies from Asia and non-Asia, the pooled ORs were 1.15 (1.05, 1.25) and 1.10 (1.06, 1.14) respectively for females whereas these were 1.16 (1.07, 1.27) and 1.08 (1.04, 1.12) in males. Publication bias was absent in all these pooling.

### Discussion

We have performed a meta-analysis by including 12 studies for both females and males. Our studies found that high NC was significantly associated with HT in both genders. NC was recently introduced as a simple, non-invasive, time-saving anthropometric measurement for obesity (Ben-Noun et al., 2001; Kroll et al., 2017) and measured below the larynx (thyroid cartilage) with the perpendicular to the longitudinal axis of the neck (LaBerge et al., 2009). Upper body fat accumulation is affected by NC and its role in the incidence of cardio metabolic disorders is well known (Jensen et al., 2008; Torriani et al., 2014). The result for the pooled analysis of our study showed that NC was positively associated with the risk of HT, which was consistent with the previous MAs (Moradi et al., 2019; Namazi et al., 2018) However, both these MAs pooled the different effect sizes i.e. NC as a categorical and continuous variable together. Apart from this, our study includes 10 studies (Alfie et al., 2012; Borel et al., 2018; Fu et al., 2019; He et al., 2019; Joshipura et al., 2016; Laakso et al., 2002; Laohabut et al., 2019; Li et al., 2019; Min et al., 2014; Todea et al., 2016) from those included in previous MAs. We also pooled the different effect sizes separately for males and females. Significant pooled ORs from our study among the study from Asia was inconsistent with the non-significant pooled ORs from previous MA (Moradi et al., 2019), which is probably due to more number of studies included in our studies as well as pooling the different effect size separately. Study has suggested that NC can be used in guidelines for assessing obesity mainly when the other anthropometric measures are not available, convenient, and feasible (Joshipura et al., 2016).

### Conclusion

Finding from the current meta-analysis of observational studies suggested that the high NC increases the risk of NC among both male and females. A result of this study can introduce NC as a predictor of HT among adults. More future prospective cohort studies will need to prove and simplify this association.

### Acknowledgement

I am extremely grateful to Prof. Ammarin Thakkinstian, Assoc. Prof. Sasivimol Rattanasiri, Asst. Prof. Sakda Arj-Ong Vallibhakara, and Dr.Kunlawat Thadanipon for their outstanding knowledge, helpful advice and valuable assistance. I would like to extend my special appreciation to Assoc. Prof.col. Nakarin Sansanayudh for his expert review and suggestions This research was conducted sucessfully with their passionate participation and input. I would like to thank Dr. Amarit Tansawet who have been an exceptional co-reviewer for his valuable comments and suggestions on this thesis. I would like to express my immeasurable appreciation, deepest gratitude to all the CEB administration officers.

Finally, I must express my very profound gratitude to my family for providing me with unfailing support and valuable encouragement. Thank you

Sagar Tiwari

## REFERENCES

- Alfie, J., Díaz, M., Páez, O., Cufaro, P., Rodríguez, P., Fábregues, G., . . . Marin, M. J. (2012). Relationship between neck circumference and hypertension in the National Registry on Hypertension (The RENATA study). *Revista Argentina de Cardiología*, *80*(4), 275-279.
- Ben-Noun, L., Sohar, E., & Laor, A. (2001). Neck circumference as a simple screening measure for identifying overweight and obese patients. *Obes Res*, *9*(8), 470-477.
- Borel, A. L., Coumes, S., Reche, F., Ruckly, S., Pepin, J. L., Tamisier, R., . . . Arvieux, C. (2018). Waist, neck circumferences, waist-to-hip ratio: Which is the best cardiometabolic risk marker in women with severe obesity? The SOON cohort. *PLoS One*, *13*(11), e0206617
- Fu, W., Zou, L., Yin, X., Wu, J., Zhang, S., Mao, J., . . . Lu, Z. (2019). Association between neck circumference and cardiometabolic disease in Chinese adults: a community-based cross-sectional study. *BMJ Open*, *9*(12), e026253.
- He, H., Pan, L., Liu, F., Ma, J., Wang, L., Hu, Z., . . . Shan, G. (2019). Neck circumference as an indicator of elevated blood pressure independent from body composition: implications from the China nation health survey (CNHS). *BMC Cardiovasc Disord*, *19*(1), 244.
- Jensen, M. D. (2008). Role of body fat distribution and the metabolic complications of obesity. *J Clin Endocrinol Metab*, *93*(11 Suppl 1), S57-63. doi:10.1210/jc.2008-1585
- Joshiyura, K., Munoz-Torres, F., Vergara, J., Palacios, C., & Perez, C. M. (2016). Neck Circumference May Be a Better Alternative to Standard Anthropometric Measures. *J Diabetes Res*, *2016*, 6058916.
- Kroll, C., Mastroeni, S. S., Czarnobay, S. A., Ekwaru, J. P., Veugeliers, P. J., & Mastroeni, M. F. (2017). The accuracy of neck circumference for assessing overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Annals of human biology*, *44*(8), 667-677.
- Laakso, M., Matilainen, V., & Keinanen-Kiukaanniemi, S. (2002). Association of neck circumference with insulin resistance-related factors. *Int J Obes Relat Metab Disord*, *26*(6), 873-875. doi:10.1038/sj.ijo.0802002
- LaBerge, R. C., Vaccani, J. P., Gow, R. M., Gaboury, I., Hoey, L., & Katz, S. L. (2009). Inter- and intra-rater reliability of neck circumference measurements in children. *Pediatric pulmonology*, *44*(1), 64-69.
- Laohabut, I., Udol, K., Phisalprapa, P., Srivanichakorn, W., Chaisathaphol, T., Washirasaksiri, C., . . . Auesomwang, C. (2019). Neck circumference as a predictor of metabolic syndrome: A cross-sectional study. *Prim Care Diabetes*. doi:10.1016/j.pcd.2019.08.007
- Li, Y., Liu, Y., He, J., Ma, P., Yu, L., & Sun, G. (2019). The association of wrist circumference with hypertension in northeastern Chinese residents in comparison with other anthropometric obesity indices. *PeerJ*, *7*, e7599.
- Min, H. J., Park, A. Y., Kim, D. H., Lee, J. G., Park, S., & Cho, H. J. (2014). Neck circumference and lowest oxygen saturation are independently associated with high coexistence of hypertension in obstructive sleep apnea. *Yonsei Med J*, *55*(5), 1310-1317.



- Moradi, S., Mohammadi, H., Javaheri, A., Ghavami, A., & Rouhani, M. H. (2019). Association Between Neck Circumference and Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Horm Metab Res*, 51(8), 495-502. doi:10.1055/a-0957-3256
- Namazi, N., Larijani, B., Surkan, P., & Azadbakht, L. (2018). The association of neck circumference with risk of metabolic syndrome and its components in adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 28(7), 657-674.
- Thompson, S. G. (2001). Why and how sources of heterogeneity should be investigated. *Systematic reviews in health care: meta-analysis in context*, 157-175.
- Todea, D. A., Bondei, I. M. T., & Coman, A. C. (2016). *Arterial hypertension and obstructive sleep apnea - Challenges of association*. Paper presented at the 5th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering, EHB 2015.
- Torriani, M., Gill, C. M., Daley, S., Oliveira, A. L., Azevedo, D. C., & Bredella, M. A. (2014). Compartmental neck fat accumulation and its relation to cardiovascular risk and metabolic syndrome. *Am J Clin Nutr*, 100(5), 1244-1251.
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Jr., Collins, K. J., Dennison Himmelfarb, C., . . . Wright, J. T., Jr. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 138(17), e426-e483. doi:10.1161/cir.0000000000000597
- Zeng, X., Zhang, Y., Kwong, J. S., Zhang, C., Li, S., Sun, F., . . . Du, L. (2015). The methodological quality assessment tools for preclinical and clinical studies, systematic review and meta-analysis, and clinical practice guideline: a systematic review. *Journal of evidence-based medicine*, 8(1), 2-10.
- Aneja, A., El-Atat, F., McFarlane, S. I., & Sowers, J. R. (2004). Hypertension and obesity. *Recent Prog Horm Res*, 59, 169-205. doi:10.1210/rp.59.1.169
- Assyov, Y., Gateva, A., Tsakova, A., & Kamenov, Z. (2017). A comparison of the clinical usefulness of neck circumference and waist circumference in individuals with severe obesity. *Endocr Res*, 42(1), 6-14. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/07435800.2016.1155598?needAccess=true>. doi:10.3109/07435800.2016.1155598
- Brown, C. D., Higgins, M., Donato, K. A., Rohde, F. C., Garrison, R., Obarzanek, E., . . . Horan, M. (2000). Body mass index and the prevalence of hypertension and dyslipidemia. *Obes Res*, 8(9), 605-619.
- Leung, L. C., Sung, R. Y., So, H.-K., Wong, S. N., Lee, K. W., Lee, K. P., . . . Chim, S. (2011). Prevalence and risk factors for hypertension in Hong Kong Chinese adolescents: waist circumference predicts hypertension, exercise decreases risk. *Archives of disease in childhood*, 96(9), 804-809.
- Ogah, O. S., Okpechi, I., Chukwuonye, I. I., Akinyemi, J. O., Onwubere, B. J., Falase, A. O., . . . Sliwa, K. (2012). Blood pressure, prevalence of hypertension and hypertension related complications in Nigerian Africans: A review. *World journal of cardiology*, 4(12), 327.
- Kurukulasuriya, L. R., Stas, S., Lastra, G., Manrique, C., & Sowers, J. R. (2011). Hypertension in obesity. *Med Clin North Am*, 95(5), 903-917. doi:10.1016/j.mcna.2011.06.004

# การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากอุตุพิตที่มีผลต่อเซลล์ไฟโบรบลาสจากเอ็มบริโอไก่ Cytotoxicity of Crude Extract from *Typhonium trilobatum* on chick embryo cell culture.

ณิชนันท์ บุญสุข<sup>1</sup>  
Nitchanan Boonsuk<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

อุตุพิต (*Typhonium trilobatum*) เป็นพืชล้มลุก พบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคในตำรายาแพทย์พื้นบ้าน เช่น อาการโรคผิวหนัง ผื่นหนอง กัดเถาดานในท้อง แก้ก้องผูก เป็นต้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากหัวอุตุพิตที่สกัดด้วยน้ำ ที่มีผลต่อเซลล์ไฟโบรบลาสจากเอ็มบริโอไก่ในหลอดทดลอง ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) ที่มี Fetal Bovine Serum (FBS) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการเพาะเลี้ยงเซลล์จำนวน  $5 \times 10^5$  เซลล์ต่อหลุม จากนั้นทดสอบด้วยสารสกัดหยาบจากอุตุพิตที่ความเข้มข้น 1000, 500, 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay พบว่าสารสกัดหยาบจากอุตุพิตที่ความเข้มข้น 1000, 500, 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรนั้นไม่พบความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสจากเอ็มบริโอไก่ โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำสมุนไพรไปใช้ต่อยอด หรือการพัฒนาตำรับยารักษาโรคชนิดอื่นๆได้อีก

**คำสำคัญ:** ความเป็นพิษต่อเซลล์, เอ็มบริโอไก่

## Abstract

*Typhonium trilobatum* is a biennial plant. Found throughout all regions of Thailand. It has medicinal properties in folk medicine such as dermatitis, abscesses, pus bites in the stomach, constipation, etc. Therefore, this study aims to the toxicity of extracts from water. That affects fibroblasts from chicken embryos in vitro cultured in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) +10 percent Fetal Bovine Serum (FBS) by culturing  $5 \times 10^5$  cells per well. After that, the crude extracts were extracted from the concentrate at concentrations of 1000, 500, 100 and 10 milligrams per milliliter for 24 hours and the cytotoxicity by using MTT assay was showed no toxicity to fibroblasts from chicken embryos. The results of this study will be useful to use herbs for further expansion. Or the development of other medicines.

**Keyword:** Cytotoxicity, chicken embryos, MTT assay

---

ภาควิชาเภสัชกรรมแผนไทย คณะเภสัชศาสตร์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40000 ประเทศไทย  
Department of Thai Pharmacy, Faculty of Pharmaceutical science, Khonkaen University, Khonkaen 40000, Thailand.

## บทนำ

ปัจจุบันนี้พืชสมุนไพรกำลังเป็นที่นิยมและถูกสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนามากขึ้น อีกทั้งสมุนไพรแต่ละชนิดยังมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เป็นแหล่งที่มาของสารพฤกษเคมีที่สำคัญๆ อุตุนิยม (Typhonium trilobatum) จัดอยู่ในวงศ์ Araceae เป็นพืชล้มลุก พบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และพบเจอได้ทั่วไปในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคในตำรายาแพทย์พื้นบ้าน เช่น อาการโรคผิวหนัง ผื่นหนอง กัดเถาดานในท้อง แก้ก้อนผูก เป็นต้น จากรายงานการศึกษาวิจัยพบว่า มีสรรพคุณลดอาการอักเสบ โดยมีการศึกษาในหนูทดลองพบว่าสารสกัดจากใบอุตุนิยมมีฤทธิ์รักษาแผลเบาหวาน ด้านการอักเสบ ระบุปวด (Ali et al, 2012) อย่างไรก็ตามพืชชนิดนี้ยังไม่เป็นที่สนใจแก่คนทั่วไปนัก รวมถึงข้อมูลด้านเภสัชวิทยายังมีอยู่น้อย อีกทั้งยังขาดข้อมูลด้านความเป็นพิษต่อเซลล์อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัด และนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาสมุนไพรและคิดค้นงานวิจัยต่อไป

การที่จะนำสารสกัดใดมาใช้เป็นยานั้นต้องมีข้อมูลความปลอดภัยก่อนที่จะนำมาบริโภค โดยเฉพาะระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อเซลล์หรือระดับความเข้มข้นที่ร่างกายยอมรับได้ และส่วนใหญ่ได้นำพืชสมุนไพรที่มีการพัฒนามาใช้เป็นยานั้นยังไม่มี การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity screening) และพืชสมุนไพรที่มีการทดลองในสัตว์แล้วนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ข้อมูลเบื้องต้นในระดับเซลล์ได้ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์จากเอ็มบริโอไก่ของสารสกัดหยาบจากหัวอุตุนิยม ด้วยวิธี MTT assay

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดหยาบจากหัวอุตุนิยมที่มีผลต่อความอยู่รอดของเซลล์ไฟโบรบลาสต์จากเอ็มบริโอไก่ในหลอดทดลอง ด้วยวิธี MTT assay

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมสารสกัด

ล้างพื้นที่เก็บอุตุนิยมจากสำนักสงฆ์ไชยบวร อ.โพธิ์ทะเล จ.พิจิตร ประเทศไทย จากนั้นล้างให้สะอาดและตัดเอาเฉพาะส่วนหัว หั่น และนำเข้าอบที่ตู้อบสมุนไพร ที่อุณหภูมิ 50 องศา อบนานจนกว่าน้ำหนักแห้งของสมุนไพรจะไม่ลดลง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด และทำการร่งด้วยแรงเบอร์ 60 เก็บผงสมุนไพรไว้ทำการสกัดต่อไป

ซึ่งผงสมุนไพร 20 กรัม นำไปต้มกับน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ต้มจาก 3 ส่วน ให้เหลือ 1 ส่วน จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง และนำไปทำให้สารสกัดแห้งโดยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้ และเก็บสารสกัดหยาบไว้ที่ตู้แช่ 4 องศา เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

### การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

ก่อนการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ chicken embryonic fibroblast primary cell culture โดยนำไข่ไก่ที่ได้รับการผสมแล้วอายุ 7-10 วัน มาแกะทะาะเปลือกแล้วแยกเอาเอ็มบริโอออกมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยกรรไกรใน HBSS/PBS จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) 1500g 1 นาทีเพื่อล้างแล้วดูส่วน

ของเหลวออก จากนั้น เติม 0.25% trypsin โดยต้องละลายใน HBSS ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 15 นาที จากนั้น remove supernatant ออกไป เตรียม 0.1% trypsin ปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยต้องละลายใน HBSS เติม 0.1% trypsin ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 15 นาที ดูดเก็บส่วน supernatant ทำซ้ำ 3 ครั้ง จะได้ส่วน supernatant รวมเป็น 15 มิลลิลิตร จากนั้น Centrifuge 1500g 5 นาที จากนั้นดูด solution ออก เติม DMEM ลงไป เพื่อละลายเขย่าให้เข้ากันนำ cell ที่ได้ มาใส่ petri dish บ่มที่ 37°C 5% CO<sub>2</sub>

การ sub culture cell ดูด medium เก้าทิ้งไป ล้างด้วย PBS ใส่ 0.25% trypsin ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงไป เขย่าเบาๆ บ่ม 1 นาที เติม medium ใหม่ลงไปเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำไป Centrifuge 1500g 5 นาที เท medium ออก แล้วใส่ medium ใหม่ผสมกับ platelet จากนั้น suspend ให้เข้ากัน ทำการนับเซลล์แล้ว seed cell ลง 24 well plate บ่มที่ 37 °C 5% CO<sub>2</sub> เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบกับสมุนไพรต่อไป (ศักดิ์ดา ดาดวง, 2012)

ทำการนับเซลล์ให้ได้จำนวน  $5 \times 10^5$  เซลล์ต่อหลุม มาเลี้ยงใน 24 well plate (200 ไมโครลิตร/หลุม) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ทดสอบด้วยสารสกัดหยาบของขูดพิศ ที่ความเข้มข้น 1000, 500, 100, 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ละลายใน DMEM + 10% FBS + 1% penicillin-streptomycin + 0.1% DMSO โดยมีการควบคุมผลการทดลองโดยหลุมที่มีเฉพาะเซลล์ (cell control) เป็นเซลล์ที่ไม่ได้รับสารทดสอบ บ่มเป็นเวลา 24 ชม. แล้วทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดด้วยวิธี MTT assay โดยใช้ MTT ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรละลายด้วย PBS บ่มเซลล์ในสภาวะ 37°C 5% CO<sub>2</sub> เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ดูดสารละลาย MTT ทั้งและเติมสาร DMSO เพื่อละลายผลิตภัณฑ์ formazan ลงไป 100 ไมโครลิตร/หลุม นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง microplate reader ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และคำนวณอัตราการรอดชีวิตในอาหารที่มี

## ผลและวิจารณ์

MTT assay เป็นวิธีตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ในหลอดทดลอง จากความสามารถในการทำงาน ของเอนไซม์ Dehydrogenase และ Cofactor ในไมโทคอนเดรียที่จะรีดิวซ์สาร 3-[4, 5-Dimethylthiazol-2-yl]-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide (MTT) ที่มีสีเหลืองให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ฟอร์มาซาน (Formazan) ที่มีสีม่วงได้ ดังนั้นจึงใช้ผลิตภัณฑ์ฟอร์มาซานแสดงถึงควมมีชีวิตของเซลล์ (Mosmann, 1983) โดยเซลล์ที่ตายนั้นจะมีลักษณะใส ไม่มีสี ส่วนเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ จะมีผลิตภัณฑ์สีม่วงเกิดขึ้นภายในเซลล์ ซึ่งเมื่อนำมาละลายในตัวทำละลาย เช่น DMSO จะได้สารละลายสีม่วงน้ำเงินที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ด้วยค่าดูดกลืนแสงที่ 570 nm นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเซลล์เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งนิยามรายงานความเป็นพิษของสารจากระดับความเข้มข้นที่ทำให้เซลล์ตาย 50% (50% Cytotoxic concentration: CC<sub>50</sub>)

จากการทดสอบด้วยสารสกัดน้ำโดยการต้มจากหัวขูดพิศ พบว่าเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ chick embryo ที่ทำการทดสอบด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 10, 100, 500, 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลง แต่ไม่ถึง 50% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากน้ำโดยการต้มจากหัวของขูดพิศกับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ chick embryo (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ร้อยละความอยู่รอดของเซลล์ chick embryo ที่ได้รับสารสกัด

ความเข้มข้นของสารสกัด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	% การอยู่รอดของเซลล์
1000	91.06
500	94.53
100	98.44
10	1.00
Control	1.00

จากข้อมูลพบว่าสารสกัดน้ำโดยการต้มจากหัวขูดพิดในระดับความเข้มข้น 10, 100, 500, 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่แสดงค่า  $CC_{50}$  โดยที่ความเข้มข้นสูงสุดคือ 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรนั้นมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูงถึง 91.06 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการทดลองโดยใช้สารสกัดจากขูดพิดที่ทำการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ทดสอบฤทธิ์รักษาอาการปวดในหนูทดลอง พบว่าสารสกัดจากขูดพิด สามารถลดอาการปวดบิตที่ท้องของหนูได้ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานไดโคลฟีแน็กซ์ทั้งสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเอทานอล (Ahmed et al.) และพบฤทธิ์ต้านอาการท้องเสียในหนูทดลอง โดยกระตุ้นให้หนูมีอาการท้องเสียโดยให้หนูกินน้ำมันละหุ่ง พบว่าหนูที่ได้รับสารสกัดจากขูดพิดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความถี่ในการถ่ายอุจจาระน้อยลง คิดเป็นร้อยละ 62.79 ( $P < 0.01$ ) เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน leptamide (Jebunnessa et al.)

สารสกัดจากพืชสมุนไพรเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการรักษาโรคต่างๆ แม้ว่าข้อมูลที่ได้ในการศึกษาค้างนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น แต่สามารถเป็นประโยชน์ในด้านการเพิ่มความเชื่อมั่น และเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของขูดพิดได้ และก่อนที่จะนำสมุนไพรไปใช้จะต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจัง เพื่อให้มีข้อมูลที่ถูกต้อง ทั้งเรื่องของเมตาบอลิซึม การกำจัดสาร และการพัฒนารูปแบบการใช้สมุนไพรให้สะดวกและทันสมัยมากขึ้น

## สรุป

จากการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากหัวขูดพิดที่มีผลต่อเซลล์ chick embryo ที่ทำการตรวจสอบด้วยวิธี MTT โดยใช้เซลล์เริ่มต้นที่  $5 \times 10^5$  เซลล์ต่อหลุมใน DMEM + 10% FBS + 1% penicillin-streptomycin ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา เวลา 24 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบกับสมุนไพร โดยสมุนไพรที่ใช้ในการทดสอบคือ สารสกัดหยาบของขูดพิดที่สกัดโดยการต้มด้วยน้ำกลั่น ที่ความเข้มข้น 1000, 500, 100, 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ละลายใน DMEM + 10% FBS + 1% penicillin-streptomycin + 0.1% DMSO โดยมีการควบคุมผลการทดลองโดยหลุมที่มีเฉพาะเซลล์ (cell control) เป็นเซลล์ที่ไม่ได้รับสารทดสอบ บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดด้วยวิธี MTT assay โดยใช้ MTT ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรละลายด้วย PBS บ่มเซลล์ในสภาวะ  $37^{\circ}\text{C}$  5%  $\text{CO}_2$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ดูดสารละลาย MTT ที่เติมและเติมสาร DMSO เพื่อละลายผลึก formazan ลงไป 200 ไมโครลิตร/หลุม นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง microplate reader ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตรพบว่าสารสกัดหยาบจากขูดพิดที่ความเข้มข้น 1000, 500, 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรนั้น

ไม่พบความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์จากเอ็มบริโอไก่ โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำสมุนไพรไปใช้ต่อยอด หรือการพัฒนาตำรับยารักษาโรคชนิดอื่นๆได้อีก

### คำขอบคุณ

การศึกษารวบรวมข้อมูลและการทำการทดลองงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### เอกสารอ้างอิง

- Ali K, Ashraf A, Biswas N. Analgesic, anti-inflammatory and antidiarrheal activities of ethanolic leaf extract of *Typhonium trilobatum* L. Schott. *Asian. Pac. J. Trop. Biomed.*, 2012, 2, 722-726.
- De S, Dey YN, Ghosh AK. Anti-inflammatory activity of methanolic extract of *Amorphophallus paeoniifolius* and its possible mechanism. *Int J Pharma Biosci.* 2010; 1:1-8.
- Dey YN et al. Curative effect of *Amorphophallus paeoniifolius* tuber on experimental hemorrhoids in rats. *J Ethnopharmacol.* 2016 Nov 4; 192:183-191.
- Sharstry RA, Biradar SM, Mahadevan KM, Habbu PV. Isolation and characterization of Secondary Metabolite from *Amorphophallus paeoniifolius* for Hepatoprotective activity. *Res J Pharm Biol Chem Sci* 2010; 1:429-37.

# การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในการปรุงไข่ดองออนเซ็นจากไข่ไก่และไข่เป็ด

## A Study of Physical Chemistry Changes on Cooking Onsen Pickled Eggs from Hen egg and Duck Egg

ทนายคุณ ชนะขว้าง<sup>1\*</sup> มารีญา ภูภิญญโยกุล<sup>1</sup> และ วิชชา ตริสุวรรณ<sup>2</sup>

Tanakhun Tanakwang<sup>1\*</sup>, Marisa Phupinyokul<sup>1</sup> and Witcha Treesuwan<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นกรด-ด่างระหว่างการดองของไข่ไก่และไข่เป็ดดอง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในการปรุงไข่ดองออนเซ็นจากไข่ไก่และไข่เป็ดด้วยวิธีการ Sous vide การดองไข่ใช้สารละลาย 3 ชนิด คือ เกลือ (NaCl), น้ำส้มสายชู (CH<sub>3</sub>COOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผลการวิจัยพบว่า ค่า pH ในน้ำดองมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นหลังจากการดองไข่ในช่วงระยะเวลา 3 วัน ค่า pH ไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองเกลือ และดองกรด(น้ำส้มสายชู) มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หลังระยะเวลาการดอง 3 วัน ในไข่แดงมีความเป็นกรดและด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ในน้ำดองด่าง(โซเดียมไฮดรอกไซด์)มีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นทั้งในไข่ขาวและไข่แดง หลังระยะเวลาการดอง 3 วัน การทดสอบไข่ออนเซ็น ด้วยวิธีการ sous vide ในไข่สดและไข่ดองมีลักษณะไข่ขาวที่แตกต่างกัน ไข่สดมีเนื้อไข่ขาวเป็นเจล ในไข่ดองมีลักษณะเหลวการดองด้วยสารละลายต่าง ๆ มีผลต่อโปรตีนในไข่ขาว

### ABSTRACT

The study reviews chemical and physical changes in the cooking of pickled onsen eggs, comparing between hen eggs and duck eggs. Sous Vide was the method used to cook the eggs to ensure that the inside was properly cooked without overcooking the outside, and to retain moisture. An experiment was carried out based on three types of solution: sodium chloride (NaCl), vinegar (CH<sub>3</sub>COOH), and sodium hydroxide (NaOH). The results showed that the marinade increased alkalinity after the fermentation of eggs for three days. Regarding the pH values of egg whites of hen eggs and duck eggs in salt marinade and pickling acids (vinegar), acidity increased three days after pickling, while the acidity and alkalinity of the egg yolks slightly increased. In the alkaline fermented water (sodium hydroxide) alkalinity in both egg whites and egg yolks increased. After the 3-day pickling period, the fresh and pickled onsen eggs under the experiment had different egg white characteristics. The white of the fresh eggs was a gelatinous while that of the pickled eggs was a liquid due to the effect of various solutions on the protein in the egg whites.

คำสำคัญ: ไข่ดอง, ไข่ออนเซ็น, sous vide

1

## บทนำ

ไข่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนประเภทสมบูรณ์ที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (พิมพ์เพ็ญ, 2563) มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย ส่วนใหญ่ชนิดของไข่ที่นิยมมาใช้ในการประกอบอาหาร คือ ไข่ไก่ และไข่เป็ด เป็นหลัก (ศิริพร, 2558) ไข่ประกอบด้วย ไข่ขาว ไข่แดงและเปลือกไข่ปริมาณของส่วนประกอบแตกต่างกันตามชนิดของไข่ สามารถนำมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาจใช้เป็นวัตถุดิบหลักหรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ตัวอย่างการประกอบอาหารโดยใช้ไข่ทั้งฟองในเมนูไข่ต้ม ไข่ลวก ไข่อบนึ่ง ไข่พะโล้ ไข่เจียว ไข่ดาว การใช้ไข่เป็นส่วนประกอบเช่น การทำเค้ก การเลือกไข่เฉพาะไข่ขาว เช่น เมอแรงจ์ หรือ เลือกไข่เฉพาะไข่แดงในการทำน้ำสลัด ฝอยทอง ทองหยิบ ทองหยอด เป็นต้น ไข่มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่การรับประทานไข่หรือผลิตภัณฑ์จากไข่อาจมีการปนเปื้อนสารพิษหรือแบคทีเรีย ส่วนใหญ่พบเชื้อซาลโมเนลลา เชื้อนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (อรไท, 2561) การบริโภคอาหารที่ผ่านการปรุงสุกเป็นวิธีการป้องกันที่ดีต่อผู้บริโภค เนื่องจากเชื้อซาลโมเนลลา ถูกทำลายได้ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4-5 นาที หรือ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที (สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม, 2563)

ไข่อบนึ่ง onsen tamago เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่ถึงจุดเดือดทำให้ไข่แดงแข็งตัวมากกว่าไข่ขาว (ไข่อบนึ่ง, 2563) การประกอบอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่มีอยู่ในไข่ การทำให้ไข่สุกด้วยความร้อนในอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่แตกต่างกันด้วย (ศิริพร, 2558) การแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การทำไข่ต้ม ไข่ลวก ไข่อบนึ่ง หรือการทอดไข่ มีผลทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพในอุณหภูมิที่ต่างกัน จึงนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร (นิธิยา, 2558) ในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีทันสมัยประยุกต์ใช้คุณสมบัติความสามารถของการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่คงที่โดยใช้เครื่อง Sous-vide ทำไข่แปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ไข่อบนึ่ง อุณหภูมิและเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ทางกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส การประกอบอาหารด้วยวิธีการ Sous-Vide เป็นกระบวนการใช้ความร้อนไหลผ่านวัตถุหรือเนื้ออาหารภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาที่สามารถควบคุมได้ อีกทั้งช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าการประกอบอาหารในรูปแบบการต้มแบบทั่วไป (อรนลิน, 2562)

การศึกษารุ่นนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในการปรุงไข่อบนึ่งจากไข่ไก่และไข่เป็ดด้วยวิธีการ sous vide ซึ่งช่วยทำให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจในการเลือกบริโภคไข่อบนึ่ง โดยปราศจากเชื้อซาลโมเนลลาสาเหตุของอาหารเป็นพิษ (สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม, มปป) ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญต่อการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาหารและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีวิธีการ Sous vide ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่อบนึ่ง การต้มไข่โดยทั่วไปผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ซึ่งความร้อนมีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสม สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้ช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคสามารถนำมาปรับใช้ในชีวิตประจำวัน การประกอบอาหารในครัวเรือน รวมไปถึงผู้ประกอบการร้านอาหารหรือธุรกิจอาหารต่าง ๆ มีโอกาสพัฒนาไปในเชิงพาณิชย์เพื่อการค้าในอนาคต มีส่วนในการช่วยพัฒนาและส่งเสริมธุรกิจด้านอาหารสนับสนุนการใช้วัตถุดิบทางการเกษตรต่อไป



## วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาความเป็นกรด-ต่างระหว่างการดองของไข่ไก่และไข่เป็ดดอง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในการปรุงไข่ดองอ่อนขึ้นด้วยวิธีการ Sous vide

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมไข่ดอง

เลือกซื้อไข่ไก่และไข่เป็ดสดจากร้านค้าขายไข่ หมู่บ้านพรทิวา ตำบลคลองหก อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี เลือกใช้ไข่ไก่ขนาดเบอร์ 1 น้ำหนัก 65-70 กรัม และไข่เป็ด น้ำหนัก 65-70 กรัม ทำความสะอาดล้างน้ำและตรวจสอบเปลือกไข่ คัดเลือกไข่ที่ไม่มีรอยร้าว ทำการดองในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 25%, 22.5%, 20% ดองในน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้นร้อยละ 24%, 22.5%, 20% และการดองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4%, 3%, 2% ระยะเวลาในการดองทั้งหมด 14 วัน นำไข่ที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

### การทดสอบสภาวะความเป็นกรด-ต่างของน้ำดองในโหลดองไข่และในไข่ขาวไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ด

ศึกษาค่าความเป็นกรด-ต่าง ระยะเวลาการดอง 0, 3, 8 และ 14 วัน ของน้ำดองในโหลดองไข่ และสุ่มตัวอย่างไข่ไก่และไข่เป็ดอย่างละ 1 ฟอง แยกไข่ขาวและไข่แดง นำมาวิเคราะห์วัดหาค่า pH แสดงความเป็นกรด-ต่าง โดยใช้เครื่อง Mettler Toledo Delta 320 pH Meter ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกผลการทดลอง

### การทดสอบการปรุงไข่ด้วยวิธีการ sous vide

ดำเนินการเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบไข่ไก่และไข่เป็ดสดทำการ Sous vide กำหนดอุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 นาที สังเกตลักษณะกายภาพเปรียบเทียบกับไข่อ่อนขึ้นที่มีจำหน่ายทั่วไปในร้านสะดวกซื้อ คัดเลือกไข่ที่มีอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมโดยมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทำการทดลองกับไข่ดองต่อไปโดยสุ่มนำ ไข่ดองเกลือ ไข่ดองกรด(น้ำส้มสายชู) และไข่ดองด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) จำนวนอย่างละ 2 ฟอง ใส่ลงในอ่างน้ำปริมาตร 5 ลิตร ทำการปรุงไข่ด้วยวิธีการ Sous vide เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำไข่ออกมา ทิ้งไว้ให้เย็นด้วยอุณหภูมิห้อง ตอกไข่ สังเกตลักษณะกายภาพเปรียบเทียบกับไข่สดอ่อนขึ้น

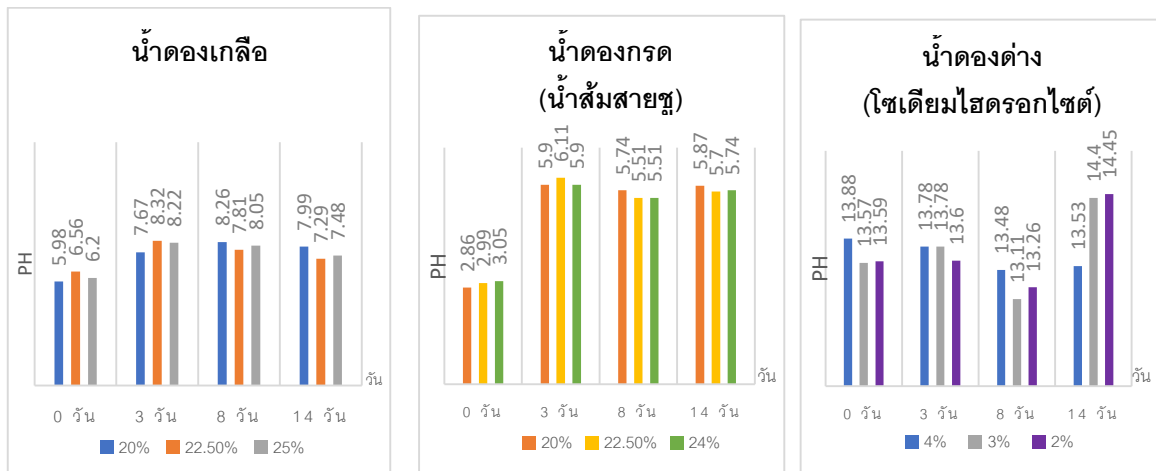
### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลจากการทดลองนำมาวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

## ผลและวิจารณ์

### การทดสอบสภาวะความเป็นกรดต่างในไข่ขาวและไข่แดงของไข่ไก่ ไข่เป็ด

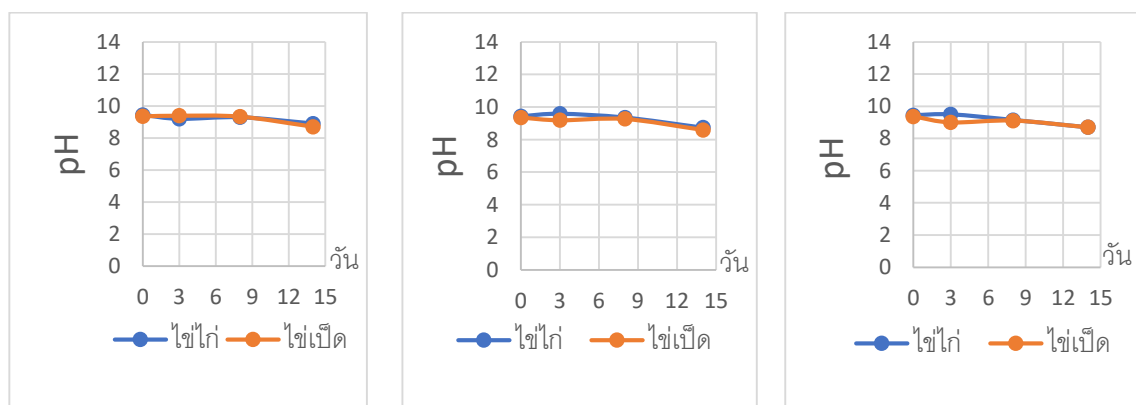
การทดสอบวิเคราะห์ ค่า pH ไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองเกลือ น้ำดองกรด (น้ำส้มสายชู) และน้ำดองด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) โดยใช้เครื่อง Mettler Toledo Delta 320 pH Meter ผลค่า pH ดังนี้



ภาพที่ 1 กราฟแสดง ค่า pH น้ำดองไซ

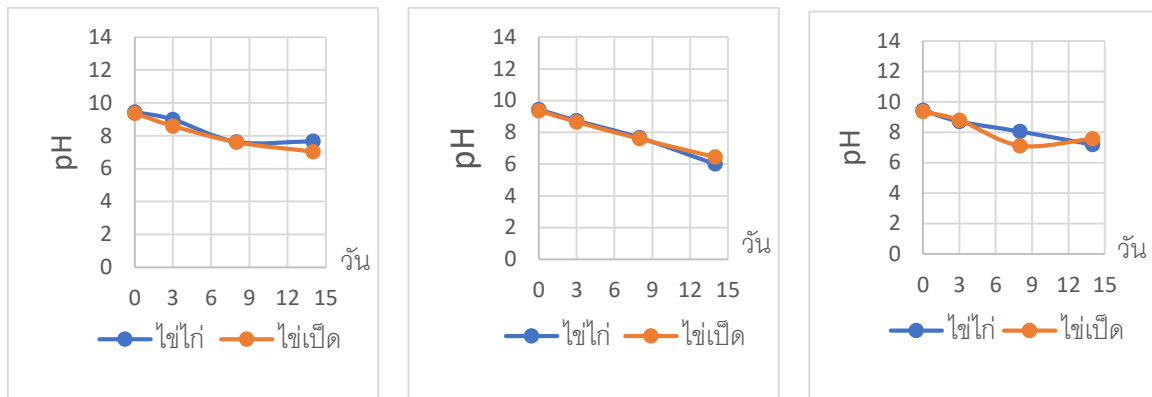
ค่า pH ในน้ำดองเกลือ ในช่วงระยะเวลา 3 วัน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าไซไม่มีผลทำให้น้ำดองมีความเป็นด่างมากขึ้น หลังระยะ 3 วัน มีค่า pH เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วงความเป็นกลาง ในน้ำดองกรด (น้ำส้มสายชู) ในช่วงระยะเวลา 3 วัน มีค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังระยะ 3 วัน มีค่า pH เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย แสดงว่าไซไม่มีผลทำให้น้ำดองมีความเป็นด่างมากขึ้น หลังระยะ 3 วัน แต่ยังคงมีค่า pH อยู่ในช่วงความเป็นกรด และในน้ำดองต่าง (ไซเตียมไฮดรอกไซด์) มีค่า pH เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วงความเป็นด่าง แสดงว่าไซไม่มีผลทำให้น้ำดองของต่าง มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

ค่า pH ไซขาวของไซไก่และไซเบ็ด ผลวิเคราะห์ดังนี้



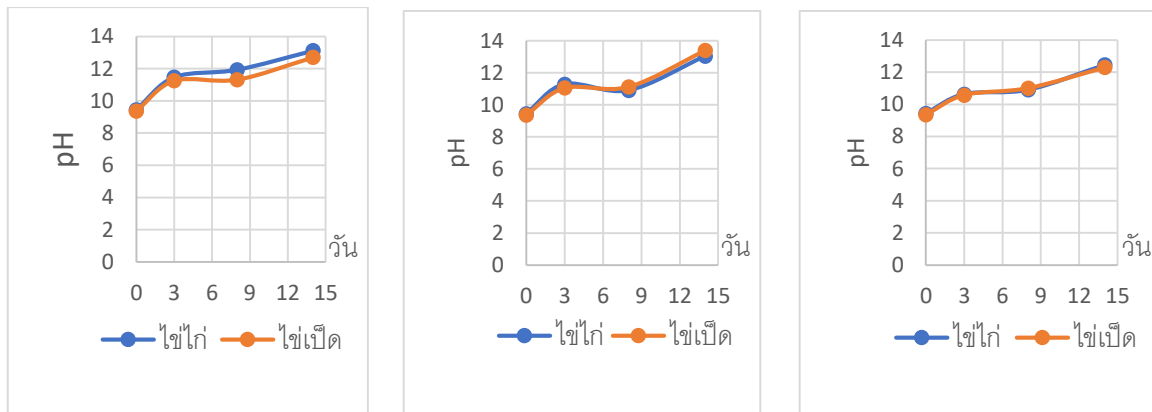
ภาพที่ 2 กราฟแสดง ค่า pH ไซขาว ดองเกลือความเข้มข้น 25%, 22.5%, 20% เรียงจากซ้ายไปขวา

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ไซขาวของไซไก่และไซเบ็ดในน้ำดองเกลือความเข้มข้น 25 %, 22.5% และ 20 % เมื่อดองเป็นระยะเวลานานมากขึ้น ค่า pH ของไซขาวมีแนวโน้มลดลง แสดงว่าไซขาวของไซไก่และไซเบ็ดมีความเป็นกรดมากขึ้น



ภาพที่ 3 กราฟแสดง ค่า pH ไข่ขาวดองกรด (น้ำส้มสายชู) ความเข้มข้น 24%, 22.5%, 20% เรียงจากซ้ายไปขวา

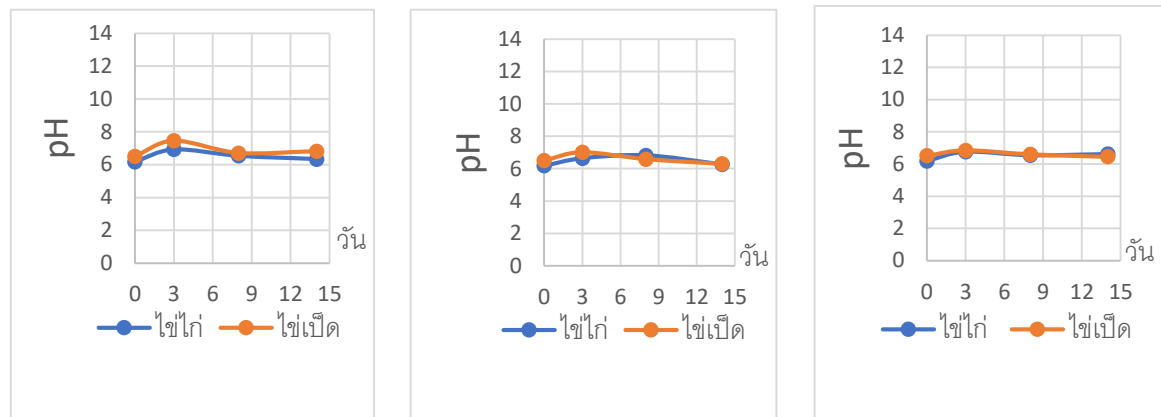
ค่า pH ไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองกรด(น้ำส้มสายชู) ความเข้มข้น 24% เมื่อดองเป็นระยะเวลานานมากขึ้น ค่า pH ของไข่ขาวมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 3 – 8 วัน แสดงว่าไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นกรดมากขึ้น ค่า pH ความเข้มข้น 20% พบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น ค่า pH ความเข้มข้น 20% ไข่เป็ดเมื่อดองเป็นระยะเวลานานมากขึ้น ค่า pH ของไข่ขาวมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 3 – 8 วัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากระยะเวลาการดองครบ 8 วัน แสดงว่าไข่เป็ดมีความเป็นกรดมากขึ้นเมื่อการดองครบระยะเวลา 8 วัน ไข่ขาวในไข่เป็ดมีความเป็นด่างมากขึ้น ไข่ไก่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงว่าไข่ขาวของไข่ไก่มีความเป็นกรดมากขึ้น



ภาพที่ 4 กราฟแสดง ค่า pH ไข่ขาวดองโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 % , 3% , 2% เรียงจากซ้ายไปขวา

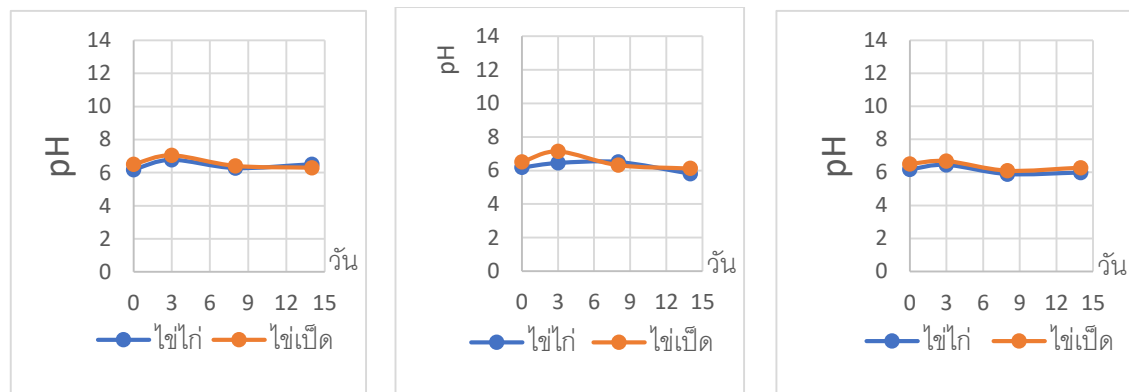
ค่า pH ไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองด่าง(โซเดียมไฮดรอกไซด์) ความเข้มข้น 4%, 3%, 2% เมื่อดองเป็นระยะเวลานานมากขึ้น พบว่า ค่า pH ของไข่ขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาการดอง 3 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากช่วงระยะเวลาการดองครบ 8 วัน แสดงว่าไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นด่างมากขึ้น

**ค่า pH ไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ด ผลวิเคราะห์ดังนี้**



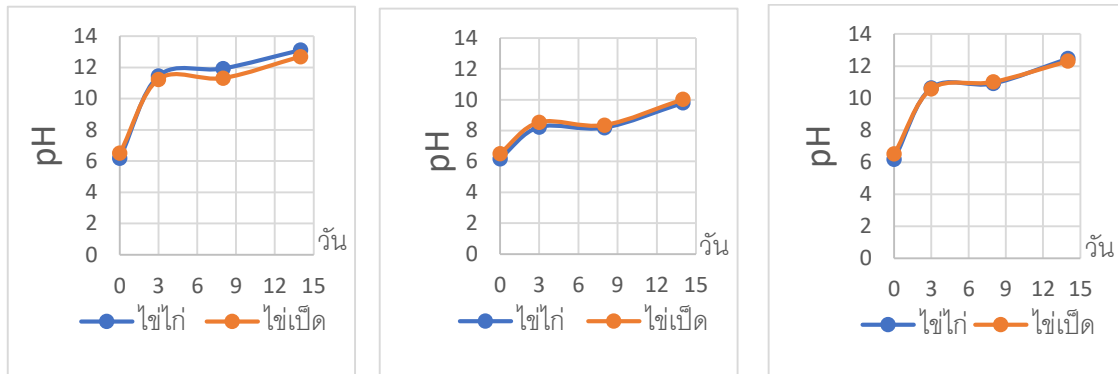
**ภาพที่ 5** กราฟแสดง ค่า pH ไข่แดงดองเกลือ ความเข้มข้น 25%, 22.5%, 20% เรียงจากซ้ายไปขวา

ค่า pH ไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองเกลือความเข้มข้น 25 % , 22.5% และ 20 % เมื่อดองไข่เป็นระยะเวลานาน 3 วัน ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หลังจากครบระยะเวลา 3 วัน ค่า pH ในไข่แดง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย แสดงว่าไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นด่างมากขึ้นในช่วงระยะเวลา 0 - 3 วัน และมีความเป็นด่างไม่แตกต่างกันมากหลังระยะเวลาการดอง 3 วัน



**ภาพที่ 6** กราฟแสดง ค่า pH ไข่แดง ดองกรด (น้ำส้มสายชู) ความเข้มข้น 24%, 22.5%, 20% เรียงจากซ้ายไปขวา

ค่า pH ไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองกรด (น้ำส้มสายชู) ความเข้มข้น 24%, 22.5%, 20% เมื่อดองเป็นระยะเวลา 3 วัน ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าไข่แดงในช่วงระยะเวลาการดอง 3 วัน ไข่แดงมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และหลังจาก 3 วัน ค่า pH ในไข่แดงของไข่เป็ดมีแนวโน้มลดลงแต่ในไข่แดงของไข่ไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อหลังระยะเวลา 8 วัน ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย แสดงว่าไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นด่างมากขึ้นในช่วงระยะเวลา 0 - 3 วัน และมีความเป็นด่างไม่แตกต่างกันมากหลังระยะเวลาการดอง 8 - 14 วัน



ภาพที่ 7 กราฟแสดง ค่า pH ไข่แดงดองโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 %, 3%, 2% เรียงจากซ้ายไปขวา

ค่า pH ไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 %, 3%, 2% เมื่อดองเป็นระยะเวลา 3 วัน ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าในไข่แดงมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นในระหว่างการดอง 3 วัน และ ค่า pH ในไข่แดง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงระยะเวลา 3-8 วัน และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นสูงหลังจากการดอง 8 วัน แสดงว่าไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดมีความเป็นด่างมากขึ้นในช่วงระยะเวลาการดองหลัง 8 วัน

#### การทดสอบการปรุงไข่ด้วยวิธีการ sous vide

การ Sous vide ไข่ไก่และไข่เป็ดสด กำหนดอุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 นาที สังเกตลักษณะกายภาพไข่ขาวไข่แดงเปรียบเทียบกับไข่อ่อนเซ็นที่มีจำหน่ายทั่วไปในร้านสะดวกซื้อ คัดเลือกไข่อ่อนเซ็น ด้วยอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมากที่สุด



ภาพที่ 8 ไข่ไก่อ่อนเซ็น ด้วยวิธีการ sous vide

จากรูปภาพที่ 13 ไข่อ่อนเซ็น เรียงจากซ้ายไปขวา ไข่ไก่สด ไข่ไก่ดองเกลือ ไข่ไก่ดองกรด (น้ำส้มสายชู) ไข่ไก่ดองต่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ระยะเวลาการดองครบ 14 วัน ทดสอบ sous vide ด้วยอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ผลการทดสอบพบว่า ไข่ไก่สดมีลักษณะเหมือนผลิตภัณฑ์ไข่อ่อนเซ็น ไข่ขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงโปรตีนจากลักษณะใสเป็นสีขาวขุ่นลักษณะเป็นเจลห่อหุ้มไข่แดง แต่แตกต่างกับ ไข่ไก่ดอง ทั้ง 3 ชนิด ลักษณะไข่ขาวมีการเปลี่ยนแปลงในด้านสีแต่ให้เนื้อไข่ขาวมีความเหลวลักษณะเหมือนไข่ดิบ จึงไม่มีลักษณะเป็นไข่อ่อนเซ็น

แสดงให้เห็นว่าการดองด้วยสารละลายต่าง ๆ มีผลต่อโปรตีนในไข่ขาว เมื่อนำมาทดสอบ ในอุณหภูมิและระยะเวลาเท่ากันกับไข่สด ผลการทดสอบให้ลักษณะการเกิดเจลในไข่ขาวที่แตกต่างกัน

## สรุป

ค่า pH ในน้ำดองมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นหลังจากการดองไข่ในช่วงระยะเวลา 3 วัน ค่า pH ไข่ขาวของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองเกลือ และดองกรด(น้ำส้มสายชู) มีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น แต่ไข่ขาวในน้ำดองต่าง(โซเดียมไฮดรอกไซด์) มีความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น ค่า pH ไข่แดงของไข่ไก่และไข่เป็ดในน้ำดองเกลือ และดองกรด(น้ำส้มสายชู) มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมาก แต่ไข่แดงในน้ำดองต่าง(โซเดียมไฮดรอกไซด์) มีความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น การ sous vide ด้วยอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ไข่อ่อนเซนต์ในร้านสะดวกซื้อมากที่สุดแต่การ sous vide ในอุณหภูมิและระยะเวลาเหมือนกันต่อไข่ดองมีลักษณะพบว่า มีลักษณะที่ต่างกันแสดงถึงการดองด้วยสารละลายต่าง ๆ มีผลต่อโปรตีนในไข่ขาว

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ใช้สถานที่ในการทำการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนานนท์. **เคมีอาหาร**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วิชา ตรีสุวรรณ. 2556. วิทยาศาสตร์การปรุงอาหาร (Molecular gastronomy) การเปลี่ยนแปลงทาง

ลักษณะ ภายภาพจากความร้อน. **อาหาร** 43(3): 42-45.

ศิริพร ตันจวบ, ตรีรัตน์ สายวรรณ, ประภาศรี ภูวเสถียร, อังคารศิริ ดีอ่วม, และครรชิต จุดประสงค์. (2558). **คุณค่าทาง**

**โภชนาการของไข่ที่นิยมบริโภคและผลของการประกอบอาหาร**. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล

สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. **ซาลโมเนลลา (Salmonella)**. ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2563, จาก

<http://fic.nfi.or.th/foodsafety>

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ. 2556. **การทดลองอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

อรไท สวัสดิชัยกุล. 2561. กินไข่อย่างไรให้ปลอดภัยจากเชื้อซาลโมเนลลา. **อาหาร** 48(2): 13-15.

อรไท สวัสดิชัยกุล. 2561. โปรตีนและเปปไทด์ที่สำคัญในไข่ขาว. **อาหาร** 48(1): 44-48.

Rackmanager. 2560. **ประวัติการทำซูวี**. แหล่งที่มา:<http://www.rackmanagerpro.com/sous-vide/>,

วันที่สืบค้น 17 มีนาคม 2563.

# การศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีดทองแดงลาย และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้จีน

## Physical Properties and Chemical Composition of Cricket and Application in Chinese Cookie

มาริษา ภูภิญญกุล<sup>1</sup>, ภูวดล หมอกยา<sup>1</sup> และ วิชชา ตรีสุวรรณ<sup>2</sup>

Marisa Phupinyokul<sup>1</sup>, Puwadon Morkya<sup>1</sup> and Witcha Treesuwan<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีในจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย และการนำจิ้งหรีดป่นพันธุ์ทองแดงลายมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้จีน โดยนำจิ้งหรีดป่นมาทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปรียบเทียบที่ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 5 และ 10 ผลการทดลองพบว่า ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของจิ้งหรีดทองแดงลายมีขนาดลำตัวยาวประมาณ 2.0 - 2.5 เซนติเมตร สีน้ำตาลเข้ม องค์ประกอบทางเคมี พบว่า จิ้งหรีดอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 1.25 โปรตีนร้อยละ 61.15 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10.09 ไขมันร้อยละ 5.50 โยอาหารร้อยละ 4.12 และเถ้าร้อยละ 5.05 เมื่อนำจิ้งหรีดป่นมาใช้ทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดป่นมีผลต่อปริมาณโปรตีน ไขมัน และค่าสีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ก็อย่างมีนัยสำคัญ โดยคุกกี้ที่ใช้จิ้งหรีดป่นทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดเท่ากับ 7.16 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง จากผลการวิจัย แนะนำให้ผสมจิ้งหรีดป่นลงในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อส่งเสริมให้มีคุณค่าทางโภชนาการดีขึ้น

**คำสำคัญ:** จิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย จิ้งหรีดป่น จิ้งหรีดอบแห้ง คุกกี้จีน คุกกี้จิ้งหรีด

### Abstract

This study reviews physical properties and chemical composition of cricket (*Acheta domestica*) and its application on Chinese cookie. The cricket powder is used as a substitute for cashew nut in the Chinese cookie ingredients in which we compare the concentration of cricket powder at 0, 5 and 10 percent respectively. Full term cricket is 2.0 - 2.5 centimeters in length and brownish color. The dry cricket composes of 1.25 percent moisture content, 61.15 percent protein, 10.09 percent carbohydrate, 5.50 percent fat, 4.12 percent fiber and 5.05 percent ash. The use of cricket powder creates significant change in protein, and fat concentration and color of the Chinese cookie. Chinese cookie with 10% cricket powder concentration also receives the highest popularity score. It receives a score of 7.16 out of 10 which is a moderate satisfaction score. Therefore, based on the research result, we should mix cricket powder with Chinese cookie to enhance nutritive values of Chinese cookie and improve well-being of the consumer products for people.

**Keyword:** cricket (*Acheta domestica*), cricket powder, dry cricket, Chinese cookie, cricket cookie

<sup>1</sup>ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2</sup>สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

## บทนำ

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) คาดการณ์ว่า ในปี 2050 โลกของเราจะมีประชากรมากถึง 9,000 ล้านคน จากปัจจุบันอยู่ที่ 7,300 ล้านคน (Arnold et al., 2013) และสถานการณ์อาหารโลกอาจเข้าสู่ภาวะวิกฤต เนื่องจากแหล่งโปรตีนที่เราคุ้นเคยอาจมีไม่เพียงพอ ทำให้ FAO ชี้เข้าไปที่ “แมลง” ซึ่งจะเป็นทางออกของเรื่องนี้ วัฒนธรรมการกินแมลงไม่ได้จำกัดแค่ในบ้านเรา หากพูดถึงทั่วโลก หลายประเทศนิยมกินแมลงมาช้านาน มีการบันทึกศาสตร์และศิลป์ของการกินแมลงที่มีชื่อเรียกว่า Entomophagy โลกนี้มีแมลงมากกว่าหนึ่งล้านชนิด แต่มีแมลงที่สามารถบริโภคได้ประมาณ 1,900 ชนิด ในประเทศไทยมีแมลงที่พบบ่อยและนิยมกินกันอยู่ 20 – 25 ชนิด การศึกษานี้ได้เลือกศึกษาจิ้งหรีดเนื่องจากเป็นแมลงที่คนทั่วโลกนิยมบริโภครวมทั้งในประเทศไทย ปี 2013 องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) เปิดเผยข้อมูลว่าด้วยแมลง โดยเปรียบเทียบสัดส่วนเนื้อที่กินได้ของสัตว์ทั้งตัว เช่น วัวมีเนื้อที่กินได้เพียงแค่อ้อยละ 40 แต่ต้องให้ปริมาณอาหารถึง 8 กิโลกรัม เพื่อให้วัวทำน้ำหนักได้ 1 กิโลกรัมสำหรับการบริโภค เปรียบเทียบกับจิ้งหรีดมีเนื้อที่กินได้ถึงร้อยละ 80 และให้อาหารในปริมาณแค่ 1.2 กิโลกรัมเท่านั้น การเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ เช่น หมู ไก่ วัว ทำให้ต้องใช้ทรัพยากรเป็นอย่างมาก การให้ปริมาณอาหารที่มาก แต่เมื่อเทียบกับเนื้อที่ใช้เป็นอาหารดูจะไม่คุ้มค่า การเลี้ยงสัตว์ใหญ่จึงมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้น ส่วนแมลงมีกระบวนการเปลี่ยนผ่านทางชีวภาพที่ต่ำ ทำให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่า ใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อยกว่า (Arinchai, 2009) นอกจากนี้ จากงานวิจัยของอรนุช และคณะ พบว่า แมลงสะตัง หรือ จิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 59.7 โดยน้ำหนักแห้ง (Oranut et al., 2018) จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร

สำหรับอาหารว่างประเภทอบกรอบ พบว่า คูกี้จิ้นเป็นอาหารว่างที่ขายดี ทำง่าย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประชาชนทั่วไปนิยมบริโภค จึงเลือกผลิตภัณฑ์นี้มาวิจัย โดยการนำจิ้งหรีดป่นมาทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในคูกี้จิ้น เพราะจิ้งหรีดป่นมีโคโคซานและโปรตีนสูง ไขมันต่ำ จากผลการวิจัยคาดว่าจะสามารถนำจิ้งหรีดป่นไปใช้เป็นส่วนประกอบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ได้อีกหลายชนิด

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการนำจิ้งหรีดป่นมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คูกี้เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ศึกษาคุณภาพจิ้งหรีดอบแห้ง

นำจิ้งหรีดอบแห้งสายพันธุ์ทองแดงลาย มาบดเป็นผงละเอียดขนาดประมาณ 60 เมช ด้วยเครื่องบดแห้ง นำมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) และค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ค่าทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2010) จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



## 2. ศึกษาการนำจิ้งหรีดป่นทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในคูกักจิ้น

จัดตั้งทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เปรียบเทียบปริมาณจิ้งหรีดป่นในคูกักจิ้นเพื่อทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 5 และ 10 ของน้ำหนักเม็ดมะม่วงหิมพานต์ นำมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) และค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ค่าทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2010) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ ความชอบรวม และการยอมรับผลิตภัณฑ์

## 3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการศึกษาคุณภาพจิ้งหรีดอบแห้ง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดทองแดงลายอบแห้ง พบว่า จิ้งหรีดทองแดงลายมีขนาดลำตัวยาวประมาณ 2.0-2.5 เซนติเมตร สีน้ำตาลอ่อนแห้ง เบา เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร และเถ้า พบว่า จิ้งหรีดทองแดงลายอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 1.25 มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 61.15 รองลงมาเป็นคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10.09 สารกลุ่มไขมัน โยอาหาร และเถ้าอย่างละเท่าๆ กัน (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีดอบแห้งเทียบกับข้อมูลทางโภชนาการของจิ้งหรีดทอดและจิ้งหรีดปรุงรส (ENTOCRISP) พบว่า ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน มีองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็นสารอาหารประเภทโปรตีน ในขณะที่ปริมาณไขมันในจิ้งหรีดทางการค้ามีสูงกว่าจิ้งหรีดอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการแปรรูปที่ต่างกัน



รูปที่ 1 จิ้งหรีดอบแห้ง

### 2. ผลศึกษาการนำจิ้งหรีดป่นทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในคูกักจิ้น

จากตารางที่ 2 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับจิ้งหรีดอบแห้ง พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ส่วนใหญ่เป็นประเภทไขมันมีปริมาณมากถึงร้อยละ 44 ซึ่งมากกว่าปริมาณไขมันของจิ้งหรีดอบแห้งถึง 9 เท่า ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 18 และปริมาณโยอาหารร้อยละ 3.3 นอกจากองค์ประกอบที่แสดงดังตารางที่ 2 แล้ว ในจิ้งหรีดยังมีโคโคซานมากถึงร้อยละ 8.7 โดยโคโคซานนี้มีคุณสมบัติประโยชน์มากทั้งในทางอาหาร เช่น การใช้เป็นสารคอลลอยด์ (Dunwang, Yao-yu Bai, Jiang-hong Li and Chuan-xi Zhang, 2004)

**ตารางที่ 1** ค่าทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีในจิ้งหรีดทองแดงลายอบแห้งเทียบกับจิ้งหรีดอบแห้งทางการค้า

ค่าวิเคราะห์	ตัวอย่าง		
	Field cricket*	จิ้งหรีดอบ (ไม่ปรุงแต่ง)%	ENTOCRISP * (baked crickets)%
ความชื้น	-	1.246 ± 0.51	-
โปรตีน	58.3	61.153 ± 0.31	60.0
ไขมัน	10.3	5.496 ± 0.13	16.0
เถ้า	2.86	5.052 ± 0.60	-
ใยอาหาร	-	4.123 ± 0.21	-
คาร์โบไฮเดรต	-	10.090 ± 0.12	12.0
ค่าสี			
L*	-	52.753 ± 1.81	-
a*	-	7.293 ± 0.26	-
b*	-	10.230 ± 0.89	-
a <sub>w</sub>	-	0.562 ± 0.00	-

หมายเหตุ\* : Field cricket มาจาก Nutritional value of the field cricket Dunwang, Yao-yu Bai, Jiang-hong Li, Chuan-xi Zhang 2004

: ENTOCRISP (baked crickets) ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบปรุงรสพร้อมรับประทาน

: จิ้งหรีดอบ ไม่ปรุงแต่ง

**ตารางที่ 2** องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดมะม่วงหิมพานต์และจิ้งหรีดอบแห้ง

ค่าวิเคราะห์	ตัวอย่าง	
	เม็ดมะม่วงหิมพานต์*	จิ้งหรีดอบ (ไม่ปรุงแต่ง)%
ความชื้น	-	1.246 ± 0.51
โปรตีน	18	61.153 ± 0.31
ไขมัน	44	5.496 ± 0.13
เถ้า	-	5.052 ± 0.60
ใยอาหาร	3.3	4.123 ± 0.21
คาร์โบไฮเดรต	30	10.090 ± 0.12

หมายเหตุ\* : USDA Nutrient database

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โยอาหาร และเถ้า ค่าวิเคราะห์ความชื้นสูตรที่ผสมจิ้งหรีดป่นมีความชื้นสูงกว่าสูตรที่ไม่ผสมจิ้งหรีดป่น ปริมาณโปรตีนในสูตรร้อยละ 10 มีโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาเป็นสูตรร้อยละ 5 และไม่ใส่จิ้งหรีดป่น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.399, 9.121 และ 8.954 ตามลำดับ ส่วนไขมันสูตรร้อยละ 10 มีไขมันต่ำที่สุด รองลงมาเป็นสูตรร้อยละ 5 และสูตรร้อยละ 0 มีไขมันสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 21.481, 21.926 และ 23.052 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 44 ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันในจิ้งหรีดแล้วที่มีปริมาณไขมันเพียงร้อยละ 5.496 เมื่อนำมาใช้ทดแทนกันในคูกี้ จึงส่งผลให้คูกี้จิ้งในสูตรที่มีการใช้จิ้งหรีดป่นเพื่อทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณไขมันน้อยกว่าคูกี้สูตรที่ไม่ใส่จิ้งหรีดป่น ในส่วนของ เถ้า โยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ค่าทางกายภาพคูกี้ก็ผสมจิ้งหรีด นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพคือ ค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  มีค่าแตกต่างกัน โดยสูตรร้อยละ 0 มีค่าความสว่างหรือ  $L^*$  สูงกว่า สูตรร้อยละ 5 รองลงมาเป็นสูตรร้อยละ 10 โดยมีค่าเฉลี่ย 69.137, 66.170 และ 64.280 ตามลำดับ ส่วนค่า  $a^*$  ซึ่งเป็นค่าโทนสีแดง พบว่า สูตรร้อยละ 0 และสูตรร้อยละ 5 มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุดรองมาเป็นสูตรร้อยละ 10 โดยมีค่าเฉลี่ย 7.763, 7.863 และ 7.153 ตามลำดับ ในส่วนของค่า  $b^*$  โทนสีเหลืองพบว่า สูตรร้อยละ 0 และสูตรร้อยละ 5 มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุดรองมาเป็นสูตรร้อยละ 10 โดยมีค่าเฉลี่ย 21.017, 20.700 และ 18.963 ตามลำดับ จากผลวิเคราะห์ข้างต้นสอดคล้องกับปริมาณการใช้จิ้งหรีดป่นเพื่อทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในคูกี้โดยปริมาณจิ้งหรีดป่นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าสีของคูกี้ทำให้มีค่าสีเข้มขึ้น

ส่วนปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.304 - 0.343 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ โดยสูตรร้อยละ 0 มีปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด รองลงมาเป็นสูตรร้อยละ 10 และสูตรร้อยละ 5 โดยสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ค่าความชื้น สูตรร้อยละ 5 และ สูตรร้อยละ 10 มีความชื้นมากที่สุด สูตรร้อยละ 0 มีความชื้นต่ำกว่าทั้งสองสูตร




**ตารางที่ 3** องค์ประกอบทางเคมีของคูกี้จิ้งที่ทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยจิ้งหรีดป่นสูตรร้อยละ 0 5 และ 10

ตัวอย่างคูกี้	องค์ประกอบทางเคมี					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า <sup>ns</sup>	โยอาหาร <sup>ns</sup>	คาร์โบไฮเดรต <sup>ns</sup>
สูตรร้อยละ 0	2.654± 0.19 <sup>b</sup>	8.954± 0.10 <sup>b</sup>	23.052 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.667± 0.13	1.669± 0.41	55.919± 0.18
สูตรร้อยละ 5	3.128±0.10 <sup>a</sup>	9.121±0.02 <sup>b</sup>	21.926±0.20 <sup>b</sup>	2.901±0.36	1.730±0.12	55.489±0.26
สูตรร้อยละ 10	3.192±0.08 <sup>a</sup>	9.399±0.41 <sup>a</sup>	21.481±0.31 <sup>c</sup>	2.849±0.13	1.761±0.15	55.665±0.26

หมายเหตุ: a, b, c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns (non-significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพของคุกกี้จิ้นที่ทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยจิ้งหรีดป่นสูตรร้อยละ 0 5 และ 10

ตัวอย่างคุกกี้	ค่าวิเคราะห์				ลักษณะทางกายภาพ
	ค่าสี			ค่า $a_w$	
	L*	a*	b*		
สูตรร้อยละ 0	69.137 <sup>a</sup> ± 0.46	7.763 <sup>a</sup> ± 0.28	21.017 <sup>a</sup> ± 0.20	0.304 <sup>c</sup> ± 0.01	
สูตรร้อยละ 5	66.170 <sup>b</sup> ± 1.41	7.863 <sup>a</sup> ± 0.53	20.700 <sup>a</sup> ± 1.11	0.343 <sup>a</sup> ± 0.00	
สูตรร้อยละ 10	64.280 <sup>c</sup> ± 1.81	7.153 <sup>b</sup> ± 0.18	18.963 <sup>b</sup> ± 0.55	0.326 <sup>b</sup> ± 0.00	

หมายเหตุ: a, b, c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  
 ns (non-significant) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้จิ้นที่ทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยจิ้งหรีดป่นสูตรร้อยละ 0 5 และ 10

ตัวอย่างคุกกี้	คุณลักษณะที่ทำการทดสอบ					
	ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
สูตรร้อยละ 0	6.80 ± 1.39	7.06 <sup>a</sup> ± 1.36	6.76 <sup>a</sup> ± 1.52	6.96 <sup>a</sup> ± 1.51	6.60 <sup>ab</sup> ± 1.37	7.00 <sup>a</sup> ± 1.23
สูตรร้อยละ 5	6.33 ± 1.32	6.36 <sup>b</sup> ± 1.35	5.96 <sup>b</sup> ± 1.60	6.23 <sup>b</sup> ± 0.93	6.30 <sup>b</sup> ± 1.11	6.33 <sup>b</sup> ± 0.92
สูตรร้อยละ 10	6.33 ± 1.18	6.26 <sup>b</sup> ± 1.04	6.73 <sup>a</sup> ± 1.17	7.23 <sup>a</sup> ± 0.89	7.16 <sup>a</sup> ± 0.79	7.16 <sup>a</sup> ± 0.79

ระดับคะแนน 1-9 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ  
 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

หมายเหตุ: a, b, c หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  
 ns (non-significant) หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสูตรคุกกี้จิ้นที่ใช้ปริมาณจิ้งหรีดป่นทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ จำนวน 3 ระดับ พบว่าคุณลักษณะในด้านลักษณะปรากฏของคุกกี้ทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่คุณลักษณะด้านอื่นของคุกกี้ที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันทั้ง 3 สูตร โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับคุกกี้สูตรร้อยละ 10 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.26 - 7.23 คะแนน จัดอยู่ในระดับชอบปานกลาง

รองลงมาคือสูตรไม่ใส่จิ้งหรีดป่น ผู้ทดสอบให้การยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.60 - 7.06 คะแนน จัดอยู่ในระดับความชอบปานกลาง และสูตรร้อยละ 5 ผู้ทดสอบให้การยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.96 - 6.33 คะแนน อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย

การใช้ปริมาณจิ้งหรีดป่นทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์สูตรร้อยละ 0 พบว่าสีของคุกกี้สูตรไม่ใส่จิ้งหรีดป่น มีลักษณะสีเหลืองอ่อน ซึ่งต่างจากสูตรร้อยละ 5 และ 10 เนื่องจากมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณจิ้งหรีดป่นที่เพิ่มขึ้น ในด้านกลิ่นสูตรร้อยละ 0 และ 10 ได้รับการยอมรับสูงสุดโดยสูตรร้อยละ 0 มีกลิ่นหอมจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และสูตรร้อยละ 10 มีกลิ่นหอมของแมลงทอด ส่วนสูตรร้อยละ 5 มีกลิ่นอ่อนกว่าทั้งสองสูตร ในด้านรสชาติสูตรร้อยละ 0 และสูตรร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับสูงสุด โดยสูตรร้อยละ 0 มีรสชาติหวานมัน และสูตรร้อยละ 10 มีรสชาติคล้ายแมลงทอดเล็กน้อย ด้านเนื้อสัมผัสสูตรร้อยละ 10 มีความกรอบร่วนสูงสุด ด้านความชอบโดยรวม สูตรร้อยละ 0 และสูตรร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับสูงสุด ผู้ทดสอบจึงได้เลือกสูตรร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับ เนื่องจากมีกลิ่นหอม รสชาติมันคล้ายแมลงทอด เนื้อสัมผัสกรอบร่วน จากการที่เพิ่มปริมาณจิ้งหรีดป่นในคุกกี้

## สรุป

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีในจิ้งหรีดอบแห้ง พบว่า จิ้งหรีดอบแห้งมีความชื้นต่ำ และมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นสารอาหารประเภทโปรตีนสูงถึงร้อยละ 61.15 สอดคล้องกับงานวิจัยของอรนุช และคณะ ซึ่งพบว่าแมลงสะเดียง หรือจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 59.70 โดยน้ำหนัก (Oranut et al., 2018) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อทดแทนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าปริมาณจิ้งหรีดป่นที่เพิ่มขี้นมีผลต่อลักษณะสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดป่นร้อยละ 10 ทำให้สีของคุกกี้มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบร่วนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สอดคล้องกับงานวิจัยของ Michael และคณะ ซึ่งพบว่า การผสมผงจิ้งหรีดอบแห้งในขนมปังและคุกกี้ร้อยละ 10 เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นผลดีต่อโภชนาการและสุขภาพ (Michael et al., 2020) นอกจากนั้นยังส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นและลดปริมาณไขมันในคุกกี้ลงได้อีกด้วย

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ ดร.ประมุข เพ็ญสุต คุณปาริฉัตร พงษ์มุกดา คุณอุบลวรรณ ศรีมงคลลักษณ์ นิสิตคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และภาควิชาคหกรรมศาสตร์ ที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- Akullo J., Nakimbugwe D., Obaa B.B., Okwee-Acai J. and Agea J.G. (2018). Development and quality evaluation of crackers enriched with edible insects. *International Food Research Journal*, 25(4), 1592-1597.
- Arinchai Weeradutsadeenont. (2009). 'Insect' Animal Rescue World. Retrieved from: <https://themomentum.co/insects-food-entomophagy-series-1/>. Department of Foodscience and Technology. Science and Technology. *Kasetsart University, Bangkok*, 6.
- Arnold van Huis, Joost Van Itterbeeck, Harmke Klunder, Esther Mertens, Afton Halloran, Giulia Muir and Paul Vantomme. (2013). Edible insects Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Forestry Paper 171*, 201pp.
- Dun W., Shao W. Z., Chuan X. Z., Yao Y. B., Shi H. A., and Ying N. X. (2005). Evaluation on Nutritional Value of Field Crickets as a Poultry Feedstuff. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 18(5), 667-670.
- Dunwang, Yao-yu Bai, Jiang-hong Li and Chuan-xi Zhang. (2004). Insect science. *Nutritional value of the field cricket (Gryllus Testaceus Walker)*, 11(4), 275-283.
- Huis A.V., Ltterbeeck J.V., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. and Vantomme P. (2013). *Edible insect: future prospects for food and feed security*, pp. 5-34 and 117-124.
- Jinthana Jammeak and Onanong Naiwikul. (2011). Basic banking science and Technology. *Kasetsart University, Bangkok*, 12.
- Kanthawee Wiwatpanit. (1999). "Insect" Food for Future. *WVO Thaiprinting, Bangkok*.
- Michael Bawa, Sirichai Songsermpong, Chanwit Kaewtapee and Wasaporn Chanput. (2020). Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14601>. Nutritional, sensory, and texture quality of bread and cookie enriched with house cricket (*Acheta domesticus*) powder. Institute of Food Science Technology. *Journal of Food Processing and Preservation*.
- Nanon Dangsangvan. (2015). Cake Production. *OS Printing House, Bangkok*.
- Obchoey Wongthong and Khanittha Poonpolkul. (2013). Cooking Principles. *Kasetsart University, Bangkok*, 10.
- Oranut Sihamala, Nuduan Saraboot, Pornprapha Chunthanom and Subhachai Bhulaidok. (2018). Nutritional Value of Edible Insects in Kalasin Province. *King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Agriculture Journal 2018*, 36(2), 98-105.
- Rungsinee Sothonwit. (2007). Chemical and Microbiology of Food. *Kasetsart University, Bangkok*.
- Suwimon Tunsupasiri. (2008). Nutrients Food and Food Assignments. *Darnsutha Printing, Bangkok*, 2.

# ผลการใช้บทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่อง การนำเสนอข้อมูลแผ่นพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

Results of Using Multimedia Lesson Based on Project Based Learning Concepts in Technology Computational Science in The Presentation of Brochure with Microsoft Word for Prathomsuksa 4

คงฤทธิ ชูฟัก<sup>1</sup>

Kongrit choofak<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบกึ่งทดลองโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อ 1) พัฒนบทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลแผ่นพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างการเรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย กับการเรียนปกติ และ 3) ความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย กับกลุ่มที่เรียนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนโรงเรียนวัดสระแก้ว นครราชสีมา โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการหาประสิทธิภาพ 39 คน กลุ่มตัวอย่างในการทดลอง 40 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 38 คน สำหรับเครื่องมือทดลอง ได้แก่ บทเรียนมัลติมีเดีย แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์แบบประเมินความสามารถในการสร้างชิ้นงาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test for independent group) ผลการศึกษาพบว่า 1) บทเรียนมัลติมีเดีย มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์คือ 74.07/75.78 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย สูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) เปรียบเทียบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน และนำเสนอข้อมูล ของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย สูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**คำสำคัญ** : บทเรียนมัลติมีเดีย การเรียนรู้แบบโครงงาน โปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด

---

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

Educational Technology and Communications, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

## Abstract

This purposes of this experimtal were 1) to develop multimedia lessons based on project-based learning concepts in Technology Computational Science the Presentation of Brochure with Microsoft Word for Prathomsuksa 4 ; 2) to compare students' learning achievement in Technology Computational Science subject use multimedia lessons based on project-based learning in Preparation of Brochure with Microsoft word via traditional methods; and 3) to conpar the ability to create a workpiece, and present information between groups studied with multimedia lessons based on project-based learning concept and traditional method. Samples use were students of Watsakaew School, Nakhon Ratchasima Province. The samples gwere divide groups; One for efficiency testing (39 cases) and the other two groups; experimental groups (40 cases). and control group (38 cases). Mean, standard deviations, and t-test for independent group were used for data analysis. The findings were as follows : 1) The efficiency of the Multimedia lesson based on project-based learning concepts in technology computationally Science Subiect in The Presentation of Brochure with Microsoft Word for Prathomsukas 4 was 74.07/75.78 within the specified criterion 75/75 ; 2) The students' learning achievement in multimedia lessons based on project-bast learning concepts were significantly higher than those who leamed by traditional methods at the .05 level; 3) The Students' ability to create workpieces and presenting information multimedia lessons based project-bast learning concepts were significantly higher than those who lessons learned by traditional methods at the .05 level.

**Keyword :** Multimedia Lesson, Project Based Learning, Program Microsoft Word

## บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดิจิทัลส่งผลต่อระบบโครงสร้างการพัฒนาคุณภาพการศึกษาในปัจจุบันสู่นวัตกรรมใหม่ในศตวรรษที่ 21 ในการพัฒนาทักษะพื้นฐานและความสามารถการใช้เทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ในวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ สอดคล้องกับความมุ่งหมายในการพัฒนานักเรียนมีทักษะการคิดเชิงคำนวณ สามารถคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนและประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ 2561, น. 15) การส่งเสริมความสามารถในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยการสร้างนวัตกรรม หรือมีโครงงานอย่างน้อย 1 ผลงานตามความสนใจของนักเรียน ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความตระหนักในความรู้และการดำรงชีวิตของนักเรียน ด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีให้เกิดประสิทธิผลของการทำงานร่วมกันโดยการใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด เพื่อพัฒนาไปสู่การลงมือปฏิบัติจริงและใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระวิชาอื่น ๆ (โรงเรียนวัดสระแก้ว, 2562, น. 9)

ปัญหาของนักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดทักษะพื้นฐานและความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการนำเสนอข้อมูล ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ซึ่งมีความจำเป็นที่กำหนดไว้ตามหลักสูตร แต่มีข้อจำกัดของการฝึกปฏิบัติและเวลาค่อนข้างน้อย ทำให้นักเรียนยังขาดการฝึกทักษะการใช้งานคอมพิวเตอร์ ขาดแรงจูงใจในการเรียน ทำให้มี



ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ต่ำลง (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2553, น. 13-14) ส่งผลต่อเนื่องในการเรียนรู้ของนักเรียนในเชิงคุณภาพ ขาดการฝึกทักษะที่แปลงความรู้สู่ทักษะการปฏิบัติที่เพียงพอ นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนยังมีความบกพร่องเรื่องความรู้ความเข้าใจในสาระและยังขาดทักษะกระบวนการและการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้เพียงบางส่วน จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน มีคะแนนต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ทำให้ผลในการจัดการศึกษาไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ (พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และเพียวาร์ ยินดีสุข, 2558, น. 1)

จากข้อจำกัดของเวลาในการแก้ปัญหาในด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีเดียเข้ามาบูรณาการแก้ปัญหาและพัฒนาทักษะพื้นฐานให้นักเรียนที่มีความแตกต่างกันในการเรียนรู้และยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีมีเดียมีเดียฯ สามารถดึงความสนใจทำให้เห็นภาพประกอบได้เข้าใจง่ายขึ้น และประหยัดทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า และเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ และใช้ฝึกทักษะเพิ่มประสบการณ์ให้เรียนรู้ได้อย่างอิสระตามต้องการ (ณัฐกร สงคราม, 2554, น. 12 ; ทวีป อภิสิทธิ์, 2556, น. 157 ; พิสนุ พงศ์ศรี, 2558, น. 77)

การเรียนรู้แบบโครงงานเป็นการสนับสนุนนักเรียนได้เรียนรู้ตามความสนใจ ความถนัด และจัดกิจกรรมตามเนื้อหาสาระจากเนื้อหาในชั้นเรียนนำมาเป็นแนวทางเพื่อกำหนดหัวข้อโครงงานในการปฏิบัติจริงจากประสบการณ์สอดคล้องกับการส่งเสริมการกิจกรรมลดเวลาเรียนเพิ่มเวลารู้ในสถานศึกษา โดยการให้เทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือค้นคว้าหาความรู้ในการออกแบบการผลิตเชิงนวัตกรรมโดยมีพื้นฐานสำคัญการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 นักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติจริงส่งผลให้นักเรียนเกิดประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่สร้างด้วยตนเองและมีทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (รสริน พิมลบรรยงก์, 2559, น. 184 ; สำนักนโยบายและแผนการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2559, น. 9)

การพัฒนาเทคโนโลยีมีเดียมีเดียฯ เป็นอีกแนวคิดของนักการศึกษาที่นำมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน โดยเน้นการนำเสนอเนื้อหาความรู้ควบคู่ไปกับการปฏิบัติตามความถนัดและการเรียนแบบรายบุคคล และสร้างแรงจูงใจให้แก่ นักเรียน ได้เรียนรู้มีการโต้ตอบปฏิสัมพันธ์กับบทเรียน ได้เรียนรู้ด้วยตนเองอย่างอิสระ ทำให้ทราบความก้าวหน้าและยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น ช่วยกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง และดึงดูดความสนใจได้ตลอดเวลา โดยการให้เทคนิคการนำเสนอด้วยกราฟิก สี เสียง ภาพเคลื่อนไหวได้ และยังทบทวนบทเรียนได้ซ้ำหลายครั้งตามที่ต้องการ เป็นเรียนรู้กับสื่ออันทันสมัยเป็นสิ่งใหม่ และมีความเข้าใจให้อยากเรียนรู้ ทำให้มีผลการเรียนเพิ่มขึ้น (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2557, น. 189 ; ณัฐกร สงคราม, 2557, น. 6)

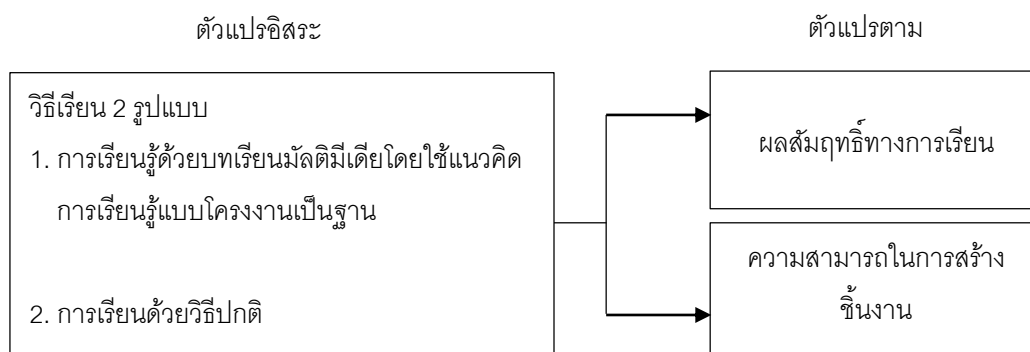
การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนใช้กระบวนการเรียนรู้ และส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกันให้บรรลุเป้าหมาย พร้อมด้วยสื่อนวัตกรรม และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ใช้ที่มีคุณสมบัติ พิมพ์ข้อความสร้างเอกสาร รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแผ่นพับสื่อประชาสัมพันธ์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่นักเรียนต้องได้รับการฝึกทักษะความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การวางแผนการปฏิบัติลงมือทำ และการนำเสนอข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าได้ด้วยตนเองสามารถ สรุปองค์ความรู้ข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ ลงในแผ่นพับ ที่น่าสนใจเกิดความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ผู้วิจัยได้พัฒนาบทเรียนมีเดียมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลแผ่นพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจและมีทักษะความสามารถในการสร้างชิ้นงาน และการนำเสนอข้อมูล แผ่นพับประชาสัมพันธ์ได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลแผ่นพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างนักเรียนที่เรียนโดยใช้บทเรียนมัลติมีเดีย กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ
3. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล ระหว่างนักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ

## กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลแผ่นพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด การวิจัยครั้งนี้ใช้เป็นแนวทางการเรียนการสอนที่สามารถตอบสนองต่อการเรียนรู้ของนักเรียนที่แตกต่างกันโดยมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างบทเรียนรวมถึงการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการทำโครงงานร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้อย่างมีเป้าหมายจากกระบวนการทำงาน และการสร้างชิ้นงานในรูปแบบแผ่นพับประชาสัมพันธ์ที่ต้องใช้ความสามารถ ซึ่งเป็นการฝึกทักษะการปฏิบัติให้มีความชำนาญมากยิ่งขึ้น และเป็นแรงจูงใจภายใน เพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ ให้มีความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล และผลงานของนักเรียนให้สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ สรุปกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ดังภาพ



ภาพกรอบแนวคิดในการวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง โดยมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ประชากร คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีจำนวนทั้งสิ้น 380 คน ที่ศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนวัดสระแก้วจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 8 ห้องเรียน
2. กลุ่มตัวอย่าง นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 3 ห้องเรียน ห้องละ 40 คน ได้มาโดยสุ่มแบบกลุ่ม ความสะดวก โดยจับฉลากเพื่อเลือกกลุ่มหาประสิทธิภาพ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม ได้เป็น 3 กลุ่ม ซึ่งประกอบด้วย

2.1 กลุ่มตัวอย่างในการใช้หาประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4/2 จำนวน 39 คน 1 ห้อง

2.2 กลุ่มทดลองเป็นนักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4/6 จำนวน 40 คน 1 ห้อง

2.3 กลุ่มควบคุมนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4/5 จำนวน 38 คน 1 ห้อง

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ 1) ตัวแปรอิสระ คือ วิธีเรียน 2 รูปแบบ ได้แก่ การเรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ และการเรียนด้วยวิธีปกติ 2 ตัวแปรตาม คือ ผลการใช้บทเรียนมัลติมีเดียฯ ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการนำเสนอข้อมูลผ่านพีพ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล

4. ระยะเวลาทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 5 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง

5. เนื้อหาที่ใช้ในการศึกษา ใช้เนื้อหาเป็นบทเรียนมัลติมีเดียฯ สารที่ 3 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร รหัสวิชา ง.14101 หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 รวบรวมข้อมูลและนำเสนอข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ตามหลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนวัดสระแก้ว กลุ่มสาระการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีดังนี้ 5.1) การปฏิบัติการสร้างแผ่นพับประชาสัมพันธ์ 1 ชั่วโมง, 5.2) หลักการสร้างและการออกแบบแผ่นพับ 1 ชั่วโมง, 5.3) การใช้เครื่องมือโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด 2 ชั่วโมง, 5.4) การนำเสนอผลงานแผ่นพับประชาสัมพันธ์ 1 ชั่วโมง

6. เครื่องมือวิจัย ได้แก่

6.1 บทเรียนมัลติมีเดียฯ โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลผ่านพีพ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ค่าประสิทธิภาพ  $E1/E2 = 74.67/75.75$

การพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียฯ โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีขั้นตอนการสร้างและดำเนินงานอย่างเป็นระบบด้วย ADDIE Model (ADDIE Model, 2015) ดังนี้

6.1.1 การวิเคราะห์ (Analysis) ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ 1) วิเคราะห์หลักสูตร

สถานศึกษาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาวิทยาศาสตร์ วิทยาการคำนวณ และมาตรฐานการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 2) วิเคราะห์และกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ คำอธิบาย โครงสร้างรายวิชา และหน่วยการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับมาตรฐานและตัวชี้วัดที่กำหนดในหลักสูตร 3) วิเคราะห์เนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ และวางโครงเรื่อง สร้างโครงร่างผังการทำงาน (Flow Chart) จัดทำสตอรี่บอร์ด (Storyboard) ร่างแบบลักษณะ (Template) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหาตรวจสอบความสอดคล้องกับกิจกรรมและเนื้อหาในบทเรียน

6.1.2 การออกแบบ (Design) ดำเนินการออกแบบตามโครงร่างผังการทำงานต่าง ๆ ตามเนื้อหาในบทเรียนที่ได้กำหนดไว้

6.1.3 การพัฒนา (Development) มีการดำเนินการดังนี้ 1) ดำเนินการสร้างบทเรียนมัลติมีเดียฯ โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานตามโครงร่างและเนื้อหาที่กำหนดไว้ และให้สอดคล้องกับกิจกรรมการทำโครงงานตามขั้นตอน นำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา 2) นำบทเรียนมัลติมีเดียฯ ที่พัฒนาขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบในประเด็นหลัก ด้านส่วนนำของบทเรียน ด้านมัลติมีเดียฯ ด้านการมีปฏิสัมพันธ์ ด้านการออก ซึ่งบทเรียนมัลติมีเดียฯ

ที่พัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดี และนำมาปรับปรุงภาพ เสียง ให้เหมาะสมกับการเรียนรู้ โดยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปทดลองหาประสิทธิภาพ

6.1.4 การนำไปใช้ (Implementation) นำบทเรียนมัลติมีเดียฯ ที่สร้างเรียบร้อยแล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อขอคำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้

สำหรับการหาประสิทธิภาพบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน ดำเนินการดังต่อไปนี้ 1) นำบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานที่สร้างเรียบร้อยแล้วเสนออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อขอคำแนะนำ จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบในด้านบทเรียนมัลติมีเดียและด้านเนื้อหาได้ตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องในเนื้อหาและกระบวนการเรียนรู้ และทำการผลิตสื่อบทเรียนมัลติมีเดีย 2) นำข้อบกพร่องบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานมาปรับปรุงแก้ไขแล้วนำเสนอผู้เชี่ยวชาญและทำการปรับปรุงแก้ไขโดยผ่านการตรวจสอบก่อนนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพกับนักเรียน ที่ไม่เคยเรียนมาก่อน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการทดลอง มีดังนี้ 1) ชั้นทดลองรายบุคคล โดยนำบทเรียนมัลติมีเดียที่พัฒนาขึ้นไปทำการทดลองกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่เคยเรียนมาก่อนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับเก่ง ปานกลาง อ่อน รวมทั้งสิ้น 3 คน จากการสังเกตข้อบกพร่องของบทเรียนมัลติมีเดียจากผู้เรียน พบว่า ความสนใจของผู้เรียนในการอ่านตัวหนังสือ สื่อรูปภาพประกอบ การเชื่อมโยงเนื้อหา และเสียงบรรยาย เป็นต้น ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของขั้นตอนการทดสอบรายบุคคล ได้ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 75.33/75.56 และพบว่า สีของพื้นหลังค่อนข้างอ่อน ตัวอักษรเล็กไม่เด่นชัด และมีข้อความมากเกินไปทำให้อ่านยาก และเสียงบรรยายที่เบา ผลที่เกิดขึ้นผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงแก้ไข ในส่วนของการปรับเปลี่ยนพื้นหลัง และขนาดของตัวอักษรให้ใหญ่ขึ้น และปรับเพิ่มเสียงบรรยายให้ชัดมากขึ้น แล้วนำไปทดลองกลุ่มเล็ก 2) ชั้นทดสอบกลุ่มเล็ก นำบทเรียนมัลติมีเดียที่ปรับแก้ไขแล้วไปทำการทดลองกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่เคยเรียนมาก่อนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับเก่ง ปานกลาง อ่อน ระดับละ 2 คน รวมทั้งสิ้น 6 คน เมื่อทดลองเรียบร้อยแล้ว นำผลที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน มาตรวจสอบหาประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ จากผลการวิเคราะห์ ได้ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 74.67/76.67 พบว่า การเชื่อมโยงเนื้อหาเมฆหลัง ภาพเคลื่อนไหว วิดีโอใช้เวลามาก ทำให้ยังไม่กระตุ้นความสนใจของผู้เรียน จึงได้ปรับปรุงข้อความและปรับภาพเคลื่อนไหว และปรับวิดีโอให้สั้นลง ก่อนนำไปทดลองภาคสนาม 3) ชั้นทดสอบภาคสนาม โดยนำบทเรียนมัลติมีเดีย ที่ปรับปรุงแก้ไขใหม่แล้วนำไปทำการทดลองกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่เคยเรียน จำนวน 30 คน เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดีย ได้ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 75/75 โดยผลการวิเคราะห์ ได้ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 74.07/75.78 ซึ่งพบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงนำไปทดลองจริง

6.1.5 การวัดและประเมินผล (Evaluation) นำบทเรียนมัลติมีเดียฯ ที่ผ่านกระบวนการหาประสิทธิภาพ ไปทดลองกับกลุ่มทดลอง เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย ที่พัฒนาขึ้นว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

6.2 แผนการจัดการเรียนรู้โดยการใช้บทเรียนมัลติมีเดียฯ และแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีปกติ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์ (Analysis) ประกอบด้วย การจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้สำหรับการเรียนโดยใช้บทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน และแผนการจัดการเรียนรู้โดยวิธีปกติ จำนวน 4 แผน รวม 5 ชั่วโมง มีดังนี้ 1.1) ศึกษาและวิเคราะห์นักเรียน โครงสร้างหลักสูตรสถานศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 1.2) กำหนดวิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด จุดประสงค์ คำอธิบายรายวิชา ศึกษาโครงสร้างรายวิชาเทคโนโลยีฯ หน่วยการเรียนรู้ สาระสำคัญ เพื่อศึกษาการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ 1.3) วิเคราะห์ศึกษาเนื้อหา กำหนดเป้าหมาย หน่วยการเรียนรู้

6.2.2 การออกแบบ (Design) ประกอบด้วยขั้นตอน 1) ออกแบบและจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน และด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ 2) ดำเนินออกแบบและเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ตามที่กำหนดไว้

6.2.3 การพัฒนา (Development) ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้ 1) ดำเนินการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้บทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน และด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ ตามลำดับเนื้อหา 2) นำแผนการจัดการเรียนรู้บทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน และด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ ที่พัฒนาขึ้นมาให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ในด้านเนื้อหา ด้านสื่อและแหล่งเรียนรู้ ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ก่อนนำไปใช้ทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพ

สำหรับการหาประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 รูปแบบ มีขั้นตอนการหาคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างเรียบร้อยแล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อขอคำแนะนำ

6.2.4 การนำไปใช้ (Implementation) ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ 1) นำแผนที่ปรับปรุงแก้ไขไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ด้านแผนการจัดการเรียนรู้และด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน ได้ตรวจสอบความถูกต้องสอดคล้องของเนื้อหา และกิจกรรมการเรียนรู้ และมาตรฐาน ตัวชี้วัดกับการวัดและประเมิน และทำการปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้ทดลอง 2) นำข้อบกพร่องของแผนการจัดการเรียนรู้ทำการปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้ กับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอีกครั้ง

6.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และหลังเรียน แบบปรนัย 4 ตัวเลือก 15 ข้อ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.3.1 การวิเคราะห์ (Analysis) ศึกษาเนื้อหา วิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัดและวัตถุประสงค์ ที่ได้กำหนดไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ ของเนื้อหาวิชา และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

6.3.2 การออกแบบ (Design) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย

6.3.3 การพัฒนา (Development) ดำเนินการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากเนื้อหาวิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลผ่านพีชด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด โดยพิจารณาถึงความสอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ ซึ่งแต่ละข้อจะมีเพียงคำตอบที่ถูกต้อง 1 ข้อได้ 1 คะแนน ในข้อที่ตอบถูกต้อง ส่วนข้อที่ตอบผิดจะไม่มีคะแนน และแบบอัตโนมัติ 1 ข้อ

6.3.4 การหาคุณภาพของแบบทดสอบดำเนินการตามลำดับดังนี้ 1) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างเสร็จแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาก่อนที่จะนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้ตรวจสอบและพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ พิจารณาให้ความเห็นและให้คะแนน

ดังนี้ (ค่า IOC) +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดได้ตรงตามจุดประสงค์, 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดได้ตรงตามจุดประสงค์, -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดไม่ตรงตามจุดประสงค์ จากนั้นนำคะแนนที่ได้คำนวณหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์ (IOC) ของคะแนนรายข้อ แล้วคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป นำแบบทดสอบมาปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดสอบกับนักเรียนที่ผ่านการเรียนเนื้อหาที่มาแล้ว แล้วทำการตรวจคะแนนกำหนดให้ข้อที่นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้องได้ 1 คะแนน และข้อที่นักเรียนตอบผิดได้ 0 คะแนน วิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบเป็นรายข้อ ซึ่งค่าความยากง่าย (p) ให้ได้ค่าอยู่ในระหว่าง 0.20 – 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) 0.20 ขึ้นไป จำนวน 26 ข้อ ได้ค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.22 – 0.44 และค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.56 – 0.78 และหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder Richardson ได้ค่าความเชื่อมั่น KR-20 = 0.66 และดำเนินการจัดพิมพ์ก่อนนำไปใช้ทดลอง

6.4 แบบประเมินความสามารถในการสร้างชิ้นงาน ก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นแบบอัตนัย 1 ข้อ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.4.1 การวิเคราะห์ (Analysis) ประกอบด้วย 1) ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และแนวคิด และวิธีการประเมินผลโครงการ การประเมินแบบรูปรีด จากหลักสูตรสถานศึกษา เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัดและประเมินทักษะ การปฏิบัติ การสร้างแบบทดสอบ 2) วิเคราะห์ศึกษาเนื้อหา จากหนังสือคู่มือและแนวทางการปฏิบัติการจัดการเรียนรู้ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

6.4.2 การพัฒนา (Development) ขั้นตอนดำเนินการดังนี้ 1) สร้างแบบทดสอบวัดความสามารถในการสร้างชิ้นงาน ให้สอดคล้องกับนิยามศัพท์เฉพาะ ซึ่งเป็นแบบอัตนัย 1 ข้อ 2) นำแบบทดสอบเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาข้อบกพร่องและทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา 3) นำแบบทดสอบที่ปรับปรุงแล้วไปเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อวัดความตรงตามเนื้อหา ด้วยการทำดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ 4) ทำการคัดเลือกข้อสอบที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ส่วนข้อสอบที่ต่ำกว่า 0.50 ทำการปรับปรุงแก้ไขใหม่ 5) นำแบบทดสอบมาปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดสอบกับนักเรียนที่ผ่านการเรียนเนื้อหาที่มาแล้ว แล้วทำการตรวจหาข้อบกพร่องและปรับปรุงแก้ไขใหม่ 6) การตรวจให้คะแนนพิจารณาจากความสามารถในการสร้างชิ้นงานโดยการประเมิน กำหนดรายการประเมินผลงาน มี 4 ด้าน ได้แก่ 1) การสร้างและรูปแบบ, 2) การจัดวางข้อความ, 3) ความสมบูรณ์ของเนื้อหา, 4) การจัดองค์ประกอบ 7) กำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนของชิ้นงานและกำหนดระดับคะแนน ดลหลังระดับตั้งแต่ 3, 2, และ 1 มีดังต่อไปนี้ 1) เกณฑ์การประเมิน มีดังนี้ ระดับคุณภาพ 3 หมายถึง ดี, ระดับคุณภาพ 2 หมายถึง พอใช้, ระดับคุณภาพ 1 หมายถึง ปรับปรุง และเกณฑ์การให้คะแนน มีดังนี้ ระดับเกณฑ์การให้คะแนน 9-12 หมายถึง ดี, คะแนน 5-8 หมายถึง พอใช้, คะแนน 1-4 หมายถึง ปรับปรุง

6.4.3 การนำไปใช้ (Implementation) นำไปทดสอบกับนักเรียนแล้วตรวจหาความถูกต้องและดำเนินการจัดพิมพ์แบบทดสอบวัดความสามารถในการสร้างชิ้นงาน ก่อนใช้เป็นแบบประเมินชิ้นงานในการให้คะแนนสอบปฏิบัติ

7. การเก็บรวบรวมข้อมูล ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องมือมี 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนรายบุคคล 2) ขั้นตอนกลุ่มเล็ก 3) ขั้นตอนภาคสนาม และการเก็บข้อมูล โดยกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง เป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนวัดสระแก้วจังหวัดนครราชสีมา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

8. การวิเคราะห์ข้อมูล ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ โดยการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างการเรียนรู้ด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ กับการเรียนรู้ด้วยวิธีปกติ และเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างชิ้นงานของนักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ สถิติที่ผู้วิจัยใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ คะแนนเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test for independent group) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

### สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการหาประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ การทดสอบรายบุคคล ทดสอบกลุ่มเล็ก ทดสอบภาคสนาม

การทดลอง	จำนวนนักเรียน	ค่าประสิทธิภาพ E1	ค่าประสิทธิภาพ E2
ทดสอบรายบุคคล	3	75.33	75.56
ทดสอบกลุ่มเล็ก	6	74.67	76.67
ทดสอบภาคสนาม	30	74.07	75.78

จากตารางที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ ได้ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 ในชั้นทดสอบรายบุคคล พบว่า ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 75.33/75.56 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนชั้นทดสอบกลุ่มเล็ก พบว่า ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 74.67/76.67 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนชั้นทดสอบภาคสนาม พบว่า ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 74.07/75.78 ซึ่งเห็นได้ว่า อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 75/75

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคะแนนผลการทดสอบทางการเรียนก่อนเรียน ระหว่าง กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนนักเรียน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	ค่า p
กลุ่มทดลอง	40	9.85	3.07	6.10*	.095
กลุ่มควบคุม	38	6.16	2.18		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการทดสอบก่อนเรียน ระหว่างกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ และกลุ่มควบคุมที่เรียนปกติ พบว่า กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ย ก่อนเรียน  $\bar{X}$  = 9.85 กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ย ก่อนเรียน  $\bar{X}$  = 6.16 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคะแนนผลการทดสอบทางการเรียนหลังเรียน ระหว่าง กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนนักเรียน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	ค่า p
กลุ่มทดลอง	40	11.48	2.55	1.154*	0.01
กลุ่มควบคุม	38	10.95	1.23		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการทดสอบหลังเรียน ระหว่าง กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ และกลุ่มควบคุมที่เรียนปกติ พบว่า กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ย หลังเรียน  $\bar{X}$  = 11.48 กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ย หลังเรียน  $\bar{X}$

= 10.95 พบว่า กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน สูงกว่ากลุ่มที่เรียนปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคะแนนผลการทดสอบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ กับกลุ่มที่เรียนปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนนักเรียน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	ค่า p
กลุ่มทดลอง	40	7.55	1.60	2.71*	.008
กลุ่มควบคุม	38	6.66	1.28		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน ก่อนเรียน ระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ และกลุ่มที่เรียนปกติ พบว่า กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีค่าเฉลี่ย ก่อนเรียน  $\bar{X}$  = 7.55 กลุ่มที่เรียนปกติ มีค่าเฉลี่ย ก่อนเรียน  $\bar{X}$  = 6.66 พบว่า ความสามารถในการสร้างชิ้นงาน ก่อนเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคะแนนผลการทดสอบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอข้อมูล หลังเรียน ระหว่าง กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ กับกลุ่มที่เรียนปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนนักเรียน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	ค่า p
กลุ่มทดลอง	40	15.05	2.49	2.79*	.007
กลุ่มควบคุม	38	13.61	2.04		

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการทดสอบความสามารถในการสร้างชิ้นงาน และการนำเสนอข้อมูลหลังเรียน ระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ และกลุ่มที่เรียนปกติ พบว่า กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีค่าเฉลี่ย หลังเรียน  $\bar{X}$  = 15.05 กลุ่มที่เรียนปกติ มีค่าเฉลี่ย หลังเรียน  $\bar{X}$  = 13.61 พบว่า กลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีความสามารถในการสร้างชิ้นงาน และการนำเสนอข้อมูล หลังเรียนสูงกว่ากลุ่มที่เรียนปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## อภิปรายผล

1. ประสิทธิภาพของบทเรียนมัลติมีเดียฯ โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน วิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ เรื่องการนำเสนอข้อมูลแผนพับ ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เวิร์ด ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีค่า E1/E2 เท่ากับ 74.07/75.78 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 75/75 เนื่องจากบทเรียนที่นำเสนอเนื้อหาผ่านสื่อคอมพิวเตอร์ โดยการออกแบบโครงสร้างอย่างเป็นขั้นตอน เน้นการฝึกทักษะประสบการณ์และสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองตามต้องการ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ราตรี เกลี่นเมือง (2554) ศิริกัลยา อุดมรัตน์ (2555) ได้วิจัยการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์รายวิชาคอมพิวเตอร์ และสุนันทา สร้อยสวัสดิ์ (2556) ได้ศึกษาการสร้างการพัฒนาและผลการใช้



บทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองโดยมีการออกแบบบทเรียนที่มีลักษณะเดียวกันส่งผลให้บทเรียนมัลติมีเดียมีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน กลุ่มที่เรียนโดยใช้บทเรียนมัลติมีเดียฯ สูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นเพราะบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีความแปลกใหม่ และช่วยเสริมความรู้ที่นักเรียนที่เรียนอ่อนและเรียนช้าได้ซึ่งมีความก้าวหน้าในการเรียนรู้มีผลการเรียนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุณ ศรีสิทธิชูชาติ (2557) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ณัฐกฤตา ดุลวิทย์ (2554) ได้ศึกษาการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ ทำให้เกิดการเรียนรู้ด้วยความสนใจในบทเรียนมัลติมีเดียโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน สามารถทำให้นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีปกติ

3. ความสามารถในการสร้างชิ้นงาน การนำเสนอผลงานของนักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดีย โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน มีความสามารถสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากนักเรียนนำความรู้และความสามารถในการสร้างชิ้นงานโดยการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนรู้ นักเรียนเข้าถึงเนื้อหาได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุตินันต์ บำรุงศิลป์ (2557) การศึกษาผลการเรียนรู้พบว่า มีระดับคุณภาพของชิ้นงานในระดับดี มีความก้าวหน้าและมีความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงขึ้น รัชณี ชุ่มกิ่ง (2557) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้แบบโครงงานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและนักเรียนมีทักษะกระบวนการหลังการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานสูงขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า หลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ สามารถทำให้นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีความสามารถในการสร้างชิ้นงานได้สูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีปกติ

### ข้อเสนอแนะ

การปรับเปลี่ยนหลักสูตรใหม่ฯ ทำให้การผลิตบทเรียนมัลติมีเดียฯ มีข้อจำกัด ดังนั้นควรมีการวางแผนงานที่ชัดเจนเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้และเชื่อมโยงกับความสนใจในสาระสำคัญของบทเรียนฯ โดยแบ่งเนื้อหาย่อยเป็นส่วน ๆ ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ควบคู่กับการจัดกิจกรรมโครงงานฯ อย่างเป็นขั้นตอน โดยส่งเสริมพัฒนาทักษะความสามารถในการสร้างชิ้นงานให้บรรลุผลสำเร็จ

### ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

การพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียฯ ควรเพิ่มรูปแบบการแก้ปัญหาหรือในสถานการณ์ที่นักเรียนให้ความสนใจเรียนรู้ฯ ในขณะปัจจุบัน ให้สอดคล้องกับหลักสูตรฐานสมรรถนะสู่การพัฒนาเด็กในศตวรรษที่ 21 และสิ่งใหม่ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (New normal) ในการเรียนรู้แบบโครงงานฯ ที่มีความท้าทาย สู่การคิดและลงมือปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองโดยมีองค์ความรู้และความสามารถในการสร้างนวัตกรรม เป็นแบบอย่างให้กับกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ นอกจากนี้สามารถพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียฯ สำหรับการเรียนในระบบออนไลน์ และใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อการศึกษาและค้นคว้าแสวงหาความรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งเป็นโอกาสทางการศึกษาได้อย่างหลากหลายมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2553). แผนนำทางวิจัย การศึกษา, 2553-2562. กรุงเทพฯ: ไอคอนพรีนติ้ง. หน้า 13-14
- จินตวีร์ คล้ายสังข์. (2554). หลักการออกแบบเว็บไซต์ทางการศึกษา: ทฤษฎีสู่การปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษา. หน้า 9
- ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2557). การสอนซ่อมเสริม : เติมเต็มศักยภาพนักเรียน. กรุงเทพฯ: วีพริ้นท์. หน้า 189
- ณัฐกร สงคราม. (2554). การออกแบบและพัฒนาวัสดุมีเดียเพื่อการเรียนรู้ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: วี.พริ้นท์. หน้า 12
- ณัฐกร สงคราม. (2557). การออกแบบและพัฒนาวัสดุมีเดียเพื่อการเรียนรู้ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: วี.พริ้นท์. หน้า 6
- ณัฐกรฤดา ดุลวิทย์. (2554). การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีพื้นฐานของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการพัฒนาโครงการด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา).
- ทวีป อภิสัทธา. (2556). สอนเป็น สอนดี สอนเก่ง (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: วี.พริ้นท์. หน้า 157
- บุปผชาติ ทัพพิกรณ์. (2551). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการเรียนการสอน. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. หน้า 62
- พรทิพย์ ศิริภักทราชัย. (เมษายน-มิถุนายน 2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. วารสาร นักบริหาร ,33 (2), 50.
- พิมพ์นธ์ เดชะคุปต์ และเพียว ยินดีสุข. (2558). การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 1
- พิสนุ ฟองศรี. (2558). วิจัยชั้นเรียน: หลักการและเทคนิคปฏิบัติ (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: ด้านสุทธาการพิมพ์. หน้า 77
- ภาสกร เรืองรอง. (2558). คอมพิวเตอร์ช่วยสอน Computer Assisted Instruction. กรุงเทพฯ: พรทิษา. หน้า 63
- รสริน พิมพ์บรรยงก์ และคณะ. (2559). เอกสารประกอบการสอน วิชาเทคโนโลยีการศึกษา. (10311). โปรแกรมวิชา เทคโนโลยีและนวัตกรรมการศึกษา. นครราชสีมา: คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. หน้า 184
- รัชณี ชุ่มกิ่ง. (2557). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยการเรียนรู้แรงและการเคลื่อนที่ และทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา).
- ราตรี เกลื่อนเมือง. (2554). การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์มีเดียแบบแอนิเมชันเรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ เทคโนโลยีสารสนเทศของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- โรงเรียนวัดสระแก้ว. (2562). หลักสูตรโรงเรียนวัดสระแก้ว. นครราชสีมา: ฝ่ายวิชาการโรงเรียนวัดสระแก้ว. หน้า 9
- ศิริกัลยา อุดมรัตน์. (2555). การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์มีเดียเรื่องอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศและการ ทำงานของคอมพิวเตอร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ กลุ่ม สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน

พุทธศักราช 2551 ระดับประถมศึกษา. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2562, จาก  
<http://primaryscience.ipst.ac.th/?cat=96>

สำนักนโยบายและแผนการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2559). นโยบายปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 สำนักงานคณะกรรมการ  
การศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. หน้า 9  
สุนันทา สร้อยสวัสดิ์. (2556). ผลการใช้บทเรียนมัลติมีเดียออกแบบตามแนวการสอนแบบบูรณาการ เรื่องวิธีการวาด  
ภาพด้วยโปรแกรม Paintbrush วิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 (วิทยานิพนธ์  
มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา).

อรุณ ศรีสิทธิชูชาติ. (2557). การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะทางสังคม  
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 45 (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต,  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา).

ADDIE Model. (2015). ADDIE is an Instructional Systems Design (ISD). Retrieved Nov 14, 2016, from  
[https://en.wikipedia.org/wiki/ADDIE\\_Model](https://en.wikipedia.org/wiki/ADDIE_Model)

# การเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม tSNE ในการจำแนกข้อมูลโดยใช้การสกัดคุณลักษณะแบบสองขั้น

## Performance Improvement of tSNE algorithm in classification task by using two-step feature extraction

นรเศรษฐ์ กฤษณ์ชัย<sup>1</sup> และ ศิริสรพร เหล่าหะเกียรติ<sup>2</sup>  
Noraseth Krudsamai<sup>1</sup> and Sirisup Laohakiat<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะ tSNE ได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้ลดจำนวนมิติของชุดข้อมูลและการแสดงภาพของข้อมูล ทว่าการใช้อัลกอริทึม tSNE กับข้อมูลเพื่อลดจำนวนมิติลงก่อนทำการจำแนกข้อมูลจะทำให้ประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลลดลงอย่างมาก เนื่องจากอัลกอริทึม tSNE ไม่สามารถรักษาคุณสมบัติโดยรวมของข้อมูลไว้ได้ ในการศึกษาครั้งนี้เรานำเสนอการใช้อัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะแบบสองขั้นเพื่อรักษาคุณสมบัติโดยรวมของข้อมูลไว้ อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่ผ่านการลดจำนวนมิติด้วยอัลกอริทึม tSNE จากการทดลองพบว่าผลการจำแนกข้อมูลด้วยการใช้อัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะแบบสองขั้นให้ประสิทธิภาพดีกว่าการใช้อัลกอริทึม tSNE แต่เพียงอย่างเดียว อีกทั้งในบางชุดข้อมูลยังมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้อัลกอริทึมที่ไม่ผ่านการลดมิติอีกด้วย

**คำสำคัญ** : อัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะ, การทำงานร่วมกันของอัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะ, การลดมิติข้อมูล, การเรียนรู้ของเครื่อง

### Abstract

Recently, tSNE algorithm is one of the most popular feature extraction algorithms used in data dimensionality reduction and data visualization tasks. However, when applying tSNE to reduce the dimensionality of the dataset before performing classification, the classification results would substantially deteriorate. This results from the fact that tSNE cannot preserve the global structure of the dataset. In order to solve this drawback in tSNE, we propose the use of two-step feature extraction algorithm to improve the global structure of the reduced-dimension dataset. We applied another feature extraction algorithm before performing tSNE in the final step. Then, the reduced dimensioned data is used to perform classification using various classification models, in compared with using tSNE directly. The results show that the classification results when using two-step feature extraction improve significantly, compared with using tSNE alone. Also, in some datasets, the classification results from using two-step feature extraction excel those with the full dimensional data.

---

<sup>1</sup> วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110  
Master of science, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

<sup>2</sup> ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110  
Department of Information Technology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

**Keyword :** Feature Extraction Algorithms, Combined Feature Extraction Algorithms, Dimensionality Reduction, Machine Learning

## บทนำ

การลดมิติข้อมูลเป็นหัวข้อหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมากในงานด้านวิทยาการข้อมูลซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอการลดมิติข้อมูลโดยอัลกอริทึม tSNE (van der Maaten, L. & Hinton, G. 2008). เพื่อลดมิติของข้อมูล อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเมื่อนำไปใช้กับการจำแนกข้อมูล (classification) เนื่องจากอัลกอริทึม tSNE ไม่สามารถรักษาคุณสมบัติโดยรวมของข้อมูลได้ (global structure) ทำให้การแมพไปยังมิติต่ำโดยตรง ให้ผลที่คลาดเคลื่อนจากความ เป็นจริง

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม tSNE โดยให้อัลกอริทึมอื่นช่วยในการประมวลผลคือ PCA, KPCA และ AUTOENCODER ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการลดมิติข้อมูลและให้อัลกอริทึมจำแนกประเภท Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree Classifier และ Random Forest Classifier เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะแบบสองชั้นในแต่ละอัลกอริทึมโดยใช้ชุดข้อมูลทั้งหมดสามชุด

## วัตถุประสงค์

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

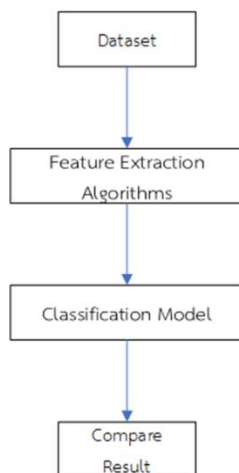
1. เพื่อศึกษาแนวคิดและวิธีการทำงานของอัลกอริทึมที่ใช้แยกแยะคุณลักษณะ
2. เพื่อลดมิติของข้อมูลให้สามารถอธิบายได้ในรูปแบบ 2 มิติ
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม tSNE ในการจำแนกข้อมูลโดยใช้การสกัดคุณลักษณะแบบสองชั้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็นสองกรณี ในกรณีแรกคือการทดลองโดยไม่ผ่านการสกัดคุณลักษณะและผ่านการสกัดคุณลักษณะโดยนำชุดข้อมูลมาเข้าแบบจำลองการจำแนกข้อมูลโดยที่ไม่ผ่านขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะ นำผลการจำแนกข้อมูลทำเป็นบรรทัดฐาน (Baseline) กรณีที่สองนำข้อมูลผ่านการสกัดคุณลักษณะและทำการการจำแนกข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ของการจำแนกข้อมูลในแต่ละอัลกอริทึมประกอบด้วยอัลกอริทึม PCA , PCA + tSNE , Kernel PCA , Kernel PCA + tSNE , AUTOENCODER และ AUTOENCODER + tSNE มาเปรียบเทียบ ในการทดลองใช้ชุดข้อมูล 3 ชุดคือชุดข้อมูล Credit Card Fraud Detection (Credit Card Fraud Detection)เป็นข้อมูลแบบ 2 คลาสคือธุรกรรมแบบปกติและธุรกรรมที่ผิดปกติ ข้อมูลการทำธุรกรรมบัตรเครดิตที่มีข้อมูลการช้อปประกอบไปด้วยข้อมูลการทำธุรกรรมจากบัตรเครดิตในเดือนกันยายนปี 2013 โดยผู้ให้บริการบัตรเครดิตในทวีปยุโรป ชุดข้อมูลนี้แสดงข้อมูลธุรกรรมที่เกิดขึ้นจำนวน 2 วัน ซึ่งพบว่ามีข้อมูลธุรกรรมที่มีการช้อปจำนวน 492 รายการจากการทำธุรกรรมทั้งหมด 284087 รายการ เพื่อแก้ปัญหาจำนวนข้อมูลระหว่างคลาสด่างกันมากจึงใช้ข้อมูลคลาสดปกติจำนวน 1000 แถว ชุดข้อมูล Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) เป็นชุดข้อมูลลักษณะนิเวศวิทยของเซลล์ที่อยู่ใน

ภาพถ่ายด้านมมี 2 คลาสคือถูกวินิจฉัยว่าเป็นเนื้อร้ายหรือไม่ประกอบไปด้วย 9 คุณลักษณะคือเส้นผ่านศูนย์กลาง สีของนิวเคลียสจากภาพ เส้นรอบรูป พื้นที่ ความเรียบ ความหนาแน่น ความโค้ง จำนวนจุดหักโค้ง ความสมมาตร จำนวนคลาสที่เป็นเนื้อร้าย 212 แดว จำนวนที่ไม่เป็น 357 แดว ชุดข้อมูล Heart Disease UCI เป็นชุดข้อมูลโรคหัวใจ ประกอบด้วย 14 คุณลักษณะเช่นอายุ เพศ ประเภทการเจ็บหน้าอก ความดันโลหิต ปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือด ผลการวัดคลื่นหัวใจ จำนวนคลาสที่เป็นโรคหัวใจ 165 แดว ไม่เป็นโรคหัวใจ 138 แดว

รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดลอง



### tSNE

นำเสนอโดย Laurens van der Maaten ในปี 2008 เป็นเทคนิคการสกัดคุณลักษณะแบบไม่เป็นเส้นตรงใช้สำหรับลดมิติข้อมูลและใช้เพื่อแสดงข้อมูลที่มีจำนวนมิติมากโดยเฉพาะ ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลภาพ , การประมวลผลภาษา , ข้อมูลจีโนมของยีน t-SNE จะทำการค้นหารูปแบบและทำการ mapping ข้อมูลจากมิติสูงสู่มิติต่ำโดยยังคงรักษาระยะห่างของจุดข้อมูลในกลุ่ม (local Structure) แต่ไม่ได้รักษาระยะห่างระหว่างกลุ่ม (Global Structure) t-SNE สามารถแก้ปัญหาการกระจุกตัวของข้อมูล (Crowding) เมื่อแสดงข้อมูลในมิติต่ำ

### PCA

เป็นเทคนิคประเภท unsupervised ที่จะทำการสร้างคุณลักษณะใหม่ขึ้นมาด้วยการค้นหาองค์ประกอบหลักจากทิศทางของข้อมูลที่มีการขยายตัวมากที่สุด คุณลักษณะใหม่ที่สำคัญที่สุดเรียกว่าองค์ประกอบหลักแรก (First principal Component) และองค์ประกอบที่สองจะมีทิศทางตั้งฉากกับองค์ประกอบหลักแรกต่อเนื่องไปตามลำดับ

### Kernel PCA

ทำงานเช่นเดียวกับ PCA แต่มีการใช้ Kernel Trick เพื่อเพิ่มมิติของข้อมูลแล้วจึงค้นหาองค์ประกอบหลักจากข้อมูล

## AUTOENCODER

เป็น neuron network ประเภทหนึ่งที่ประกอบด้วย 3 layer คือ encoder layer code หรือ latent layer และ decoder layer ซึ่งจำนวน node ของ encoder layer และ decoder layer จะมีขนาดเท่ากัน ส่วน latent layer จะมีขนาดเล็กกว่า ทีเดียวคือข้อมูลจะถูกลดขนาดลงไปเรื่อยๆ เมื่อผ่านแต่ละ layer จนไปถึงส่วนที่เป็น code ซึ่งเป็น layer ที่มีขนาดเล็กที่สุด สามารถที่จะจับหรือ capture ข้อมูลที่เป็นสาระสำคัญหรือแก่นได้ และมี backpropagation เพื่อปรับค่า Loss Function ทำให้ output ที่ถูก decoder ออกมาพยายามเลียนแบบข้อมูล input มากที่สุด AUTOENCODER มี Activation Function เป็นแบบ Non – Linear จึงสามารถทำงานกับข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบ Non – Linear ได้

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2008 Maaten (van der Maaten, L. & Hinton, G. 2008). ได้นำเสนอเทคนิคการลดมิติข้อมูลเพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลได้ในรูปแบบ 2 – 3 มิติ

ใช้เทคนิค Stochastic Neighbor Embedding เพื่อแก้ปัญหาการซ้อนทับของข้อมูลเมื่อแสดงผล ทำการลดมิติข้อมูลเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Sammon mapping, Isomap, and Locally Linear Embedding **สรุป** t-SNE สามารถแสดงข้อมูลโดยยังคงรักษาระยะห่างของจุดข้อมูลในกลุ่มและสามารถแก้ปัญหาการซ้อนทับของข้อมูล โดยผู้วิจัยนำเทคนิคการลดมิติเพื่อแสดงข้อมูลมาใช้แสดงข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้

ในปี 2019 Song, Wang, Liu และ Choo (Song, Wang, Liu, & Choo, 2018) ทำการศึกษารลดมิติของข้อมูลจากภาพการศึกษาระยะไกล (remote sensing) เนื่องจากเทคนิคการลดมิติที่มีอยู่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจึงใช้ 2-mixed Gaussian model(GMM) ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม t-SNE

**สรุป** การกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบใหม่ที่ใช้กับอัลกอริทึม t-SNE ช่วยให้รักษาโครงสร้างในระดับ Local และแยกความแตกต่างระหว่างโครงสร้าง Global ได้อย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้นำแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ tSNE ด้วยการใช้อัลกอริทึมอื่นช่วยจากบทความนี้

ในปี 2016 (Wang, Yao, & Zhao, 2016) งานวิจัยศึกษาการทดลองลดมิติข้อมูลด้วย AUTOENCODER กับวิธีการลดมิติข้อมูลแบบต่างๆ คือ PCA, LDA, LLE และ ISOMAP ใช้ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นเองคือชุดข้อมูล 3 มิติที่เป็นโครงสร้างแบบ Circular Helix, Conical Helix และ Planar Helix และชุดข้อมูล MNIST และ Olivetti face การทดลองแบ่งเป็นสองส่วนคือ การประเมินความสามารถในการลดมิติและการหาว่าจำนวน Hidden Layer ส่งผลต่อประสิทธิภาพหรือไม่ **สรุป** การลดมิติด้วย AUTOENCODER ให้ผลที่แตกต่างอย่างชัดเจนเทียบกับวิธีอื่นคือนอกจากจะลดมิติข้อมูลแล้ว ยังสามารถสกัดโครงสร้างของข้อมูลออกมาได้และการทดลองจำแนกประเภทชุดข้อมูล MNIST จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อจำนวน Hidden Layer ใกล้เคียงหรือเท่ากับมิติของข้อมูล ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อดีและคุณสมบัติในการใช้ AUTOENCODER เพื่อประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

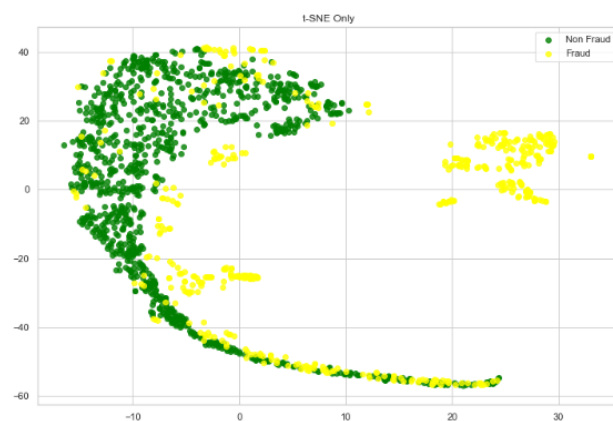
ในปี 2018 (Jamal, Handayani, Septiandri, Ripmiatin, & Effendi, 2018) งานวิจัยศึกษาทดลองการจำแนกประเภทของชุดข้อมูล Wisconsin Breast Cancer ใช้อัลกอริทึม Support Vector Machine และ Extreme Gradient Boosting ในการจำแนกประเภทและเปรียบเทียบผล ใช้อัลกอริทึม PCA และ K-Means เพื่อลดมิติและข้อมูลสกัดคุณลักษณะข้อมูล **สรุป** K-Means ให้ประสิทธิภาพดีกว่าในการลดมิติและนำมาจำแนกประเภทเมื่อเทียบ

กับ PCA ผู้วิจัยได้ศึกษาผลการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการใช้เทคนิคการลดมิติข้อมูลเพื่อใช้กับแบบจำลองจำแนกประเภท

### การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ 2 มิติ

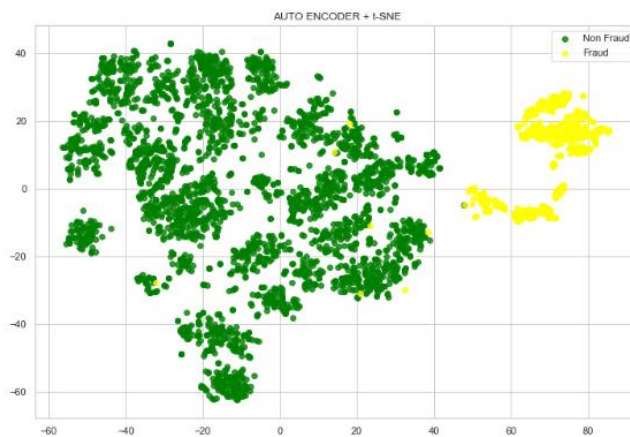
การแสดงผลข้อมูลเริ่มจากการการแสดงผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ 2 มิติโดยใช้อัลกอริทึม tSNE ชุดข้อมูล Credit Card Fraud Detection พบว่าคลาส fraud มีบางส่วนที่ถูกแยกออกมาจากคลาส non fraud อย่างชัดเจนและบางส่วนยังทับซ้อนอยู่ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การแสดงผลข้อมูล credit fraud โดยใช้ tSNE



และเมื่อเลือกใช้อัลกอริทึม AUTOENCODER ทำการสกัดคุณลักษณะและแสดงผลด้วย tSNE พบว่าคลาส fraud ถูกแยกออกมาอย่างชัดเจนมากมีลักษณะเหมือนถูกคัดลอกมาดังรูปที่ 3

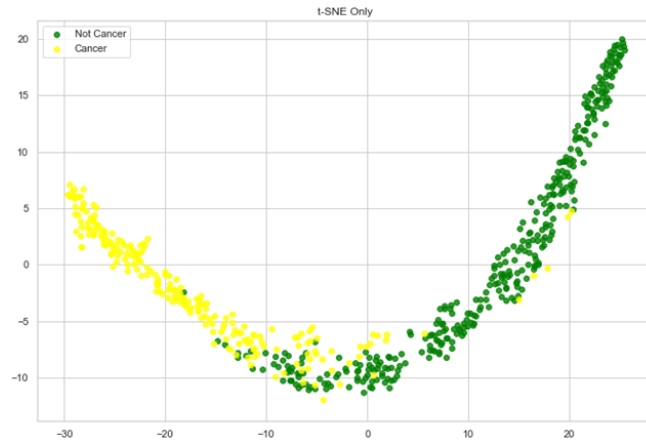
รูปที่ 3 การแสดงผลข้อมูล credit fraud โดยใช้ AUTOENCODER ร่วมกับ tSNE



การแสดงผลข้อมูลชุดข้อมูล Breast Cancer Wisconsin เมื่อใช้อัลกอริทึม tSNE พบว่าคลาสทั้ง 2 ถูกแยกออกจากกันค่อนข้างดีแต่ยังมีส่วนที่ทับซ้อนกันทั้งในคลาสตัวเองและทับกับคลาสตรงข้ามดังรูปที่ 4

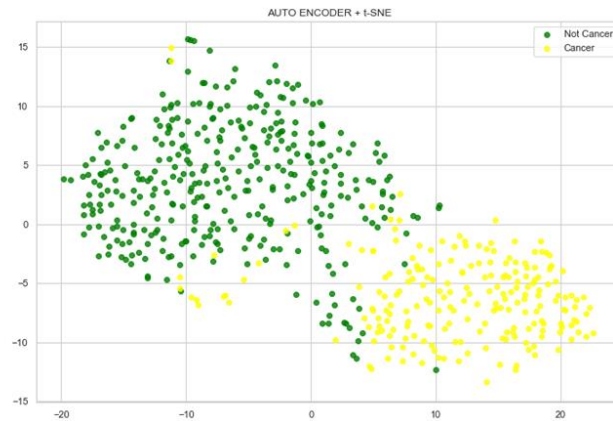


รูปที่ 4 การแสดงผลข้อมูล Breast Cancer Wisconsin โดยใช้ tSNE



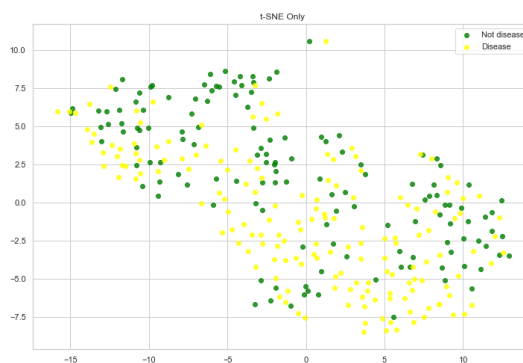
และเมื่อใช้อัลกอริทึม AUTOENCODER ช่วยสกัดคุณลักษณะแล้วจึงใช้ tSNE ช่วยในการแสดงผลในทำนองเดียวกับชุดข้อมูล credit fraud สามารถแยกคลาสของข้อมูลออกจากกันได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การแสดงผลข้อมูล Breast Cancer Wisconsin โดยใช้ AUTOENCODER ร่วมกับ tSNE



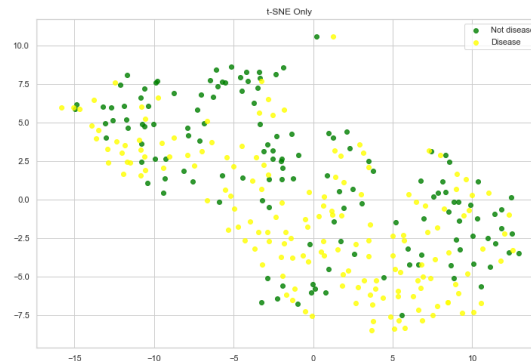
การแสดงผลข้อมูลชุดข้อมูล Heart Disease เมื่อใช้ tSNE ในการแสดงผลพบว่าแทบจะไม่พบการทับซ้อนแต่คลาสไม่สามารถแบ่งกลุ่มได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 การแสดงผลข้อมูล Heart Disease โดยใช้ tSNE



และเมื่อใช้ AUTOENCODER สกัดคุณลักษณะและใช้ tSNE ร่วมแสดงข้อมูลพบการเกาะกลุ่มเป็นลักษณะคลัสเตอร์ แต่สามารถลดการซ้อนทับของข้อมูลได้ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การแสดงผลข้อมูล Heart Disease โดยใช้ AUTOENCODER และ tSNE



### การเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม tSNE

การวัดประสิทธิภาพในการทดลองนี้จะทำการวัดประสิทธิภาพด้วยการใช้อัลกอริทึมจำแนกประเภท (Classification) โดยการทดลองในแต่ละชุดข้อมูลจะทำการวัดผลเพื่อเป็นบรรทัดฐานโดยไม่ผ่านการสกัดคุณลักษณะข้อมูลและทำการทดลองแบบผ่านการสกัดคุณลักษณะข้อมูลเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ วิธีการดำเนินการทดลองเป็นไปตามหลักการทดลองแบบจำลองในงานด้านวิทยาการข้อมูล อัลกอริทึมที่ใช้ทำการทดลองคือ Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree และ Random Forest โดยวัดประสิทธิภาพการทดลองด้วยค่า Accuracy ซึ่งได้ผลลัพธ์ของชุดข้อมูล Credit Fraud, Breast Cancer Wisconsin และ Heart Disease โดยตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะของชุดข้อมูล Credit Card Fraud Detection จะเห็นว่าการใช้อัลกอริทึม AUTOENCODER ร่วมกับ t-SNE ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกแบบจำลอง ตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะของชุดข้อมูล Breast Cancer Wisconsin จะเห็นว่าการใช้อัลกอริทึม AUTOENCODER ร่วมกับ t-SNE ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกแบบจำลอง และตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะของชุดข้อมูล Heart Disease จะเห็นว่าการใช้อัลกอริทึม PCA ร่วมกับ t-SNE ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในแบบจำลอง Logistic Regression และ Support Vector Machine ส่วนการใช้อัลกอริทึม AUTOENCODER ร่วมกับ t-SNE ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในแบบจำลอง Decision Tree และ Random Forest

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพแบบจำลองการจำแนกข้อมูลของชุดข้อมูล Credit Fraud

อัลกอริทึม	แบบจำลอง			
	Logistic Regression	Support Vector Machine	Decision Tree	Random Forest
baseline	0.95	0.96	0.94	0.93

PCA	0.93	0.93	0.89	0.92
AUTOENCODER	1.00	1.00	1.00	1.00
tSNE	0.79	0.81	0.89	0.89
PCA และ t-SNE	0.94	0.93	0.90	0.94
AE และ t-SNE	0.99	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพแบบจำลองการจำแนกข้อมูลของชุดข้อมูล Breast Cancer Wisconsin

อัลกอริทึม	แบบจำลอง			
	Logistic Regression	Support Vector Machine	Decision Tree	Random Forest
baseline	0.98	0.97	0.93	0.93
PCA	0.94	0.93	0.92	0.94
AUTOENCODER	0.97	0.95	0.95	0.98
tSNE	0.89	0.90	0.90	0.90
PCA และ t-SNE	0.95	0.95	0.92	0.93
AE และ t-SNE	0.98	0.98	0.98	0.98

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพแบบจำลองการจำแนกข้อมูลของชุดข้อมูล Heart Disease

อัลกอริทึม	แบบจำลอง			
	Logistic Regression	Support Vector Machine	Decision Tree	Random Forest
baseline	0.77	0.81	0.80	0.77
PCA	0.85	0.85	0.68	0.75
AUTOENCODER	0.81	0.81	0.75	0.88
tSNE	0.68	0.73	0.52	0.55
PCA และ t-SNE	0.85	0.86	0.73	0.78
AE และ t-SNE	0.77	0.72	0.85	0.90

## ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองพบว่าอัลกอริทึม tSNE สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อใช้อัลกอริทึมการสกัดคุณลักษณะข้อมูลแบบสองชั้นโดยเฉพาะ AUTOENCODER พบว่าประสิทธิภาพดีกว่าผลลัพธ์ที่เป็นบรรทัดฐานในชุดข้อมูล Credit Fraud และ Heart Disease

ในขณะที่การใช้อัลกอริทึมในการลดมิติแบบอื่นร่วมกับ tSNE ด้วย กลับไม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นนัก จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ AUTOENCODER เพื่อแยกแยะคุณลักษณะของข้อมูลออกมาขั้นหนึ่งก่อน มีผลทำให้ข้อมูลมีการแยกแยะกลุ่มออกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจาก AUTOENCODER ช่วยทำให้ข้อมูลที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน จับกลุ่มกันได้ดีขึ้น ทำให้ผลการแยกแยะของเกือบทุกตัวแยกแยะดีขึ้นทั้งสิ้น

## สรุป

จากการทดลองพบว่าการใช้อัลกอริทึมสกัดคุณลักษณะ tSNE แบบสองขั้นโดยเฉพาะ AUTOENCODER และ tSNE สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอัลกอริทึม tSNE ได้มากกว่าการใช้อัลกอริทึม tSNE เพียงขั้นเดียวเนื่องจากอัลกอริทึมในขั้นแรกจะทำการสกัดคุณลักษณะข้อมูลที่สำคัญและ tSNE จะทำการค้นหาและสรุปคุณลักษณะข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ 2 – 3 มิติ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้การสนับสนุนการวิจัยและการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- van der Maaten, L. & Hinton, G. (2008). Visualizing Data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research*, 9, 2579--2605.
- S. Mukherjee, t-SNE based feature extraction technique for multi-layer perceptron neural network classifier, 2017 *International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, Kannur, 2017, pp. 660-664.
- Credit Card Fraud Detection. (2018, March 23). Retrieved October 10, 2019, from <https://www.kaggle.com/mlg-ulb/creditcardfraud>
- Wolberg, D. W. H., Street, W. N., & Mangasarian, O. L. (1995, November 1). Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) Data Set. Retrieved October 10, 2019, from [https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast Cancer Wisconsin \(Diagnostic\)](https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer+Wisconsin+(Diagnostic))
- Janosi, A., Steinbrunn, W., Pfisterer, M., & Detrano, R. (1988, July 1). Heart Disease Data Set. Retrieved October 10, 2019, from [https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Heart Disease](https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Heart+Disease)
- Song, W., Wang, L., Liu, P., & Choo, K. R. (2018). Improved t-SNE based manifold dimensional reduction for remote sensing data processing. *Multimedia Tools and Applications*, 78(4), 4311-4326. doi:10.1007/s11042-018-5715-0
- Wang, Y., Yao, H., & Zhao, S. (2016). Auto-encoder based dimensionality reduction. *Neurocomputing*, 184, 232-242. doi:10.1016/j.neucom.2015.08.104
- Jamal, A., Handayani, A., Septiandri, A. A., Ripmiatin, E., & Effendi, Y. (2018). Dimensionality Reduction using PCA and K-Means Clustering for Breast Cancer Prediction. *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 192. doi:10.24843/lkjiti.2018.v09.i03.p08

## กลไกระดับโมเลกุลของน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณแกมมาออริซานอลสูง ต่อการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1

The molecular mechanistic effects of high  $\gamma$ -oryzanol-containing rice bran oils on anti-lipid accumulation in 3T3-L1 adipocytes

วนิดา ชาวนาวา<sup>1</sup>, วันทณี หาญช้าง<sup>1</sup>, ธารทิพย์ บุญส่ง<sup>1</sup>

Wanida Chawnawa<sup>1</sup>, Wanthanee Hanchang<sup>1</sup>, Tantip Boonsong<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

โรคอ้วน เป็นภาวะที่ร่างกายมีการสะสมไขมันมากกว่าปกติ และเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางเมแทบอลิซึม แกมมาออริซานอล (ORZ) เป็นสารสำคัญที่พบในน้ำมันรำข้าว และมีฤทธิ์ลดปริมาณไขมัน อย่างไรก็ตามการศึกษากลไกในระดับโมเลกุลยังไม่ชัดเจน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวแบบสกัดเย็น (CPO) และน้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี (HRB และ LRB) ที่มีปริมาณ ORZ ที่แตกต่างกัน ต่อการสะสมไขมัน และการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมัน และการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1 เปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่มี ORZ (น้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันมะกอก (OL)) โดยมีสารมาตรฐาน ORZ เป็นตัวควบคุมเชิงบวก ในการทดสอบ เซลล์ไขมันจะได้รับสารตัวอย่างตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมัน (co-treatment) รวม 7 วัน จากนั้นตรวจวัดระดับไขมันภายในเซลล์โดยการย้อมสี Oil Red O และตรวจวัดการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องด้วยวิธี RT-PCR และ Western blot ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างน้ำมัน CPO ที่มี ORZ สูง (20000 ppm) มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ และลดการแสดงออกของยีน (*PPARY*, *SREBP-1c* และ *GLUT4*) และโปรตีน (*PPARY* และ *SREBP-1*) ที่เกี่ยวข้องได้ดีกว่า HRB และ LRB ที่มีปริมาณ ORZ ต่ำ (12500 ppm และ 8000 ppm ตามลำดับ) และให้ผลไปในทิศทางเดียวกับสารมาตรฐาน ORZ ส่วนตัวอย่างน้ำมัน PO และ OL ที่ไม่มี ORZ เป็นองค์ประกอบกลับให้ผลในทางตรงข้าม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ORZ ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าวสามารถกระตุ้นกลไกการยับยั้งในระดับโมเลกุลส่งผลให้มีการลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน ซึ่งอาจส่งผลดีต่อการส่งเสริมสุขภาพ และ/หรือ ป้องกันภาวะโรคอ้วน

**คำสำคัญ:** น้ำมันรำข้าว, แกมมาออริซานอล, โรคอ้วน, เซลล์ไขมัน 3T3-L1

<sup>1</sup> ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000 ประเทศไทย

Department of Biochemistry, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

## Abstract

Obesity is a condition of excess body fat accumulation and increase risks of metabolic diseases. The  $\gamma$ -oryzanol (ORZ), one of bioactive compounds found in rice bran, can reduce intracellular lipids. However, the underlying mechanisms are still not clear. Our study aimed to investigate the effect of cold-pressed rice bran oil (CPO) and refined rice bran oils (HRB and LRB) containing different amount of ORZ on lipid accumulation and expression of adipogenic related genes and proteins in 3T3-L1 adipocytes compared with no ORZ-containing oils (palm oil (PO) and olive oil (OL)). The standard ORZ (ORZ) was used as a positive control. The cells were treated with oil samples throughout the differentiation process for 7 days. The intracellular lipid accumulation was then determined by Oil Red O staining assay. The expression of related genes and proteins was examined by RT-PCR and western blot, respectively. The results showed that, the highest ORZ-containing rice bran oil, CPO (20000 ppm) potentially reduced intracellular lipid accumulation and the expression of genes (*PPAR $\gamma$* , *SREBP-1c*, and *GLUT4*) and proteins (*PPAR $\gamma$*  and *SREBP-1*) more than the lower ORZ-containing refined rice bran oils, HRB (12500 ppm) and LRB (8000 ppm), respectively. In addition, the standard ORZ revealed a similar trend to the CPO. In contrast, no-ORZ containing oils (PO and OL) displayed contradictory results. These results suggest that the inhibitory effects of high ORZ-containing rice bran oil at the molecular levels resulting to decrease intracellular lipid accumulation, which may have beneficial health effects to prevent obesity.

**Keyword:** rice bran oil,  $\gamma$ -oryzanol, obesity, 3T3-L1 adipocytes

## บทนำ

โรคอ้วน เป็นโรคที่มีความผิดปกติของเมแทบอลิซึมแบบเรื้อรัง จากการสะสมไขมันในร่างกายมากเกินไป และยังเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดความดันโลหิตสูง น้ำตาลในเลือดสูง ไขมันในเลือดสูง และภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Mohamed et al, 2014) กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ถูกควบคุมด้วยยีนกลุ่มต่าง ๆ เป็นลำดับต่อเนื่องกัน ได้แก่ ยีนกลุ่ม adipogenic transcription factor เช่น CCAAT enhancer-binding proteins (*C/EBPs*), peroxisome proliferator-activator receptor (*PPAR*)  $\gamma$  และ ยีนกลุ่ม lipogenic เช่น sterol regulatory element-binding protein-1c (*SREBP-1c*), glucose transporter 4 (*GLUT4*), fatty acid synthase (*FAS*), acetyl-CoA carboxylase (*ACC*) และ lipoprotein lipase (*LPL*) นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางสัณฐานวิทยา (morphology) และการสะสมไขมันภายในเซลล์ ของเซลล์ไขมันระยะ mature adipocyte (Pedro et al, 2017)

ปัจจุบันการดูแลสุขภาพและการให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และน้ำมันพืชถูกนำไปใช้ป็นองค์ประกอบสำคัญในการปรุงอาหาร น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศแถบเอเชียเนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Pal และ Pratap, 2017) น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันที่สกัดจากรำข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว โดยมีวิธีการสกัดต่าง ๆ กัน ได้แก่ การสกัดเย็น และการสกัดแบบใช้ตัวทำละลาย (Wongwaiwech et al, 2019) น้ำมันรำข้าวมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่  $\gamma$ -oryzanol (ORZ), phytosterol และ polyphenol (Friedman, 2013) ORZ เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในน้ำมันรำข้าว (Xu et al, 2001) และในน้ำมันรำข้าวแบบสกัดเย็น พบว่ามี ORZ ในปริมาณมากกว่าน้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี มีรายงานการศึกษาพบว่า ORZ สามารถลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ (Pal และ Pratap, 2017) ได้ แต่อย่างไรก็ตาม กลไกการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลยังไม่ชัดเจน การศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณ ORZ แตกต่างกัน ต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุล โดยตรวจวัดการสะสมไขมันภายในเซลล์และการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1 โดยมีสมมติฐานในการวิจัยว่าน้ำมันรำข้าวไทยแบบสกัดเย็น (cold-pressed rice bran oil; CPO) ที่มี ORZ ปริมาณสูง จะสามารถลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ผ่านการยับยั้งการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้อง ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำมันรำข้าวไทยผ่านกรรมวิธี (refined-rice bran oil) (HRB และ LRB) ที่มีปริมาณ ORZ ต่ำกว่า ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้อาจใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับต่อยอดการศึกษาในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ และอาจใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการส่งเสริมสุขภาพ และ/หรือ การป้องกันภาวะโรคอ้วน

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณ ORZ แตกต่างกัน (CPO, HRB และ LRB) เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันที่ไม่มี ORZ (PO และ OL) ต่อการสะสมไขมันภายในเซลล์ และการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1



## วิธีการทดลอง

### การเพาะเลี้ยงเซลล์ไขมัน 3T3-L1

เซลล์ไขมัน 3T3-L1 (#CL-173TM, ATCC, USA) ระยะ pre-adipocytes จะถูกเลี้ยงในอาหาร Basal medium (BM) ที่ประกอบด้วย Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM), 10% fetal bovine serum และ 1% Antibiotic-Antimycotic ภายใต้สภาวะ 5% CO<sub>2</sub> ที่อุณหภูมิ 37 °C จนกระทั่งเซลล์เจริญมีความหนาแน่น 100% (100% confluent) (“วันที่ 0”) จากนั้นเซลล์จะถูกเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนเป็นเซลล์ไขมันสมบูรณ์ ระยะ mature adipocytes โดยเลี้ยงในอาหาร Differentiation medium 1 (DM1) ที่ประกอบด้วย BM, 1 mM isobutyl methylxanthine (IBMX), 2 μM dexamethasone (DEX) และ insulin ความเข้มข้น 5 μg/ml เป็นเวลา 3 วัน (“วันที่ 3”) จากนั้นเลี้ยงใน Differentiation medium 2 (DM2) ที่ประกอบด้วย BM, insulin ความเข้มข้น 5 μg/ml เป็นเวลา 4 วัน (“วันที่ 7”) ในการทดสอบ เซลล์จะได้รับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างน้ำมันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (commercial oils) ได้แก่ น้ำมันรำข้าวแบบสกัดเย็น (CPO) ที่มีปริมาณ ORZ เท่ากับ 20000 ppm และ น้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี (HRB และ LRB) ที่มีปริมาณ ORZ เท่ากับ 12500 ppm และ 8000 ppm ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ น้ำมัน PO และ OL ที่ไม่มี ORZ เป็นองค์ประกอบ และใช้สารมาตรฐาน ORZ เป็นตัวควบคุมเชิงบวก ตั้งแต่เริ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ (“วันที่ 0” ถึง “วันที่ 7”)

### การตรวจวัดการสะสมไขมันภายในเซลล์ด้วยวิธีการย้อมสี Oil Red O

หลังจากเซลล์ถูกทดสอบด้วยสารตัวอย่างเป็นเวลา 7 วัน ล้างเซลล์ด้วย phosphate buffered saline (PBS) และ fix เซลล์ใน 10% formalin เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นบ่มใน 60% isopropanol เป็นเวลา 5 นาที นำเซลล์มาย้อมด้วยสี Oil Red O และถ่ายรูปบันทึกผลด้วยกล้อง Inverted microscope จากนั้นเติม 100% isopropanol เพื่อละลายสี Oil Red O ที่ย้อมติดไขมันภายในเซลล์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm

### การตรวจวัดระดับการแสดงออกของยีน ด้วยเทคนิค RT-PCR

นำเซลล์ที่ถูกทดสอบด้วยสารตัวอย่างมาสกัด total RNA ด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป (RiboZol) (AMRESCO, USA & Canada) ตามวิธีการที่กำหนดไว้ในคู่มือ จากนั้นนำสารละลาย RNA (1000 ng) มาสังเคราะห์ cDNA ด้วยปฏิกิริยา reverse transcription (RT) และนำสารละลาย cDNA ที่ได้มาศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ ได้แก่ *PPARY*, *SREBP-1c* และ *GLUT4* เปรียบเทียบกับยีน *β-actin* (ข้อมูล primer ของยีนที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 1) ด้วยวิธี polymerase chain reaction โดยใช้ PCR thermocycling ดังนี้ ขั้นตอน pre-denaturation (95 °C 2 นาที) จากนั้นจะทำขั้นตอน denaturation (94 °C 30 วินาที), annealing (58 °C 1 นาที) และ extension (72 °C 1 นาที) จำนวน 30 รอบ และ final extension (72 °C 5 นาที) จำนวน 1 รอบ ตรวจสอบ PCR product ด้วยเทคนิค Agarose gel electrophoresis และบันทึกภาพด้วยเครื่อง Gel Document ภายใต้แสง UV (Image Quant LAS 500, GE

Healthcare Life Sciences, Sweden) และตรวจวัดระดับการแสดงออกของยีนเชิงปริมาณ โดยวัดความเข้มของแถบ DNA ด้วยโปรแกรม image J

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูล primer ของยีนที่ศึกษา

Genes		Primer sequence 5'→3'	Size (bp)	References
<i>PPAR<math>\gamma</math></i>	Forward	GCGGCCATGGAGTCAATG	101	Ho <i>et al</i> , 2012
	Reverse	CGCTGATGCACTGCCTATGA		
<i>SREBP-1c</i>	Forward	CTGCAGACCCTGGTGAGTG	170	NM_011480.3
	Reverse	GACCGGTAGCGCTTCTCAAT		
<i>GLUT4</i>	Forward	GACGGACACTCCATCTGTTG	115	NM_009204.2
	Reverse	GCCACGATGGAGACATAG		
<i><math>\beta</math>-actin</i>	Forward	ATTTATCCCGGTGTACTGTG	101	Ho <i>et al</i> , 2012
	Reverse	CGGAAGTTCAGAGAGGCGTAGTAG		

#### การตรวจวัดการแสดงออกของโปรตีนด้วยเทคนิค Western blot

นำเซลล์ที่ถูกทดสอบด้วยสารตัวอย่างมาสกัด total protein โดยใช้ชุดน้ำยาสำเร็จรูป (RIPA buffer) (Boster, USA) จากนั้นวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford (Bio-Rad, USA) แยกโปรตีน (ปริมาณ 20  $\mu$ g) ด้วยเทคนิค sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) และถ่ายโอนโปรตีนไปยัง PVDF membrane (0.45  $\mu$ M) จากนั้นแช่ PVDF membrane ใน 5% non-fat dry milk (HIMEDIA, India) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และบ่ม PVDF membrane ในสารละลาย primary antibody ที่จำเพาะต่อโปรตีน PPAR $\gamma$  (anti-PPAR gamma rabbit monoclonal antibody) (M00449, Boster, USA) โปรตีน SREBP-1 (SREBP-1 rabbit polyclonal) (AF6283, Affinity Biosciences, USA) และโปรตีน  $\beta$ -actin (8H10D10) Mouse mAb) (3700, Cell signalling technology, USA) ที่อุณหภูมิ 4 °C ซ้ำมคืน จากนั้นนำ PVDF membrane ไปบ่มในสารละลาย secondary antibody ที่ conjugate อยู่กับเอนไซม์ horseradish peroxidase (HRP) (Jackson Immuno, USA) เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 °C ตรวจวัดแถบโปรตีนเป้าหมาย ด้วยเทคนิค Chemiluminescent (Forte™ Western HRP Chemiluminescence Substrates, BIOLOGIX, USA) ถ่ายภาพแถบโปรตีนด้วยเครื่อง chemiluminescence imager instrument (Image Quant LAS 500, GE Healthcare Life Sciences, Sweden) และตรวจวัดระดับการแสดงออกของโปรตีนเชิงปริมาณ ด้วยโปรแกรม Image J

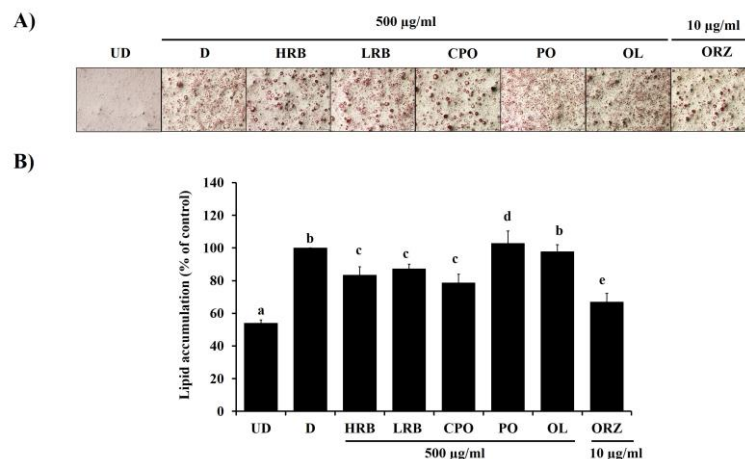
## การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และความน่าเชื่อถือของค่าเฉลี่ยแสดงโดยใช้ค่า standard deviation (SD) การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างเซลล์กลุ่มควบคุมกับเซลล์กลุ่มที่ได้รับสารตัวอย่าง ใช้วิธี one-way ANOVA และเปรียบเทียบพหุคูณแบบ Tukey's HSD และตั้งค่านัยสำคัญที่  $p < 0.05$  โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17 ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

## ผลและวิจารณ์

### การสะสมไขมันภายในเซลล์

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา (ข้อมูลที่ยังไม่ได้เผยแพร่) พบว่า ตัวอย่างน้ำมัน HRB, LRB, CPO, PO และ OL ความเข้มข้น 100-500  $\mu\text{g/ml}$  และ สารมาตรฐาน ORZ ความเข้มข้น 3-10  $\mu\text{g/ml}$  ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ความเข้มข้น 500  $\mu\text{g/ml}$  สำหรับตัวอย่างน้ำมัน HRB, LRB, CPO, PO และ OL และความเข้มข้น 10  $\mu\text{g/ml}$  สำหรับสารมาตรฐาน ORZ ในการทดสอบ จากผลการศึกษาพบว่า เซลล์ไขมันที่ได้รับตัวอย่างน้ำมัน CPO ซึ่งมี ORZ ในปริมาณสูงที่สุด (20000 ppm) สามารถลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ได้ดีกว่า ตัวอย่างน้ำมัน HRB และ LRB โดยมีปริมาณการสะสมไขมันภายในเซลล์คิดเป็นร้อยละ 78.6 ในขณะที่ HRB และ LRB คงเหลือคิดเป็นร้อยละ 83.4 และ 87.1 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำมัน PO กลับมีผลเพิ่มการสะสมไขมันภายในเซลล์คิดเป็นร้อยละ 107.3 ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมัน OL ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับไขมันภายในเซลล์ (คิดเป็นร้อยละ 97.8) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพ 1A-B)



ภาพ 1 การสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน A) 3T3-L1 โดยการย้อมด้วยสี Oil Red O และ B) ปริมาณไขมันที่ได้จากการละลายไขมันภายในเซลล์ด้วย 100% isopropanol และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm (ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย; Mean และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) (a-e แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$ ) (D = Differentiated cells); UD = Undifferentiated cells)

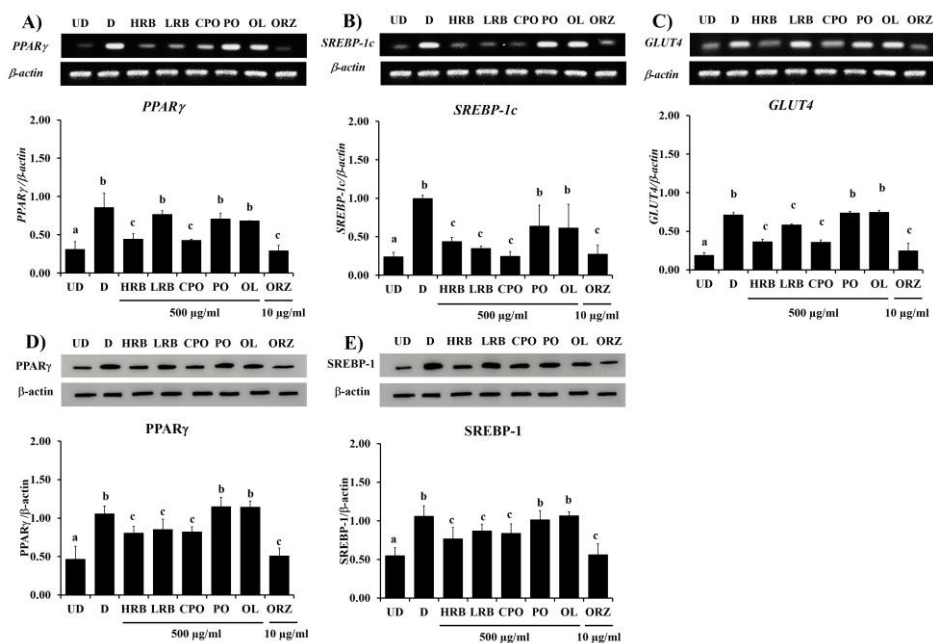
จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ORZ ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว อาจมีบทบาทสำคัญต่อการลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Minatel และคณะ ปี 2016 พบว่าสารมาตรฐาน ORZ สามารถลดการสะสมไขมันทั้งในเซลล์ไขมันต้นกำเนิด (Human adipose-derived stem cells (hASCs)) และเซลล์ไขมัน 3T3-L1 ภายในเซลล์ (Minatel et al, 2016) และยังคงสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Rabalert และคณะ ในปี 2016 พบว่าน้ำมันรำข้าวไทยที่มีความเข้มข้น 100-300  $\mu\text{g/ml}$  สามารถลดการสะสมไขมันและขนาดของเซลล์ไขมัน 3T3-L1 หลังจากได้รับตัวอย่างน้ำมันเป็นเวลา 4 วัน และ 8 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่ได้มีการรายงานขององค์ประกอบใดในตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่เป็นสารออกฤทธิ์ และไม่มีการศึกษาในระดับกลไกที่เกี่ยวข้อง (Rabalert et al, 2016) สำหรับการศึกษาครั้งนี้สนใจศึกษาฤทธิ์ของ ORZ ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันรำข้าว โดยตัวอย่างน้ำมันรำข้าวไทยที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นตัวอย่างน้ำมันที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่มีการระบุปริมาณ ORZ ที่เป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้มีการตรวจวัดปริมาณ ORZ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่แน่นอนของ ORZ ในตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ (ข้อมูลยังไม่ได้เผยแพร่) โดยจากการตรวจวัดพบว่า ตัวอย่างน้ำมันรำข้าวแบบสกัดเย็น CPO มี ORZ ประมาณ 22094 ppm ซึ่งมากกว่าน้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี HRB ที่มี ORZ ประมาณ 7788 ppm ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณ ORZ ที่ระบุไว้ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาแรกที่ตรวจวัดฤทธิ์ทางชีวภาพของ ORZ ในน้ำมันรำข้าวไทยที่มีต่อการลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ และกลไกการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลโดยตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีน (*PPAR $\gamma$* , *SREBP-1c* และ *GLUT4*) และโปรตีน (*PPAR $\gamma$*  และ *SREBP-1*) ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ (Lee et al, 2019)

### **การแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมัน**

การศึกษานี้ ตรวจวัดการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ โดย *PPAR $\gamma$*  เป็น Adipogenic transcription factor ที่มีบทบาทสำคัญในระยะแรกของกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมัน (Early immature adipocyte) (Lee et al, 2019) และยังคงควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมไขมัน (Lipogenic gene) ได้แก่ *SREBP-1c*, *GLUT4*, adipocyte protein 2 (*aP2*) และ *LPL* (Lowe et al, 2011) โดย *SREBP-1c* ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างไขมัน (*de novo* lipogenesis) เช่น *FAS* และ *ACC* (Ruiz et al, 2014) สำหรับ *GLUT4* เป็น glucose transporter เกี่ยวข้องกับการขนส่งกลูโคสเข้าสู่เซลล์ไขมัน เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างไขมันภายในเซลล์ไขมันระยะ mature adipocytes นอกจากนี้ *GLUT4* ยังถูกควบคุมการทำงานได้โดยยีน *PPAR $\gamma$*  (Watanabe et al, 2015) จากผลการศึกษา พบว่า ตัวอย่างน้ำมัน CPO, HRB, LRB และ สารมาตรฐาน ORZ สามารถลดการแสดงออกของยีน *PPAR $\gamma$* , *SREBP-1c* และ *GLUT4* (ภาพ 2A-C) และโปรตีน *PPAR $\gamma$*  และ *SREBP-1* (ภาพ 2D-E) ได้อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมัน PO และ OL ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนและโปรตีนดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์กลุ่มควบคุม (D)

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมันที่ได้รับตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่มี ORZ เป็นองค์ประกอบจากการทดสอบด้วยวิธี Oil Red O อาจเกิดขึ้นผ่านกลไกการยับยั้งการแสดงออกของยีนและโปรตีนดังกล่าว และยังพบว่าตัวอย่างน้ำมัน CPO ที่มี ORZ ปริมาณสูงมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ดังกล่าวสูงกว่าตัวอย่างน้ำมัน HRB และ LRB ที่มีปริมาณ ORZ ต่ำกว่า ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดสอบด้วยตัวอย่างน้ำมัน PO และ OL ที่ไม่มี ORZ ไม่มีผลในการลดการสะสมไขมันและการแสดงออกของยีนและโปรตีนดังกล่าว นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบผลที่ได้มีความสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกับสารมาตรฐาน ORZ ที่ใช้เป็นตัวควบคุมเชิงบวก และผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Minatel และคณะ ที่พบว่าสารมาตรฐาน ORZ สามารถยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ไขมันและการสะสมไขมันภายในเซลล์ไขมัน 3T3-L1 โดยลดการแสดงออกของโปรตีน PPAR $\gamma$  (Minatel et al, 2016) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ORZ ที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างน้ำมันรำข้าวไทยเป็นสารออกฤทธิ์ที่มีผลลดการสะสมไขมันภายในเซลล์โดยผ่านกลไกการยับยั้งดังกล่าว



ภาพ 2 การแสดงออกของยีน A) PPAR $\gamma$ , B) SREBP-1c และ C) GLUT4 ตรวจสอบด้วยเทคนิค RT-PCR และการแสดงออกของโปรตีน D) PPAR $\gamma$  และ E) SREBP-1 ตรวจสอบด้วยเทคนิค Western blot (ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย; Mean และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) (a-c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$ ) (D = Differentiated cells; UD = Undifferentiated cells)

## บทสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า น้ำมันรำข้าวแบบสกัดเย็น CPO ซึ่งมีปริมาณ ORZ สูง มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมไขมันภายในเซลล์ ผ่านกลไกการยับยั้งการแสดงออกของยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ PPAR $\gamma$ , SREBP-1c และ GLUT4 ได้ดีกว่าน้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี HRB และ LRB ที่มีปริมาณ ORZ ต่ำกว่าตามลำดับ ในขณะที่น้ำมัน PO และ OL ให้ผลในทางตรงกันข้าม จากผลการศึกษานี้ให้เห็นว่าการได้รับน้ำมันรำข้าวที่มี ORZ สูง อาจส่งผลดีในการส่งเสริมสุขภาพ และ/หรือ ป้องกันภาวะโรคอ้วน

## คำขอขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2560 (CPR6005021850) และขอขอบคุณ ผศ.ดร.เหรียญทอง สิงห์จามุวงศ์ คณะเกษตรทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับตัวอย่างสารมาตรฐาน  $\gamma$ -oryzanol ที่ใช้ในการศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

- Mohamed GA, Ibrahim SR, Elkhayat ES, El Dine RS. (2014). Natural anti-obesity agents. BULL FAC PHARM CAIRO., 52(2), 269-84.
- Pedro González-Muniesa, Miguel-Angel Martínez-González, Frank B. Hu, Jean-Pierre Després, Yuji Matsuzawa, Ruth J. F. Loos, Luis A. Moreno, George A. Bray & J. Alfredo Martinez. (2017). Nat Rev Dis Primers., 3, 17034.
- Pal YP, Pratap AP. (2017). Rice bran oil: A versatile source for edible and industrial applications. J Oleo Sci., 66(6), 551-6.
- Xu Z, Hua N, Godber JS. (2001). Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and  $\gamma$ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2, 2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride. J Agric Food Chem., 49(4), 2077-81.
- Friedman M. (2013). Rice brans, rice bran oils, and rice hulls: composition, food and industrial uses, and bioactivities in humans, animals, and cells. J Agr Food Chem., 61(45), 10626-41.
- Rabalert J, Munkong N, Parklak W, Lerdvuthisopon N. (2016). Effects of rice bran oil on lipid accumulations on 3T3-L1 cells. TMJ., 16(3), 447-55.

- Ruiz R, Jideonwo V, Ahn M, Surendran S, Tagliabracci VS, Hou Y, Gamble A, Kerner J, Irimia-Dominguez JM, Puchowicz MA, DePaoli-Roach A. (2014). Sterol regulatory element-binding protein-1 (SREBP-1) is required to regulate glycogen synthesis and gluconeogenic gene expression in mouse liver. *J. Biol. Chem.*, 289(9), 5510-7.
- Watanabe M, Hisatake M, Fujimori K. (2015). Fisetin suppresses lipid accumulation in mouse adipocytic 3T3-L1 cells by repressing GLUT4-mediated glucose uptake through inhibition of mTOR-C/EBP $\alpha$  signaling. *J Agr Food Chem.*, 63(20), 4979-87.
- Minatel IO, Lee YM, Yoon H, Yoon Y, Han SI, Correa CR, Fecchio D, Yeum KJ. (2016). Antiadipogenic activity of  $\gamma$ -oryzanol and its stability in pigmented rice. *J. Med. Food.* 19(7):710-5.
- Lowe, C. E., O'Rahilly, S., & Rochford, J. J. (2011). Adipogenesis at a glance. *J Cell Sci.*, 124(16), 2681-2686.
- Lee, J. E., Schmidt, H., Lai, B., & Ge, K. (2019). Transcriptional and epigenomic regulation of adipogenesis. *Mol Cell Biol.*, 39(11), e00601-18.
- Wongwaiwech, D., Weerawatanakorn, M., Tharatha, S., & Ho, C. T. (2019). Comparative study on amount of nutraceuticals in by-products from solvent and cold pressing methods of rice bran oil processing. *J FOOD DRUG ANAL.*, 27(1), 71-82.
- Ho, J. N., Son, M. E., Lim, W. C., Lim, S. T., & Cho, H. Y. (2013). Germinated brown rice extract inhibits adipogenesis through the down-regulation of adipogenic genes in 3T3-L1 adipocytes. *Plant Foods Hum Nutr.*, 68(3), 274-278.

# การปรับปรุงการทำงานของพนักงานโดยใช้แบบประเมินทักษะความชำนาญ กรณีศึกษา บริษัทผลิตหน้าปัดนาฬิกาตัวอย่าง

## The Improvement of Workers' Skills by Using the Skill Matrix tool: A Case Study of Watch Dial Production Company

ณรงค์เดช ทรัพย์ประเทือง<sup>1</sup>, สิทธิชัย แซ่เหล่ม<sup>1</sup>, วันชัย ลีลากวีวงศ์<sup>1</sup> และ ภูวิศา เพ็ชรช่วย<sup>2</sup>

Narongdet Sapprathueang<sup>1</sup>, Sitichai Saelem<sup>1</sup>, Wanchai Leelakawewong<sup>1</sup> and Phuvisa Phetchuay<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาระดับทักษะความชำนาญในการปฏิบัติงานของพนักงาน และ 2) เพื่อปรับปรุงพัฒนาทักษะการทำงานของพนักงานให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ด้วยวิธีสำรวจการปฏิบัติงานจริงของโรงงานตัวอย่าง โดยเก็บข้อมูลจากพนักงานในแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ ประมวลผล และสังเคราะห์มาเป็นองค์ความรู้ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 คือ เพื่อศึกษาระดับทักษะความชำนาญในการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยใช้แบบประเมินทักษะความชำนาญ (Skill Matrix) เป็นเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพของพนักงาน และใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลระยะสั้น (Attribute gage R&R) มาช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของพนักงานเป็นรายบุคคล ซึ่งสามารถระบุทักษะการทำงานของพนักงานที่บกพร่องได้ทั้งหมด เมื่อทราบถึงทักษะที่บกพร่องแล้วนำข้อมูลนั้นมาทำการจัดฝึกอบรมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละบุคคลต่อไป

ผลการวิจัยเพื่อตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 คือ เพื่อปรับปรุงพัฒนาทักษะของพนักงานให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนด โดยจัดทำคู่มือมาตรฐานในการปฏิบัติงานเพื่อใช้ในการฝึกอบรม แล้วนำผลจากการใช้แบบประเมินทักษะความชำนาญ (Skill Matrix) และผลจากการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลระยะสั้น (Attribute gage R&R) มาช่วยในการกำหนดหัวข้อในการฝึกอบรมให้กับพนักงานแต่ละบุคคล ซึ่งในสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจอุตสาหกรรมที่เข้มข้น ธุรกิจจะสามารถแข่งขันและเติบโตได้ก็ด้วยปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ธุรกิจประสบผลสำเร็จคือการควบคุมกระบวนการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพตรงตามที่คู่ค้ากำหนด

**คำสำคัญ** : การปรับปรุงการทำงานของพนักงาน, แบบประเมินทักษะความชำนาญ, บริษัทผลิตหน้าปัดนาฬิกา

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

<sup>2</sup>บริษัท จิวเวลรี่ อาร์ทิเลียร์ โอะเรเฟซ (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร 10260 ประเทศไทย

Jewelry Atelier Orefice (Thailand) Co.,Ltd, Bangkok 10260, Thailand.



## Abstract

The purpose of this research was 1) to study the level of skill and expertise in the operation of employees and 2) to improve the work skills of employees to be effective in accordance with the standards. The research was conducted by surveying the actual operation of the sample factory by collecting data from employees in the QC final department. The data was analyzed and synthesized to be the knowledge for answering the objective number 1, which was to study the level of skill and expertise in the operation of employees by using the Skill Matrix as a tool to measure employee performance and use the Attribute Gage R&R analysis to analyze the performance of each individual employee. Which can identify the skills of all that are defective Once the knowledge of the deficiencies is established, the information will be brought to conduct further training suitable for each individual.

The research results for answering the objective number 2 by creating work instructions to train the employees for them to perform in the manufacturing processes. Then use the results from the Skill Matrix and the results of the Attribute Gage R&R to help in setting up the training topics for each individual employee. In the intense industrial business competition situation, a business can compete and grow with the key factors that make a business successful. They are the process control and quality inspection to meet the standards in and to get products with quality that is specified by the partner.

**Keywords:** Improvement of Workers' Skills, Skill Matrix tool, Watch Production Company

## บทนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันนาฬิกายังเป็นเครื่องมือในการบอกเวลาในชีวิตประจำวัน นาฬิกานั้นเกิดมาจากการทำงานของชิ้นส่วนกลไก ฟันเฟืองและจานจักรต่าง ๆ ที่ถูกนำมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์หรือประดิษฐ์กรรมขั้นสูง นอกจากนี้ตัวเรือนและรูปแบบของนาฬิกาที่ทุกคนชื่นชอบและสะสมอยู่นั้น ยังแสดงถึงรสนิยมของผู้ที่สวมใส่ได้เป็นอย่างดี แต่สิ่งที่ส่งผลให้นาฬิกาแต่ละเรือนมีราคาที่แตกต่างกัน นอกจากรูปลักษณะการออกแบบภายนอกแล้ว ยังเป็นเพราะวัสดุที่นำมาใช้ในการประดิษฐ์นาฬิกามีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติที่ต่างกันไป เช่น ตัวเรือนจะประกอบด้วยวัสดุและกรรมวิธีการผลิตที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน ส่งผลให้เจ้าของผลิตภัณฑ์ในธุรกิจนี้จึงมีไม่มากนักในโลก (Taylor, Cornelius and Colvin, 2014) อุตสาหกรรมการผลิตหน้าปัดนาฬิกาจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากต้องอาศัยทักษะของช่างฝีมือเฉพาะด้าน และกระบวนการส่วนใหญ่ของนาฬิกาต้องทำแบบขึ้นต่อชิ้น มีความซับซ้อน ละเอียดอ่อน และเครื่องมือที่ใช้ในการประกอบมีลักษณะเฉพาะ ด้วยเหตุผลนี้ประเทศไทยจึงเป็นฐานผลิตหลักของวงการผลิตหน้าปัดนาฬิกาโลก และมีความเชี่ยวชาญในการผลิตให้เป็นเครื่องประดับที่มีความวิจิตรและมีเอกลักษณ์ สร้างคุณค่าให้กับนาฬิกาให้มีราคาขายที่สูงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตชิ้นส่วนประกอบให้กับนาฬิกาข้อมือแบรนด์ชั้นนำต่าง ๆ อย่างไรก็ตามราคาที่เสนอขายก็เป็นข้อจำกัดในด้านของผู้ซื้อ เพราะคุณภาพนั้นต้องดีจริงและเน้นที่ความสวยงามของรูปแบบบนหน้าปัดนาฬิกา เพื่อกระตุ้นความต้องการของผู้ซื้อให้ยอมจ่ายเงินจำนวนมากได้ (ศิริพร, 2554)

ลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมนาฬิกาและชิ้นส่วนคือการใช้แรงงานเป็นหลัก โดยเฉพาะในส่วนของ การผลิตชิ้นส่วน ซึ่งในอดีตผู้ผลิตนาฬิกาชั้นนำของโลกได้ย้ายฐานการผลิตเข้ามาลงทุนในประเทศไทย เนื่องจากนโยบาย ส่งเสริมการลงทุนของภาครัฐและมีปัจจัยที่สำคัญคือ ต้นทุนค่าแรงที่ต่ำกว่าประเทศอื่น ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่เป็นการ ร่วมลงทุนระหว่างบริษัทที่มีฐานการผลิตในประเทศไทยกับบริษัทต้นสังกัดในต่างประเทศที่ผลิตนาฬิกาสำเร็จรูป และ ส่งจำหน่ายภายใต้เครื่องหมายการค้าของบริษัทต้นสังกัด เป็นผลทำให้ประเทศไทยได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการ ผลิตบางส่วนมาด้วย ประกอบกับแรงงานไทยที่มีทักษะความชำนาญ รวมทั้งมีโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถรองรับ อุตสาหกรรมการผลิตแบบครบวงจร ซึ่งจากการสำรวจของ Thai Trade Center ในปี 2560 พบว่าธุรกิจอุตสาหกรรม ส่งออกส่วนประกอบนาฬิกามีมูลค่ามากกว่า 4.0 พันล้านเหรียญสหรัฐ และในแต่ละปีมีการเติบโตถึงปีละ 7-8 % จาก การที่เจ้าของผลิตภัณฑ์แต่ละรายต่างส่งนาฬิกาซื้อในรูปแบบใหม่ ๆ ของบริษัทตนเองออกมา เพื่อกระตุ้นยอดขาย อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การส่งเสริมและสนับสนุนของทางภาครัฐก็มีส่วนทำให้สามารถพัฒนาไปในทิศทางที่เหมาะสมและ สามารถรักษาฐานการผลิตอุตสาหกรรมนาฬิกาและชิ้นส่วนไว้ในประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่อง

ถึงแม้ประเทศไทยจะมีศักยภาพในการเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาเหนือคู่แข่งในภูมิภาคอาเซียนและเป็น ศูนย์กลางวัตถุดิบและชิ้นส่วนของการผลิต แต่ปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจของลูกค้าที่ฐานการผลิตอยู่ในประเทศ ไทย โดยไม่ย้ายไปประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ปัญหาเรื่องลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาที่รัฐบาลของประเทศใน ภูมิภาคอาเซียนด้วยกันยังไม่สามารถหามาตรการป้องกันได้ ปัญหาความขัดแย้งทางด้านเชื้อชาติซึ่งส่งผลให้การ บริหารงานเกิดความไม่คล่องตัว รวมถึงยังไม่มีมาตรฐานภูมิภาคที่ครบครันและเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สามารถรองรับ อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าประเทศไทย แต่การแข่งขันใน อุตสาหกรรมมีแนวโน้มสูงขึ้น องค์กรธุรกิจเจ้าของผลิตภัณฑ์จึงต้องเร่งพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้นาฬิกา ที่มีคุณภาพมากขึ้น ด้วยการใช้เทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งถือเป็นการสร้างความเชื่อมั่นและความ น่าเชื่อถือให้กับบริษัท ซึ่งการจะทำให้สำเร็จได้ตามเป้าหมายของการดำเนินกิจกรรมนี้ต้องใช้ทรัพยากรบุคคล (Mahapatro, 2010) ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญและมีความเกี่ยวข้องในทุกงาน เพราะทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงาน ทั้งหมด ถึงแม้ว่าจะมีการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่ทันสมัยมาใช้บ้างก็ตาม แต่ในการดำเนินการให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุดได้นั้น (Wheelen & Hunger, 2008) บุคลากรที่เป็นผู้ควบคุมดูแลกิจกรรมต้องมีการจัดสรรการใช้ ทรัพยากรให้มีความเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ทุกแห่งจึงต้องหาวิธีการในการพัฒนาทักษะการทำงานและสร้างแรงจูงใจ ให้แก่พนักงานให้มีทัศนคติที่ดี รวมทั้งมีการทำงานเป็นไปในทิศทางที่คาดหวัง มีความภักดี จึงทำให้การดำเนินธุรกิจ ประสบผลสำเร็จได้ (ตรีเนตร, 2560)

สำหรับกรณีศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ของชิ้นงานสำเร็จรูป (Finish Goods) ก่อนทำการส่งมอบให้ลูกค้า เพราะหากมีของเสียหลุดจากบริษัทออกไปเกินจำนวนที่ลูกค้ายอมรับได้ ลูกค้าก็จะทำการปฏิเสธชิ้นงานทั้งหมดแล้วส่งคืนกลับมา ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการตรวจสอบ คุณภาพอีกครั้ง แบบ 100 เปอร์เซนต์ (กิตติศักดิ์, 2551) เพื่อหาชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพมาทำการแก้ไข หรือหากทำการ แก้ไขไม่ได้ต้องทำการกำจัดทิ้ง ซึ่งถือเป็นการทำงานซ้ำซ้อนที่เปลืองเวลา รวมถึงมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสูงมากจากการ ตรวจสอบและแก้ไขชิ้นงานซ้ำ (Rework) และเมื่อทำการศึกษาระบบการพบว่า ต้นตอของปัญหาที่ทำให้ของเสีย หลุดไป เกิดจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายที่ส่งผลให้มีข้อร้องเรียนจากลูกค้าในเรื่อง ขนาดและสีของ ชิ้นงานไม่ตรงตามแบบมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด และลักษณะภายนอก เช่น หน้าปัดเป็นรอยหรือมีตำหนิเกิดขึ้น และ การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

ความเรียบของพื้นผิวที่ไม่ตรงตามต้องการ เป็นต้น ดังนั้นการเกิดข้อผิดพลาดในแผนกนี้จึงส่งผลให้ได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้า

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผนกกรณีศึกษาไม่มีมาตรฐานในการตรวจสอบลักษณะภายนอกของชิ้นงานสำเร็จรูป (Finish Goods) (Camuffo, Arnaldo, Gerli and Gubitta, 2012) พนักงานแต่ละคนใช้ความรู้สึกในการตัดสินใจว่าชิ้นงานนี้ผ่านหรือไม่ผ่าน ทำให้เกิดความไม่แน่นอนและมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น รวมทั้งมีของเสียหลุดออกไปถึงลูกค้าเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ ด้วยการสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพด้านลักษณะภายนอกให้มีความชัดเจน โดยการศึกษาครั้งนี้ต้องการสร้างองค์ความรู้ ซึ่งเป็นแนวทางการวิเคราะห์ปัญหาแล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นสามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า อีกทั้งยังสามารถลดข้อร้องเรียนด้านคุณภาพของลูกค้าได้อีกด้วย (Anderson & Witvliet, 2008) ซึ่งจากที่กล่าวมาแล้วถึงความสำคัญ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาเรื่อง “การปรับปรุงการทำงานของพนักงานโดยใช้แบบประเมินทักษะความชำนาญกรณีศึกษาบริษัทผลิตหน้าปัดนาฬิกาตัวอย่าง” เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่และจะนำผลของการวิจัยไปใช้ในการปรับปรุงทักษะของพนักงานให้มีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง เหมาะสมกับงานที่ทำและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมทั้งจะมีการจัดทำคู่มือแนวทางการปฏิบัติงาน และจัดการฝึกอบรมให้แก่พนักงานในแผนกที่ควรจะมีทักษะใดบ้างในการปฏิบัติงาน เพื่อให้ได้ผลงานที่ถูกต้อง เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดขึ้นในอนาคตต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับทักษะความชำนาญในการปฏิบัติงานของพนักงาน
2. เพื่อปรับปรุงพัฒนาทักษะของพนักงานให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนด

## อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยในครั้งนี้ได้นำแบบประเมินทักษะความชำนาญของพนักงานมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินระดับทักษะการทำงานของพนักงาน (Meyere, 2016) และใช้แนวคิดในการปฏิบัติอบรมในงานเพื่อเพิ่มระดับทักษะการทำงานของพนักงาน (BSI, 2563) โดยมุ่งเน้นไปที่พนักงานในแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ทั้งหมด ซึ่งมีจำนวน 7 คน โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการค้นหาและระบุปัญหา 2) ขั้นตอนการประเมินผล 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการประเมิน 4) ขั้นตอนการดำเนินการแก้ไขปัญหา 5) ขั้นตอนการป้องกันปัญหาเกิดซ้ำ และ 6) สรุปผลการทำวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ผลการทำวิจัย จะเริ่มจากการศึกษากระบวนการและค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและระบุปัญหาที่มีความสำคัญ แล้วทำการเลือกปัญหาในการดำเนินการแก้ไขปัญหา ซึ่งแบ่งการทำงานเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการวัด 2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ 3) ขั้นตอนการปรับปรุง และ 4) ขั้นตอนการควบคุม (ณัฐพันธุ์, 2545) ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่ตรวจสอบแล้วมาประมวล วิเคราะห์ และสังเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ การเรียงเรียงข้อมูล

และการนำเสนอข้อมูล จัดระเบียบข้อค้นพบ สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำผลวิจัยไปใช้ต่อไป

## ผลและวิจารณ์

การวิจัยจากแผนกกรณีศึกษาในครั้งนี้ ได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการควบคุม คุณภาพและลดข้อร้องเรียน จากลูกค้า โดยมุ่งเน้นไปที่ปัญหาคุณภาพด้านลักษณะภายนอก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและความพึงพอใจของลูกค้า ทำให้มีข้อร้องเรียนของลูกค้ามายังโรงงานกรณีศึกษาเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำเพิ่มขึ้น และยังแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของพนักงานที่แผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ลดลง โดยมีสรุปผลการสำรวจสภาพปัจจุบันของกระบวนการตรวจสอบ ผลการประเมินความสามารถของพนักงานเมื่อเทียบกับมาตรฐาน (ก่อนปรับปรุง) กรณี ผ่านหรือไม่ผ่าน (OK/NG) ซึ่งในการประเมินความสามารถของพนักงานเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ด้วยระบบการวัดแบบข้อมูลนับแบบระยะสั้น (Attribute gage R & R) ดัชนีและเกณฑ์การตัดสินใจที่ใช้ในการประเมินผลจาก Automotive Industry Action Group (AIAG) แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG

ดัชนี	$O_E$	$I_{MISS}$	$I_{FA}$
ยอมรับ	> 90 %	< 2 %	< 5 %
ยอมรับแบบมีเงื่อนไข (ควรปรับปรุง)	> 80 %	< 5 %	< 10 %
ไม่สามารถยอมรับได้ (จะต้องได้รับการปรับปรุง)	< 80 %	> 5 %	> 10 %

สูตรในการคำนวณดัชนีการประเมินผลความสามารถของพนักงานเมื่อเทียบกับมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (Operator effectiveness index :  $O_E$ )

$$\text{Operator effectiveness index} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้ถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}}$$

2. ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index :  $I_{FA}$ )

$$\text{False alarm index} = \frac{\text{จำนวนที่ปฏิเสธผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด}}$$

3. ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of Miss :  $I_{MISS}$ )

$$\text{Index of Miss} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่ยอมรับผิดพลาด}}$$

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความสามารถของพนักงานเมื่อเทียบกับมาตรฐาน (ก่อนปรับปรุง)

ลำดับ	ชื่อพนักงาน	กรณี ผ่านหรือไม่ผ่าน (OK/NG)			กรณี ลักษณะบกพร่อง		
		O <sub>E</sub>	I <sub>MISS</sub>	I <sub>FA</sub>	O <sub>E</sub>	I <sub>MISS</sub>	I <sub>FA</sub>
1	A	86.33 %	3.33 %	6.67 %	86.33 %	3.33 %	6.67 %
2	B	86.33 %	3.67 %	6.33 %	86.33 %	3.67 %	6.33 %
3	C	86.67 %	3.33 %	6.67 %	86.67 %	6.33%	6.67 %
4	D	83.33 %	3.67 %	6.33 %	83.33%	3.67 %	6.33%
5	E	86.67 %	3.33 %	6.67 %	86.33 %	6.33%	6.67 %
6	F	86.67 %	3.33 %	6.33 %	86.33 %	3.67%	6.33 %
7	G	83.33 %	3.67 %	6.67 %	83.33%	3.33 %	6.67 %

จากตารางที่ 2 กรณี ผ่านหรือไม่ผ่าน (OK/NG) พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประเมินความสามารถของพนักงานแต่ละคน กับเกณฑ์การตัดสินใจในตารางที่ 1 พบว่าไม่มีพนักงานที่ดัชนีทั้ง 3 ตัวผ่านเกณฑ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพนักงานยังขาดทักษะและไม่เข้าใจระดับการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธลักษณะบกพร่อง

จากตารางที่ 2 กรณี ลักษณะบกพร่อง พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประเมินความสามารถของพนักงานแต่ละคน กับเกณฑ์การตัดสินใจพบว่าไม่มีพนักงานที่ดัชนีทั้ง 3 ตัวผ่านเกณฑ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพนักงานยังขาดทักษะและไม่เข้าใจระดับการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธลักษณะบกพร่อง ซึ่งจากการสำรวจเอกสารมาตรฐาน อากาศงานเสียของชิ้นงานสำเร็จรูปของแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) พบว่าโรงงานกรณีศึกษาไม่มีเอกสารมาตรฐานอากาศงานเสียของชิ้นงานสำเร็จรูป มีเพียงเอกสารอากาศเสียที่ลูกค้าร้องเรียนมาและไม่มีการรวบรวมเอกสารดังกล่าว เพื่อให้พนักงานได้ใช้ประกอบการตัดสินใจในการตรวจสอบชิ้นงาน รวมทั้งจากการสำรวจเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน จากมาตรฐานอากาศงานเสียของแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) พบว่า มีข้อบกพร่องของเอกสารจากการที่ไม่ได้มีการปรับปรุงเป็นเวลานาน เอกสารระบุขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพไม่ชัดเจน และรูปภาพประกอบขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพไม่ครบ

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความสามารถของพนักงานเมื่อเทียบกับมาตรฐาน (หลังการปรับปรุง)

ลำดับ	ชื่อพนักงาน	กรณี ผ่านหรือไม่ผ่าน (OK/NG)			กรณี ลักษณะบกพร่อง		
		O <sub>E</sub>	I <sub>MISS</sub>	I <sub>FA</sub>	O <sub>E</sub>	I <sub>MISS</sub>	I <sub>FA</sub>
1	A	97.67 %	3.33 %	3.33 %	93.33 %	0 %	3.33 %
2	B	93.33 %	0 %	3.33 %	93.33 %	3.33 %	3.33 %
3	C	97.67 %	3.33 %	3.33 %	97.67 %	0 %	3.33 %
4	D	93.33 %	0 %	3.33 %	93.33 %	0 %	3.33 %
5	E	97.67 %	3.33 %	6.67 %	93.33 %	3.33 %	3.33 %
6	F	93.33 %	3.33 %	3.33 %	93.33 %	0 %	3.33 %
7	G	97.67 %	3.33 %	3.33 %	93.33 %	3.33 %	3.33 %

จากตารางที่ 3 กรณี ผ่านหรือไม่ผ่าน (OK/NG) สรุปผลการดำเนินการหลังปรับปรุงได้ว่ามีพนักงานเพียง 2 คน คือ B และ D ที่ดัชนีทั้ง 3 ตัวผ่านเกณฑ์และเมื่อดูในภาพรวมของพนักงานแต่ละคนแล้ว พบว่าทุกคนมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้าใจระดับการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานที่เป็นอาการเสียมากขึ้น

จากตารางที่ 3 กรณี ลักษณะบกพร่อง จะเห็นได้ว่ามีพนักงานเพียง 4 คน ได้แก่ A C D และ F ที่ดัชนีทั้ง 3 ตัวผ่านเกณฑ์ และเมื่อดูในภาพรวมของพนักงานแต่ละคนแล้ว พบว่าทุกคนมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้าใจระดับการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานที่เป็นอาการเสียมากขึ้น ถึงแม้พนักงานอีก 3 คน จะผ่านดัชนีแค่ 2 เกณฑ์ แต่เมื่อดูภาพรวมของแต่ละคนแล้ว พบว่าทุกคนมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกแยะลักษณะบกพร่องได้ดีขึ้น

## บทสรุป

สรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาระดับทักษะความชำนาญในการปฏิบัติงานของพนักงาน ในการศึกษาระดับทักษะความชำนาญในการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยใช้เครื่องมือแบบประเมินทักษะความชำนาญ (Skill Matrix) ซึ่งเป็นแบบฟอร์มที่ได้รับการออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับทักษะความชำนาญของพนักงาน โดยนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพและลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยมุ่งเน้นไปที่ปัญหาคุณภาพด้านลักษณะภายนอก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งมีข้อร้องเรียนของลูกค้ามายังโรงงานกรณีศึกษาในด้านนี้เป็นจำนวนมาก

นอกจากนั้นผู้วิจัยใช้วิธีการประเมินความสามารถของพนักงานเทียบกับมาตรฐานความสามารถของพนักงาน โดยใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลนั้ระยะสั้น (Attribute gage R&R) ซึ่งเป็นดัชนีและเกณฑ์การตัดสินใจ ซึ่งดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน จะเท่ากับจำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้ถูกต้อง หาดด้วยโอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ และดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด เท่ากับจำนวนที่ปฏิเสธผิดพลาด หาดด้วยโอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด รวมทั้งดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด เท่ากับจำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด หาดด้วยโอกาสทั้งหมดที่ยอมรับผิดพลาด โดยนำปัจจัยทั้งหมดมารวมคิดเพื่อค้นหาสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด โดยใช้หลักการทำไม-ทำไม (Why-why Analysis) เพื่อทำการวิเคราะห์หอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของพนักงานเป็นรายบุคคลทั้งหมด โดยสามารถระบุทักษะการทำงานของพนักงานที่บกพร่องเป็นรายบุคคลได้ทั้งหมด จากนั้นจึงจัดการฝึกอบรมที่เหมาะสมสำหรับบุคคลแต่ละคนได้

สรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อปรับปรุงพัฒนาทักษะของพนักงานให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยใช้แนวทางในการดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหาการร้องเรียนของลูกค้า ด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพของแผนกการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) เพื่อให้ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบมีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการพัฒนาการทำงานของพนักงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ให้มีทักษะความชำนาญในการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จรูป (Finish Goods) ให้ถูกต้องทั้งหมด หลังจากทำการวิเคราะห์ปัญหาของพนักงานที่ไม่ผ่านการทดสอบแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาดำเนินการพัฒนาการทำงานของพนักงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (QC Final) ให้มีทักษะความชำนาญในการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จรูป (Finish Goods) ให้ถูกต้องทั้งหมด ประกอบด้วย

1. จัดทำเอกสารมาตรฐานอากรงานเสียสำหรับให้พนักงานใช้เพื่อตัดสินใจในการตรวจสอบ โดยมีขั้นตอนในการจัดทำ ได้แก่ 1) ให้หัวหน้าแผนกทำการคัดเลือกชิ้นงานเสียตามอากรต่าง ๆ มา 2) ถ่ายรูปอากรเสียของชิ้นงานแต่ละชิ้นด้วยกล้อง และ 3) ทำการวงจุดที่เกิดอากรเสียพร้อมทั้งใส่คำอธิบายลักษณะอากรเสีย สาเหตุระดับการคัดแยกงานเสีย ในเอกสารมาตรฐานอากรงานเสีย

2. ปรับปรุงเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน หลังจากทำการสำรวจเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน ซึ่งจะมีการระบุขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพที่ชัดเจนและมีรูปภาพประกอบขั้นตอน โดยเพิ่มเนื้อหาข้อควรปฏิบัติก่อนเริ่มงาน ข้อควรระวังในการตรวจสอบเพื่อป้องกันไม่ให้งานเสียระหว่างการตรวจสอบ และระบุขั้นตอนในการตรวจสอบชิ้นงาน พร้อมรูปภาพประกอบในแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน

3. อบรมพนักงานทุกคนในแผนกเกี่ยวกับมาตรฐานอากรงานเสียของชิ้นงานสำเร็จ ด้วยการฝึกอบรมโดยหัวหน้างานแบบตัวต่อตัว เพื่อให้พนักงานได้รับความรู้อย่างเต็มที่ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานสำเร็จตามเอกสารฉบับปรับปรุงใหม่ อธิบายเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานถึงข้อควรปฏิบัติก่อนเริ่มงาน ขั้นตอนในการตรวจสอบ และข้อควรระวังในการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อไม่ให้งานเสีย มีการสาธิตวิธีการตรวจสอบตามเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งอธิบายเทคนิคในการตรวจสอบเพื่อให้มองเห็นรอยตำหนิบนชิ้นงานได้ชัดเจน ทบทวนความเข้าใจของพนักงานโดยให้พนักงานทดลองทำการตรวจสอบและอธิบายขั้นตอนตามที่ได้อบรมไป สุดท้ายเปิดโอกาสให้พนักงานได้ซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

## เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). หลักการควบคุมคุณภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น.
- ณัฐพรพันธ์ เขจรนนท์. (2545). คู่มือปฏิบัติ Six Sigma เพื่อความเป็นเลิศในองค์กร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: เอ็กซ์เปอร์เน็ท
- ตรีเนตร ตันตระกูล. (2560). การพัฒนาทรัพยากรบุคคลในสำนักงานเขตประเวศ กรุงเทพมหานคร. วารสารวิชาการสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ, 1-14.
- ศิริพร ขอพอกกลาง. (2544). การควบคุมคุณภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สกายบุ๊กส์.
- Anderson, N. and Witvliet, C. (2008). Fairness Reactions to Personnel Selection Methods: An international comparison between the Netherlands, the United States, France, Spain, Portugal, and Singapore. *International Journal of Selection and Assessment*, 16, 1-13.
- Annelies De Meyere. (2016). The Four Levels of the Skill Matrix. สืบค้น 29 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://co-learning.be/blog/the-four-levels-of-the-skill-matrix/13042016>.
- BSI. (2563). ISO 9001: ระเบียบปฏิบัติการอบรมในงาน (OJT). สืบค้น 25 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://www.isotoyou.com/index.php/article/272-ojt.html>
- Camuffo, Arnaldo, Fabrizio Gerli and Paolo Gubitta. (2012). Competencies Matter: Modeling Effective Entrepreneurship in Northeast of Italy Small Firms. *Cross Cultural Management: An International Journal*, 19(1), 48-66.
- Colette M. Taylor, Casey J. Cornelius and Kate Colvin. (2014). Visionary leadership and its relationship to organizational effectiveness. *Leadership & Organization Development Journal*, 35(6), 566 – 583.
- Mahapatro B. (2010). *Human Resource Management*. New Age: New Delhi.
- Wheelen, T. L., & Hunger, J. D. (2008). *Strategic management and business policy* (11<sup>th</sup> ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.



# ผลของสตาร์ชดัดแปร โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ต่อสมบัติทางกระแส วิทยาของแป้งข้าว

## Effects of Modified Starch, Soy Protein Isolate and Riceberry Bran on the Rheological Properties of Rice Flour

อิศราภรณ์ สันทองธนพัฒน์

### บทคัดย่อ

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักในขั้นการแปรรูปปฐมภูมิ ยังไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงจะต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งอาจมีการเติมสตาร์ชดัดแปร โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลทางกระแสวิทยาของแป้งข้าวเมื่อผสมสตาร์ชดัดแปร โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Rapid Visco Analyzer ผลการวิจัย พบว่า การใช้แป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร (RF+MS) มีค่าความหนืดสุดท้ายและค่าSetback ต่ำกว่าแป้งข้าวเพียงอย่างเดียว (RF) เมื่อเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระบบที่มีแป้งข้าวและสตาร์ชดัดแปร (RF+MS+RB) ทำให้มีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายลดลง แต่เมื่อเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น (RF+MS+SPI) ทำให้ค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown สูงขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร (RF+MS) และเมื่อเติมทั้งรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นกับสตาร์ชดัดแปรและแป้งข้าว (RF+MS+RB+SPI) ทำให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่า breakdown ค่าความหนืดสุดท้าย ค่า Setback และค่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร (RF+MS)

**คำสำคัญ :** แป้งข้าว, โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น, รำข้าวไรซ์เบอร์รี่, สตาร์ชดัดแปร

### Abstract

Rice flour is a product made from broken rice that found in primary processing of milled rice. It cannot be consumed directly and must be processed into food products. The incorporation of modified starch, soy protein isolate and riceberry bran can be used to improve the quality of food products. The objective of this study was to study the effects of modified starch, soy protein isolate and riceberry bran on the rheological properties of rice flour. The samples were analyzed for pasting properties using Rapid Visco Analyzer. The results showed that rice flour mixed with modified starch (RF+MS) showed the low values of final viscosity and setback compared with rice flour. The addition of riceberry bran in rice flour and modified starch (RF+MS+RB) showed the lower peak viscosity and final viscosity than (RF+MS). However, the incorporation of soy protein

isolate (RF+MS+SPI) showed an increasing in peak viscosity and breakdown than (RF+MS). The application of both soy protein isolate and riceberry bran in rice flour and modified starch (RF+MS+RB+SPI) showed no significantly different in the peak viscosity, breakdown, final viscosity, breakdown and pasting temperature compared with (RF+MS).

**Keyword :** Rice Flour, Soy Protein Isolate, Riceberry Bran, Modified Starch

## บทนำ

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักในขั้นการแปรรูปปฐมภูมิ ยังไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง จะต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหารและไม่ใช่อาหารต่อไป โดยการนำข้าวหักมาทำความสะอาดด้วยชุดเครื่องทำสะอาด ได้แก่ การผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก เครื่องแยกหิน เพื่อขจัดผิวข้าวหักให้สะอาด นำไปไม่เป็นแป้ง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) มีความชื้นร้อยละ 9.06 โปรตีนร้อยละ 4.01 เถ้าร้อยละ 0.25 ไขมันร้อยละ 0.23 เส้นใยหยาบร้อยละ 0.15 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 86.3 (พนอจิต ธีบุญมคงพงศ, 2531) แต่แป้งข้าวจะไม่ละลายในน้ำเย็น เมื่อผสมแป้งกับน้ำเย็น แป้งจะกระจายทั่วไปในน้ำหากทิ้งไว้จะนอนกัน หากได้รับความร้อนแป้งที่กระจายอยู่ในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เพราะเม็ดสตาร์ชจะพองขึ้น และเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นครึ่งแข็งครึ่งเหลว และเหนียว ใสขึ้น หรือเกิดการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) แป้งข้าวมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน 61-78°C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) และเมื่อสารละลายของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันเย็นตัวลง โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนโดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสจะมาเกาะตัวรวมกันตกตะกอนหรือเกิดเป็นเจลเรียกกระบวนการนี้ว่า การคืนตัวของสตาร์ช (Retrogradation) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) แป้งข้าวเจ้าสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้น (Hui, 2006) เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว พาสต้าปลอดกลูเตน ซึ่งสมบัติด้านความเหนียวเป็นสมบัติทางกระแสวิทยาที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าว มีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเหนียว Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยจำลองอุณหภูมิและเวลาการทำให้น้ำแป้งร้อนและเย็น เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของแป้งระหว่างการหุงต้ม ซึ่งสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดพฤติกรรมอย่างหนึ่งเรียกว่า พฤติกรรมความเหนียว โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติด้านความเหนียวของแป้ง คือ องค์ประกอบภายในของสตาร์ช ความเข้มข้นของน้ำแป้ง และปริมาณการแตกตัวของเม็ดสตาร์ช ปณิดา และคณะ (2556) ได้ศึกษาแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์ พบว่า มีค่าความเหนียวสูงสุด ค่า breakdown และค่าความเหนียวสุดท้ายสูงกว่าแป้งผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวปกติและเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมชั้นส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น และมีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าขนมชั้นที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าปกติเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ Marshall และ Wadsworth (1994) ได้ศึกษาแป้งข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนออกด้วยการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ หรือการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส พบว่า แป้งข้าวปกติมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 78 °C สูงกว่าแป้งข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนออกซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันในช่วง 70 °C แสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีนมีผลต่อการพองตัวของสตาร์ชในแป้งข้าว

รำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีลักษณะเด่น คือ มีสีม่วงเข้มเกิดขึ้นตามธรรมชาติเนื่องจากมี "สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)" ซึ่งก็คือรงควัตถุหรือสารสี สามารถละลายน้ำได้ดี และจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์

(flavonoid) และประกอบไปด้วยแหล่งสารอาหารสำคัญมากมาย เนื่องจากในกระบวนการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกและขัดสีบางส่วน จึงมีผลพลอยได้ คือ รำข้าว ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารสูง (Thiranusornkij et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีใยอาหารสูง 9.59 mg/100g เมื่อเทียบกับข้าวเจ้าขัดขาวทั่วไป (Sirichokworrakit et al., 2015) ที่สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น บะหมี่ แต่รำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนต่ำจึงมีการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นเพิ่มเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหารปลอดกลูเตน เช่น บะหมี่ทอดจากแป้งข้าวที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบเพื่อให้มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น (Liu, 1997) ขนมอบัง (Thiranusornkij et al., 2019) ซาลาเปา (ชญาณี บุญทัน และคณะ, 2558) เป็นต้น เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อเกิดเป็นเจลจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide Bond) เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง ดังนั้นการศึกษาผลของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นและรำข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อผสมกับแป้งข้าว โดยตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าว จะทำให้ทราบผลของส่วนผสมอาหารต่อความหนืดของแป้งข้าวและเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของสตาร์ชดัดแปร โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น และ รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของแป้งข้าว

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990) ของแป้งข้าว ทรายวอนชม จาก บริษัท วราวุธอุตสาหกรรม จำกัด รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ จาก บริษัท อาร์ ที ฟู้ดส์ จำกัด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น จาก บริษัท Shandong Sinoglory Health Food จำกัด
2. ตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 12 และสตาร์ชดัดแปรที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA, Newport Scientific, Australia)
3. ตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวผสมกับสตาร์ชดัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยเตรียมตัวอย่างแป้งทุกสูตรให้มีความเข้มข้นร้อยละ 12 ซึ่งมีทั้งหมด 5 สูตรได้แก่
  - สูตรที่ 1 แป้งข้าว
  - สูตรที่ 2 แป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร อัตราส่วน 90:10
  - สูตรที่ 3 แป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปรกับรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ อัตราส่วน 85:10:5
  - สูตรที่ 4 แป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปรกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น อัตราส่วน 90:10:5

- สูตรที่ 5 แป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปร, รำข้าวไรซ์เบอร์รี่และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น  
อัตราส่วน 85:10:5:5

ตั้งเครื่อง RVA โดยโปรไฟล์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คือ ใช้อุณหภูมิระหว่าง 50-95-50°C โดยใช้เวลาทั้งหมด 13 นาที โดยความเร็วในการกวน 10 วินาทีแรกเป็น 960 รอบ/นาที หลังจากนั้นลดเป็น 160 รอบ/นาที ตลอดการทดลอง การปรับอุณหภูมิเริ่มจากคงตัวไว้ที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิจาก 50°C เป็น 95°C เป็นเวลา 3 นาที 42 วินาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 2 นาที 30 วินาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงจาก 95°C เป็น 50°C โดยใช้เวลา 3 นาที 48 วินาที คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที และพารามิเตอร์ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak), อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature) ค่า setback ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และ ค่า Breakdown

## ผลและวิจารณ์

### 1. ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า

จากการตรวจสอบปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าของแป้งข้าว รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น (ตารางที่ 1) พบว่า แป้งข้าวมีความชื้นร้อยละ 10.46 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของแป้งข้าวที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (มอก, 2529) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 91.38 ซึ่งมาตรฐานของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นที่กำหนดไว้คือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 (มอก, 2533) ส่วนรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้ามากกว่าแป้งข้าว ซึ่งปริมาณโปรตีนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

### ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าของแป้งข้าว รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น

ตัวอย่าง	ปริมาณโปรตีน (%db)	ปริมาณเถ้า (%db)	ปริมาณความชื้น (%db)
แป้งข้าว	8.19 ± 0.12 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.15 <sup>c</sup>	10.46 ± 0.19 <sup>a</sup>
โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น	91.38 ± 1.36 <sup>a</sup>	4.85 ± 0.81 <sup>b</sup>	5.84 ± 0.17 <sup>b</sup>
รำข้าวไรซ์เบอร์รี่	14.93 ± 0.17 <sup>b</sup>	7.42 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.13 <sup>c</sup>

หมายเหตุ: <sup>a b c</sup> หมายถึง ตัวอักษรที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05)

## 2. พฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวและสตาร์ชตัดแปร

จากการตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 12 และสตาร์ชตัดแปรที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA) (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** ความหนืดของแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 12 และสตาร์ชตัดแปรที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	Peak (cP)	Breakdown (cP)	Final Viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting Temp (°C)
RF12%	6856 ± 377 <sup>a</sup>	1843 ± 159 <sup>a</sup>	8430 ± 26 <sup>a</sup>	1574 ± 403 <sup>a</sup>	77.55 ± 4.59 <sup>b</sup>
RF 8%	1013 ± 1 <sup>bB</sup>	68 ± 2 <sup>bB</sup>	1777 ± 16 <sup>bB</sup>	764 ± 14 <sup>bA</sup>	90.87 ± 0.67 <sup>aA</sup>
MS 8%	3744 ± 54 <sup>A</sup>	1544 ± 2 <sup>A</sup>	3142 ± 101 <sup>A</sup>	-602 ± 47 <sup>B</sup>	60.07 ± 0.03 <sup>bB</sup>

หมายเหตุ<sup>a, b, AB</sup> หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยใช้อักษรตัวพิมพ์เล็ก เพื่อเปรียบเทียบ RF 8 และ 12%, และใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ เพื่อเปรียบเทียบ RF 8% และ MS 8%, RF 12% คือ แป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 12, โดยที่ RF 8% คือ แป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8, MS 8% คือ สตาร์ชตัดแปรที่ความเข้มข้นร้อยละ 8

พารามิเตอร์ คือ ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ซึ่งบ่งบอกถึงการพองตัวสูงสุดของเม็ดสตาร์ช ค่า Breakdown คือค่าเกิดการพองตัวแล้วหลังเกิดเจลในเซชันที่สามารถทนแรงกวนได้ และ Setback คือค่าการคืนตัวซึ่งเป็นความหนืดที่เกี่ยวข้องกับการเกิดรีโทรเกรดชันของแป้ง จากผลการตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temp) มีค่ามากกว่าแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 แต่มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่าแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 เนื่องจากที่ความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้นความหนาแน่นของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างเม็ดสตาร์ชลดลง เม็ดสตาร์ชที่พองตัวและสตาร์ชโมเลกุลเล็กที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชจากการให้ความร้อนมีผลให้ความต้านทานต่อการไหลของแป้งสูงเพิ่มขึ้น (กลีฎุมิ ทวนคง, และคณะ, 2557) เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 พบว่า แป้งข้าวมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากกว่าสตาร์ชตัดแปร แต่มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่า เนื่องจากสตาร์ชตัดแปรเป็นสตาร์ชที่ถูกตัดแปรโครงสร้างเพื่อให้มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น มีอุณหภูมิการพองตัวที่ต่ำลง เพิ่มความหนืดมากขึ้น คงตัวต่อความร้อน และแรงเฉือน ตามกรรมวิธีผลิตสตาร์ชตัดแปร (จาวรรรณ บางแวง, 2545)

3. ผลของพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น

ตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าว (RF) แป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร (RF+MS) แป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RF+MS+RB) แป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น (RF+MS+SPI) แป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น (RF+MS+MS+SPI) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA) เนื่องจากความหนืดของแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ต่ำมาก และยากที่จะสังเกตเห็นค่าพารามิเตอร์ของRVA ได้ เช่น ค่าความหนืดสูงสุด และค่าการคืนตัว ผลของแป้งข้าวที่ผสมกับสตาร์ชตัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นมีพฤติกรรมความหนืดดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** พฤติกรรมทางด้านความหนืดของแป้งข้าวผสมกับสตาร์ชตัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น ทดสอบที่ความเข้มข้น 12%

ตัวอย่าง	Peak (cP)	Breakdown(cP)	Final Viscosity(cP)	Setback(cP)	Pasting Temp(°C)
RF	6856 ± 377 <sup>b</sup>	1843 ± 159 <sup>cd</sup>	8430 ± 26 <sup>a</sup>	1574 ± 4.3 <sup>a</sup>	73.42 ± 1.23 <sup>b</sup>
RF+MS	7351 ± 24 <sup>b</sup>	2143 ± 74 <sup>cb</sup>	7975 ± 14 <sup>bc</sup>	624 ± 25 <sup>bc</sup>	73.87 ± 0.53 <sup>b</sup>
RF+MS+RB	5722 ± 261 <sup>c</sup>	1518 ± 103 <sup>d</sup>	6940 ± 149 <sup>d</sup>	1218 ± 112 <sup>ab</sup>	76.27 ± 0.53 <sup>a</sup>
RF+MS+SPI	8041 ± 86 <sup>a</sup>	2742 ± 140 <sup>a</sup>	7817 ± 168 <sup>b</sup>	-244 ± 255 <sup>d</sup>	73.45 ± 0.07 <sup>b</sup>
RF+MS+RB+SPI	7363 ± 297 <sup>b</sup>	2400 ± 136 <sup>b</sup>	7778 ± 89 <sup>b</sup>	415 ± 207 <sup>c</sup>	73.07 ± 0.53 <sup>b</sup>

หมายเหตุ<sup>a,b,c</sup> หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05)

RF คือ แป้งข้าว, RF+MS คือ แป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปร อัตราส่วน 90:10, RF+MS+RB คือ แป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปรกับรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ อัตราส่วน 85:10:5, RF+MS+SPI คือ แป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปรกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น อัตราส่วน 90:10:5, RF+MS+RB+SPI คือ แป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปร, รำข้าวไรซ์เบอร์รี่และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น อัตราส่วน 85:10:5:5

จากผลการตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวผสมสตาร์ชตัดแปร (RF+MS) เมื่อเทียบกับพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าว (RF) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≥ 0.05) ในค่าความหนืดสูงสุด อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดและค่า breakdown แต่มีความแตกต่างในค่าความหนืดสุดท้ายและค่า Setback เนื่องจาก สตาร์ชตัดแปรถูกตัดแปรโครงสร้างให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวได้มากทำให้มีความหนืดสูง มีความ

คงทนต่ออุณหภูมิเมื่อผสมกับแป้งข้าวที่มีความคงทนต่ออุณหภูมิต่ำทำให้ความหนืดสุดท้ายลดลง ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายใช้บ่งบอกผลิตภัณฑ์สุดท้ายหรือเจลที่เกิดขึ้น หากความหนืดสุดท้ายสูงเจลที่ได้ก็จะมีความแข็งแรงมาก (Rutenberg & Solarek, 1984)

จากผลการตรวจสอบพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวที่ผสมกับสตาร์ชดัดแปร รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น พบว่า การเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่กับสตาร์ชดัดแปรและแป้งข้าว (RF+MS+RB) มีความความหนืดสูงสุด breakdown และความความหนืดสุดท้ายลดลง มีค่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่กับสตาร์ชดัดแปร (RF+MS) เนื่องจาก รำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณเส้นใยมากถึง 9.59 mg/100g (Srisamran, 2012) จึงขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โดยเส้นใยทำให้โมเลกุลของน้ำจับกับโมเลกุลของสตาร์ชได้ลดลง (สุจิตตา เรืองรัมย์ และคณะ, 2018) ส่วนการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นกับสตาร์ชดัดแปรและแป้งข้าว (RF+MS+SPI) พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดและค่า breakdown สูงขึ้น แต่มีค่า Setback ลดลง เมื่อเทียบกับการเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่กับสตาร์ชดัดแปร (RF+MS) เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นเป็นโปรตีนที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่สตาร์ชใช้ในการพองตัวระหว่างที่สตาร์ชเกิดเจลลิตีในซึ่ลดลง ส่งผลต่อการเกิดเจลลิตีในซึ่ของสตาร์ชไม่สมบูรณ์ หรือเกิดได้ช้าลงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มมากขึ้นด้วย และโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อเกิดเป็นเจลจะมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์เป็นโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง (Lin, 1997) ทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นกับสตาร์ชดัดแปรและแป้งข้าว (RF+MS+RB+SPI) พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด, ค่า breakdown, ค่าความหนืดสุดท้าย, ค่า Setback และค่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร(RF+MS) เนื่องจากการเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีเส้นใยจึงขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โดยเส้นใยทำให้โมเลกุลของน้ำจับกับโมเลกุลของสตาร์ชได้ลดลงและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นที่มีปริมาณโปรตีน 91.38% มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่สตาร์ชใช้ในการพองตัวระหว่างที่สตาร์ชเกิดเจลลิตีในซึ่ลดลง ส่งผลให้เกิดเจลลิตีในซึ่ได้ช้าลง ทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการปรุงอาหารที่มีสตาร์ชเป็นส่วนผสม

## สรุป

สมบัติทางกระแสวิทยาของแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร (RF+MS) มีความแตกต่างในค่าความหนืดสุดท้ายและค่า Setback ที่ลดลงเมื่อเทียบกับแป้งข้าว (RF) ส่วนการเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RF+MS+RB) มีความหนืดสูงสุดและความความหนืดสุดท้ายลดลงเมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร(RF+MS) เมื่อเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น (RF+MS+SPI) ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่า breakdown สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร(RF+MS) และเมื่อเติมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่รวมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้นกับสตาร์ชดัดแปรและแป้งข้าว (RF+MS+RB+SPI) พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด, ค่า breakdown, ค่าความหนืดสุดท้าย, ค่า Setback และค่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับแป้งข้าวผสมสตาร์ชดัดแปร(RF+MS) ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบผลของส่วนผสมอาหารต่อความหนืดของแป้งข้าวและเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ให้

เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- กสิภูมิ ทวนคง, ดุษฎี อุดมภาพ, สันทณีย์ ปัญญาานนท์, วิไล รัชสาดทอง และจรัรัตน์ พุดตานเล็ก. (2557). การศึกษาพฤติกรรมการความหนืดของแป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาตัดแปรเพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 61.
- พนอจิต ธัญญมวงพงค์. (2531). การแยกอะไมโลสจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์การศึกษาปริญญามหาบัณฑิต วิทยาลัย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มาตรฐานอุตสาหกรรม. (2529). แป้งข้าว. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). ข้าวสาลีวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. (1990). Official Method of Association of official chemist. 16th ed., Association official Analytical chemist. Virginia.
- Rutenberg, W. M., & Solarek, D. (1984). Starch derivatives: Production and uses. *Chemistry and Technology*. New York and London.
- Sirichokworrakit, S., Phetkhut, J., & Khommoon, A. (2015). Effect of partial substitution of wheat flour with riceberry flour on quality of noodles. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 197,1006 – 1012.
- Thiranusornkij, L., Thamnarathip, P., Chandrachai, A., Kuakpetoon, D., & Adisakwattana, S. (2019). Comparative studies on physicochemical properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their applications in bread. *Food Chemistry*. 283, 224-231.
- Srisamran, T. (2012). Development of Cleansing Lotion with Rice Bran Oil: the Riceberry Rice. Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University. Thailand.



# การประเมินอันตรายทางกายภาพและการยืนยันทวนสอบประสิทธิภาพของขั้นตอน

## X-Ray ในกระบวนการผลิตมันฝรั่งทอดกรอบ

Evaluation of physical hazard and efficiency validation of X-Ray procedures in crisps processing

นัฐกาญจน์ ฉายแพ้ว<sup>1</sup> อพัชชา จินดาประเสริฐ<sup>2</sup> กิตติชัย บรรจง<sup>2</sup> ภาวิณี ดีแท้<sup>2</sup> และ อติสร เสวตวิวัฒน์<sup>2</sup>

Nattakarn Chaipeaw<sup>1</sup>, Aphacha Jindaprasert<sup>2</sup> Kittichai Banjong<sup>2</sup>, Pawinee Deetae<sup>2</sup> and Adisorn Swetwivathana<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินข้อมูลเบื้องต้นในด้านประสิทธิภาพของขั้นตอนตรวจจับอันตรายทางกายภาพในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอด เพื่อวิเคราะห์ถึงอันตรายทางกายภาพที่พบได้ในระหว่างการแปรรูปมันฝรั่งแผ่นทอด เก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งปลอมปนในมันฝรั่งระหว่างกระบวนการผลิต โดยเก็บข้อมูลในช่วงผลิตที่มีการใช้มันฝรั่งแหล่งที่ปลูกในประเทศไทยในช่วงฤดูฝนที่ตรวจพบ ตั้งแต่มีนาคม ถึงเดือน เม.ย. 2562 ความถี่ทุก 12 ชั่วโมง ตลอดการผลิต 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 2 เดือน ในแต่ละขั้นตอนการแปรรูปที่สามารถตรวจพบอันตรายทางกายภาพได้ เพื่อดูชนิดและปริมาณของสิ่งปลอมปนในแต่ละขั้นที่มีการตรวจสอบ พร้อมทั้งวัดขนาดด้วยเครื่องวัดคาลิเปอร์เวอร์เนีย แบบดิจิทัล เพื่อประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจสอบสิ่งปลอมปนโดยเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray พบว่าชนิดของสิ่งปลอมปนที่ส่งผลต่อคุณภาพและเป็นอันตรายทางกายภาพที่พบบ่อยมากับมันฝรั่งและสามารถพบได้ในขั้นตอนการผลิต โดยพบในขั้นตอนตัดแต่งและคัดตำหนิ (Trimming) ได้แก่ เศษดิน ขนาด 1-5 มิลลิเมตร (มม.) 33 ชิ้น หิน/กรวด ขนาด 1-5 มิลลิเมตร (มม.) 29 ชิ้น เศษเชือกพลาสติกฝังมาในหัวมันฝรั่ง ขนาดตั้งแต่ 0.2 มิลลิเมตร (มม.) 5 ชิ้น และภายหลังขั้นตอนการทอด พบสิ่งแปลกปลอมที่ผ่านเครื่องตรวจจับแม่เหล็ก (Magnet Detector) ได้แก่ หิน ขนาด 1-5 มิลลิเมตร 6 ชิ้น เครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) พบหิน ขนาด 1-5 มิลลิเมตร (มม.) 41 ชิ้น และเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray พบหิน ขนาด 1-5 มิลลิเมตร (มม.) 911 ชิ้น ตามลำดับ ชนิดของสิ่งแปลกปลอมที่พบในแต่ละขั้นตอนการตรวจสอบดังกล่าว เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำตัวอย่างสิ่งปลอมปนที่ตรวจพบไปใช้เพื่อการทวนสอบประสิทธิภาพ ความถูกต้องแม่นยำของขั้นตอนสุดท้ายก่อนจำหน่ายโดยเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray ในการตรวจสอบสิ่งปลอมปน เพื่อเพิ่มคุณภาพและลดอันตรายทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอด เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพและความปลอดภัยต่อผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์แผ่นมันฝรั่งทอดต่อไป

**คำสำคัญ:** อันตรายทางกายภาพ เครื่องเอกซเรย์ มันฝรั่งทอด หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร การทวนสอบ

## ABSTRACT

The purpose of this study was primary efficiency evaluation of physical hazard measurement in final process of chips manufacturing in order to analyze the physical hazards occurred during crisps processing. Foreign materials information had been collected from manufacturing process every 12 hour for 24 hours a day, since March until April 2019 with potatoes grown by domestic sources (Thailand) in rainy season. The measurement of physical hazard in each process was conducted to identify type and amount of foreign materials, the foreign materials sizes were also measured by digital Vernier Caliper. X-Ray analysis was used to evaluate the efficiency of final process contaminating measurement. It was found that the type of foreign materials affected to potato quality and became physical hazard contamination in potatoes measured in manufacturing process. The foreign materials, found in pruning and trimming process, were 1-5 millimeter(mm.) of soil mud for 33 pieces, 1-5 millimeter(mm.) of sandstone for 29 pieces and about 0.2 millimeter(mm.) of string and plastic deposited in potatoes for 5 pieces. Magnet detector was used to measure for foreign materials, some of those contamination, which were 1-5 millimeter(mm.) of sand stones for 33 pieces, were found in chips after frying process. Moreover, 1-5 millimeter(mm.) of sandstone for 41 pieces were detected by Metal detector and 1-5 millimeter(mm.) of sandstone for 911 pieces were detected by X-Ray respectively. The types of foreign materials found by mentioned measurement methods were primary information leading to further precisely quality measurement by X-Ray in finishing process before distributing in the market. Contamination measurement was conducted to enhance quality and reduce physical hazard occurred during manufacturing process. It was the method to boost safety and quality assurances of potatoes crisps product to the customers.

**Keywords:** Physical hazard, X- Ray system, Crisps, GMP, Validation

---

<sup>1</sup>นักศึกษามัธยมศึกษา สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้านครินทร์

<sup>1</sup>Master degree student of Food Safety Management program, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

## คำนำ

มันฝรั่งเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญในฐานะพืชอาหารหลักปริมาณการผลิตจัดอยู่ในอันดับ 4 ของโลกรองมาจาก ข้าว ข้าวสาลีและข้าวโพด (Hawkes, 1992) และในปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคอาหารแบบตะวันตก เช่น อาหารจานด่วนและอาหารขบเคี้ยว ซึ่งอาหารดังกล่าวนิยมใช้มันฝรั่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ทำให้มันฝรั่งเป็นที่ต้องการอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งซึ่งต้องการมันฝรั่งในการผลิตเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการปลูกมันฝรั่งเพื่อการผลิต ปี 2559 – 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันฝรั่งรวม รวม 34,777 ไร่ ผลผลิตรวม 105,988 ตัน ในปี 2560 – 2561 พื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นเป็น 35,463 ไร่ ผลผลิตรวม 102,870 และปี 2561 – 2562 พื้นที่ปลูกได้เพิ่มขึ้นเป็น 42,928 ไร่ ผลผลิตรวม 119,519 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) การขยายพื้นที่ปลูกและผลผลิตรวมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงความต้องการมันฝรั่งและผลิตภัณฑ์มันฝรั่งได้เพิ่มขึ้นเพื่อรองรับการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งในรูปแบบมันฝรั่งทอดกรอบ (Potato Chip) มันฝรั่งทอดแบบแท่ง (French fries) และขนมขบเคี้ยวอื่น ๆ ที่ทำจากแป้งมันฝรั่ง ตลาดมันฝรั่งที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นทำให้โรงงานแปรรูป การผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแปรรูปจึงต้องมุ่งเน้นให้มีคุณภาพและความปลอดภัยสูง ซึ่งโดยกล่าวถึงอันตรายที่อาจมีได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูปมันฝรั่งและผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแปรรูปเพื่อจำหน่ายให้กับผู้บริโภคนั้นส่วนมากจะเป็นอันตรายทางกายภาพซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนหินที่มีรายงานว่ามีผลทำให้เกิดอันตรายต่อการบาดเจ็บของฟันและช่องปากของผู้บริโภคและพบว่ามีกรณีเรียกคืนสินค้าที่ดำเนินการโดย USDA กรณีพบเศษแก้วในสินค้าอาหารเด็ก Beech – Nut CLASSIC sweet potato & chicken วันผลิต 12 Dec 2014 (USDA-United States Department of Agriculture, 2016) พบว่ามีกรณีเรียกคืน “P.F. Chang’s Home Menu Brand code 5006616500, code 5006617400” ในกรณีพบว่ามีกรณีปนเปื้อนเศษโลหะในน้ำตาลระหว่างขั้นตอนการผลิต (USDA-United States Department of Agriculture, 2016) และจากข้อมูลการผลิตมันฝรั่งแปรรูป ปี 2562 ของโรงงานแปรรูปมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบได้รับมาตรฐานการรับรองตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต (GMP) และการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (HACCP) ใช้ในการควบคุมการผลิตรายหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบปัญหาสิ่งปลอมปนในระหว่างกระบวนการแปรรูปโดยมีการตรวจพบ หิน ดิน เศษฟาง และเชือกพลาสติก รวมจำนวนสิ่งปลอมปนที่ตรวจพบ 1,025 ครั้ง โดยคิดเป็นจำนวนสิ่งปลอมปนที่พบในขั้นตอนเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนการจำหน่าย จำนวน 911 ครั้ง (7.45 ppm) ซึ่งจัดเป็นข้อกำหนดด้านคุณภาพทางกายภาพตามมาตรฐานมันฝรั่งสำหรับการแปรรูป (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2562) และสิ่งที่พบดังกล่าวอาจส่งผลในด้านอันตรายจากการบาดเจ็บในระหว่างขบเคี้ยวหรือเกิดอาการแพ้ต่อผู้บริโภคได้ จากปัญหาที่พบดังกล่าวในกระบวนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบจึงได้มีขั้นตอนการลดอันตรายทางกายภาพ โดยในระหว่างขั้นตอนการแปรรูปมีพบว่ามีขั้นตอนเพื่อลดปริมาณสิ่งปลอมปนและอันตรายทางกายภาพที่เกิดขึ้นดังกล่าวที่พบ โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการคัดแยกกำหนดมันฝรั่งและสิ่งแปลกปลอม (Sorting and Grading) ขั้นตอนการล้าง (Washing & De-Stoning)

ขั้นตอนตัดแต่งและคัดตำหนิและสิ่งแปลกปลอม (Trimming) และเครื่องตรวจจับสิ่งแปลกปลอมภายหลังขั้นตอนการทอดแผ่นมันฝรั่งก่อนการบรรจุ โดยเครื่องตรวจจับแม่เหล็ก (Magnet Detector) ในขั้นตอนหลังคลุกรสชาติแผ่นมันฝรั่ง เครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) ในขั้นตอนหลังซึ่งน้ำหนักและบรรจุแผ่นมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบบรรจุภัณฑ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray ด้วยหลักการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยระดับความหนาแน่นของเครื่อง X-Ray นั้นยืนยันการตรวจสอบอันตรายประเภทหิน กรวด เป็นอันตรายที่พบและมีขนาดเล็กที่อาจฝังมากับแผ่นมันฝรั่งทอดแต่อันตรายดังกล่าวมีความหนาแน่นมากกว่า 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ ) ตามข้อกำหนดในโปรแกรมและการตั้งค่าการใช้งานของเครื่อง X-Ray ของบริษัท มิทเลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด (2558) และบริษัท อีซีดี (ประเทศไทย) จำกัด (2559) ภายหลังขั้นตอนบรรจุผลิตภัณฑ์ลงห่อเพื่อจำหน่าย ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะช่วยลดอันตรายประเภทดังกล่าวที่พบ วัตถุประสงค์ของการศึกษาประสิทธิภาพการตรวจจับของเครื่อง X-Ray จึงเป็นการยืนยันขั้นตอนการป้องกันอันตรายทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาข้อร้องเรียนที่อาจเกิดขึ้นจากปัญหาการปนเปื้อนสิ่งที่ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในผลิตภัณฑ์ และสร้างความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบของโรงงานผลิต โดยในช่วงเดือน มี.ค.- เม.ย. 2562 ได้ทำการประเมินอันตรายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นของขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบก่อนจำหน่าย

## วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินอันตรายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นของขั้นตอนการแปรรูปมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบของโรงงานผลิตขนาดใหญ่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตในระบบ GMP และ HACCP ด้วยการประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องและแม่นยำของเครื่อง X-Ray ในการตรวจผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยดูผลจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบในเรื่องของสิ่งเจือปนหลังผ่านการตรวจสอบด้วยเครื่อง X-Ray และทวนสอบจากปัญหาข้อร้องเรียนจากลูกค้า

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาขั้นตอนการผลิตมันฝรั่งแผ่นมันฝรั่งทอดกรอบและประเมินอันตรายจากสิ่งเจือปนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตมันฝรั่งแปรรูปตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์แผ่นมันฝรั่งทอดกรอบโดยวิเคราะห์ประเภทที่มาและชนิดของอันตรายทางกายภาพที่ปนเปื้อนมาแต่ละขั้นตอนการแปรรูปมันฝรั่ง
2. ศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพการตรวจสอบของเครื่อง X-Ray โดยทำการเก็บรวบรวมสิ่งเจือปนในมันฝรั่งระหว่างกระบวนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบเพื่อศึกษาประเภทของอันตรายที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต ตามประเภทและขนาดของอันตราย ทำการทดสอบปะปนชนิดและขนาดของอันตรายลงในถุงผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบดี ทำการทดสอบความถี่ทุก 12 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง / 1 วันผลิต จากนั้นทำการตรวจสอบถุงผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ Reject ที่ผ่านการ X-Ray เก็บข้อมูลและนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนการวัด (Calculation of measurement error) (นวกัทธา และทวีพล, 2555) โดย

- ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute error) คือ ค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการวัด

$$\text{Absolute error} = |X_{\text{mea}} - X_t| \quad (1.1)$$

โดย  $X_t$  คือ ค่าจริง (True Value)  
 $X_{\text{mea}}$  คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

- ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error)

$$\text{Relative error} = \frac{|X_{\text{mea}} - X_t|}{X_t} \quad (1.2)$$

$$\% \text{ Error} = \text{Relative error} \times 100 \quad (1.3)$$

โดย  $X_t$  คือ ค่าจริง (True Value)  
 $X_{\text{mea}}$  คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

$$\text{Relative error} = \frac{|10 - 10|}{10}$$

$$= 0$$

$$\% \text{ Error} = 0 \times 100 = 0 \%$$

- ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำหรือค่าความถูกต้อง (% Accuracy) (1.4)

$$\begin{aligned} \% \text{ Accuracy} &= 100 - \% \text{ Error} \\ &= 100 - 0 \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมเป็นระยะเวลา 2 เดือนมีนาคม-เมษายน 2562

- เก็บรวบรวมข้อมูลร้องเรียนภายในปี 2562 เปรียบเทียบกับปี 2560-2561 ดำเนินการรวบรวมข้อมูลร้องเรียนจากลูกค้า โดยข้อมูลมาจากหน่วยงานควบคุมคุณภาพ ภายในปี 2562 เปรียบเทียบกับปี 2560 - 2561 เพื่อยืนยันข้อร้องเรียน เรื่องความปลอดภัยทางด้านปัญหาการปนเปื้อนของสิ่งทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในผลิตภัณฑ์แผ่นมันฝรั่งทอดกรอบ

## ผลและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาขั้นตอนการผลิตแผ่นมันฝรั่งทอดกรอบและประเมินอันตรายจากสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ พบว่าจุดที่มีการปนเปื้อนใน (Table 1) จากขั้นตอนการผลิตมันฝรั่งทอดกรอบตามตารางสามารถประเมินได้ว่าแหล่งที่มาของอันตรายทางกายภาพที่เกิดขึ้นก่อนผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยพบว่าจุดที่ทำให้ปนเปื้อนอาจมาได้จากทั้งวัตถุดิบ หรือการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) พื้นที่การปลูกไปจนถึงการเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถพบเศษดิน หิน เศษไม้ และวัชพืช สามารถปนเปื้อนมากับมันฝรั่งสดหลังการเก็บเกี่ยวได้ ความผิดพลาดที่เกิดจากโปรแกรม












สุขลักษณะพื้นฐานในระหว่างการผลิต โดยอันตรายมักพบว่ามีสาเหตุจากการเกิดความผิดพลาดขึ้นในกระบวนการผลิตที่มีข้อบกพร่องจากการปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิตรวมทั้งการไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานของกระบวนการผลิตอาหารที่เป็นโปรแกรมสุขลักษณะพื้นฐานจึงทำให้พบอันตรายทางกายภาพต่าง ๆ ได้แก่ เศษไม้จากพาเลท ลังไม้บรรจุมันฝรั่ง เศษผม แมลงจากสิ่งแวดล้อม หรืออันตรายที่มาจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตอาหาร ได้แก่ สิ่งแปลกปลอมชนิดชิ้นส่วนโลหะต่าง ๆ จากสลัก เกลียว ตะแกรงและใยโลหะต่าง ๆ เป็นต้น โดยสาเหตุมักเกิดจากการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพต่าง ๆ หรือได้รับการออกแบบที่ไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะ รวมทั้งอาจเกิดจากพื้นผิวของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่มีลักษณะของโลหะที่กระทบโลหะ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการตัดหรือหั่น บริเวณปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการผสมต่าง ๆ และอุปกรณ์ชิ้นส่วนโลหะที่มีโอกาสหลุดขาดหรือเกิดการหลวมหลุดออกมาได้ เช่น ชิ้นส่วนสายพานส่งแผ่นมันฝรั่งทอด และเหล็กที่ใช้รัดอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น ล้วนเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะต่าง ๆ มีโอกาสพบได้ในระหว่างกระบวนการผลิตแผ่นมันฝรั่งทอดกรอบ ดังนั้นการเฝ้าระวังและป้องกันตั้งแต่การรับวัตถุดิบตั้งแต่เริ่มต้นตามมาตรฐานการตรวจรับวัตถุดิบของโรงงาน โดยการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับมันฝรั่งสด เช่น ดิน หิน เชือกกระสอบพลาสติก เศษไม้ ตรวจสอบสภาพการใช้งานเครื่องมือหรือตรวจสอบขั้นตอนที่ใช้ตรวจสอบอันตรายทางกายภาพ และการทวนสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรในจุดตรวจสอบอันตรายตลอดกระบวนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบทุกครั้ง

Table 1 Physical Hazards identification for process of potato crisps

Process	Detail	Source of hazard
Receiving Fresh Potatoes	To sampling fresh potato with criteria is nil for foreign matter and specific gravity >1.070 (มกษ. 1524-2561)	(A)
Sorting and Grading of potatoes	Graded Potatoes (45mm. to 70mm. diameter) to be fed into feeding elevator with a uniform speed of feeding. This process, wash the adherence material i.e. soil, mud, sand etc. coming from field during harvest.	(A)
Storage at cool room	Potatoes that are inspection alright with to the criteria. Packing wooden crates stored in cool rooms.	(A),(B)
Washing and de-stoning	Introduction of heavy metals from raw water / Stone fragments in potato due to poor operation. Wash the potatoes inspection the defect. In the potato wash, the machine is automated and can be sorted out in three parts according to the machine's ability, which relies on the principle of the currents and gravity of contaminants to be eliminated before deliver potato to the production process.	(A),(B)
Peeling	The potatoes are washed to the peeling machine to peel, which will look like a bucket. The tank's inner core is rough like sandpaper. The potatoes will roll and will be peeled until neatly.	(A),(B)
Slicing	Slices are then properly distributed on high speed belt for proper uniform feeding to fryer.	(A),(B)
Blancher	After slicing, the potato plate is sent to the wash tank. In order to wash, remove the starch.	(A),(B)
Frying	Frying temperature is set in the range of 175 ±10 °C and time of fryer is 1.5 to 3 minutes with holding time 2 to 4 minutes.	Not found
Seasoning	The potato crisps mash the flavor in the seasoning drum.	(B),(C)
Packing	Seasoned products directly go into the hopper of elevator for packaging machine to feed the multihead weighers. Temperature and humidity in the packaging room should be around 20-25 °C and 40- 60% and proper sealing (Top, bottom & central seal) and proper N2 must be ensured during packaging.	(A),(B),(C)

Note : (A) foreign matter from incoming raw materials soil, mud, sand stone, wood, grass, rubble, gravel, weed, and twig (B) foreign matter from food processing equipment from metal to metal contact, blending operations e.g. screw, pin, grating and filter (C) foreign matter from failures in prerequisites programs e.g. wooden bin, wooden pallet, hair scrape and insects

Table 2 Data of size and type of foreign matter which identified to quality and hazard during potato crisps process

	Type of foreign matter		Size (mm)	Amount (Piece)	
	Quality	Physical hazard			
Trimming conveyer			Rock	C	10
			Stolone	B,C	3
Soil at trimming conveyer			Attached Soil	A,B,C	87
Plastic rope at trimming conveyer			Plastic rope	C	2
Slicer			Not found	Not found	
Rock at Magnet		Rock embeb in crisps	B	15	
Rocked embed at Metal Detector		Rock embeb in crisps	C	120	
Rocked embed at X-ray		Rock embeb in crisps	A	116	
		Rock embeb in crisps	B	42	
	 Crisps Soft	Rock embeb in crisps	C	21	

Note: A = 1.5 mm, B = 2-5 mm, C= 6-10 mm

ผลการศึกษาข้อมูลภายหลังการรับเข้าวัตถุดิบมันฝรั่งสดก่อนส่งผลิต ในตั้งแต่ขั้นตอนการตัดแต่งและคัดตำหนิ (Trimming) คัดแยกสิ่งแปลกปลอมคัดแยกโดยคน พบ ดิน เศษหิน เศือกพลาสติก ขั้วมันฝรั่ง เครื่องตรวจจับสิ่งแปลกปลอมภายหลังขั้นตอนการทอดแผ่นมันฝรั่งโดยเครื่องตรวจจับแม่เหล็ก (Magnet Detector) ในขั้นตอนหลังคลุกรสชาติแผ่นมันฝรั่งตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) ขั้นตอนหลังซึ่งน้ำหนักเพื่อบรรจุแผ่นมันฝรั่ง และในขั้นตอนการลดอันตรายขั้นสุดท้ายทำโดยเครื่อง X-Ray โดยทั้ง 3 ขั้นตอนตรวจพบเศษหินปะปนมากับแผ่นมันฝรั่งทอดด้วยเช่นกันตามลำดับนั้น เพื่อศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องตรวจจับรังสี X-Ray ด้วยหลักการ

ตรวจวัดความหนาแน่น (Table2) จากชนิดของอันตรายทางกายภาพที่สามารถพบได้ในขั้นตอนการตรวจจับทุกข์ขั้นตอน และคัดแยกได้จนมาถึงขั้นตอนสุดท้าย พบว่าเศษหินที่ติดอยู่กับแผ่นมันฝรั่งยังคงเป็นอันตรายด้านกายภาพที่หากถ้าพบ เหลือรอดไปจนถึงผู้บริโภคจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยตรง เช่น ถ้ามีการเหลือรอดของเศษหิน เศษกรวดในแผ่น มันฝรั่งทอดกรอบจะมีผลทำให้เกิดการบาดเจ็บฟันบิ่น หรือหักได้ดังรายงานของ (นงนุช, 2557) ได้กล่าวถึงอันตรายทาง กายภาพ หมายถึงสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนลงในอาหาร อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บแก่ผู้บริโภค โดยอาจมาจาก วัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ เช่น เศษหิน เศษไม้ เศษแก้ว เศษโลหะ เศษพลาสติก อันตรายเหล่านี้มีผลกระทบต่อสุขภาพ ผู้บริโภคในระดับต่างกันอาจทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยเล็กน้อยหรืออาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ รวมถึงมีผลกระทบต่อ ผู้ประกอบการในเรื่องชื่อเสียงของสินค้าและการเรียกคืนสินค้าทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจอีกด้วย ในขั้นตอน สุดท้ายของขั้นตอนการลดอันตรายทางกายภาพโดยเครื่อง X-Ray สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ  $\geq 99$  เปอร์เซ็นต์ และจากการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันข้อร้องเรียน ปี 2562 หลังการศึกษา ข้อมูลเปรียบเทียบข้อร้องเรียนทางด้านอันตรายทางกายภาพ พบว่าไม่มีข้อร้องเรียนจากลูกค้าเมื่อเปรียบเทียบกับ ปี 2560-2561

## สรุป

ประสิทธิภาพขั้นตอนการลดอันตรายทางกายภาพด้วยเครื่อง X-Ray ที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการลดและป้องกัน อันตรายในกระบวนการผลิตมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ สามารถแยกและตรวจจับสิ่งเจือปนทั้งทางด้านคุณภาพและความ ปลอดภัยที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบและในระหว่างการผลิตได้อย่างแม่นยำโดยไม่พบข้อร้องเรียนจากลูกค้าจนถึงปัจจุบัน

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณแผนกห้องเย็นและแผนกวิศวกรรม โรงงานเป๊ปซี่-โคล่า (ไทย) เทรดิง จำกัด จังหวัด พระนครศรีอยุธยา สำหรับการอนุเคราะห์สถานที่ในการ ทำการศึกษา บริษัท อิชิดะ (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เมท เลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลการใช้งานเครื่อง X-Ray (IX-G Series) ในทำการวิจัยใน ครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง มันฝรั่งสำหรับการแปรรูป (มกษ. 1524-2561).

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.

นงนุช เมธียนต์พิริยะ. 2557. วศ. กับความปลอดภัยทางอาหาร. กรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 62 ฉบับที่ 195: 8-10.

นวกัทธา หนูนา และทวีพล ชื้อสัตย์. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. มีนเซอร์วิสเซ็พ พลาย. กรุงเทพฯ.

บริษัท อิชิดะ (ประเทศไทย) จำกัด. 2559. คู่มือการใช้งาน X-Ray IX-G Series. สืบค้นจาก :

[WWW.ISHIDATHAILAND.COM](http://WWW.ISHIDATHAILAND.COM) (25 ธันวาคม 2562)

บริษัท เมทเลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด. 2558. การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการผลิต. สืบค้นจาก :



[https://www.mt.com/th/th/home/products/Product-Inspection\\_1/safeline-x-ray-inspection.html](https://www.mt.com/th/th/home/products/Product-Inspection_1/safeline-x-ray-inspection.html) ( 10

มีนาคม 2563 )

- Andersson, K. and J. Lidholm. 2003. Characteristics and immunobiology of grass pollen allergens. Pubmed. 130(2):87-107.
- Frankland, A .W. and J.A. Lunn. 1965. Asthma caused by the grain weevil. Brit. J . industr . Med 22: 157-159.
- Lunn, J..A. 1966. Millworkers' Asthma: Allergic Responses to the Grain Weevil (Sitophilus granarius).Brit. J. industr. Med 23: 149-152.
- Medina, M. 2016. ConAgra Foods Recalls Frozen Chicken and Beef Products Due to Possible Foreign Matter Contamination. USDA-United States Department of Agriculture. [Online]. Available: <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/fsis/topics/recalls-and-public-health-alerts/recall-case-archive/archive/2016/recall-056-2016-release> (30 March 2019).
- M. Easdani, Khaliduzzaman and M.H.R. Bhuiyan, 2012. The Design of HACCP Plan for Potato Chips Plantin Bangladesh. J. Environ. Sci. & Natural Resources, 5(2): 329-338

# ไทเร็กซ์: การสกัดข้อมูลทางคลินิกโดยอัตโนมัติจากรายงานการตรวจอัลตราซาวด์ของต่อมไทรอยด์โดยใช้ ระบบรายงานข้อมูลการถ่ายภาพต่อมไทรอยด์

ThyRex: An Automate Clinical Information Extraction of Thyroid Ultrasound Report Based on TI-RADS

ภก.พาริน กิตติพงษ์เดชา<sup>1</sup>, ดร. รัตน์ชัยนันท์ ธรรมสุขจิต<sup>1</sup>, ศ. ดร. อัมรินทร์ ทักขิณเสถียร<sup>1</sup>, ผศ. ดร. นพ.ปวิน นำถวัช<sup>1</sup>, ผศ. ดร. ภญ.อรลักษณ์ พัฒนาระทีป<sup>1</sup> และ นพ.ชัยวัฒน์ ศุภศิลป์<sup>1</sup>

Parin Kittipongdaja<sup>1</sup>, Ratchainant Thammasudjarit, Ph.D.<sup>1</sup> Prof.Ammarin Thakkinstian, Ph.D.<sup>1</sup> Asst.Prof. Pawin Numthavaj, M.D., Ph.D.<sup>1</sup> Asst.Prof. Oraluck Pattanaprateep, Ph.D.<sup>1</sup> and Chaiyawat Suppasilp, M.D.<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

รายงานอัลตราซาวด์ไทรอยด์มีการเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างในลักษณะการบรรยาย ซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกในการนำไปใช้งาน ทางคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาตัวแบบสำหรับสกัดข้อมูลทางคลินิกแบบอัตโนมัติที่มีชื่อว่า ThyRex เพื่อสกัดข้อมูลทางคลินิกจากรายงานของต่อมไทรอยด์อัลตราซาวด์และจัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลที่มีโครงสร้าง โดยตัวแบบจะใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP) ร่วมกับวิธีการสร้างเงื่อนไข (Rule-based) เพื่อสกัดข้อมูลทางคลินิกที่เกี่ยวข้องจากรายงานของต่อมไทรอยด์อัลตราซาวด์ตามมาตรฐานของระบบรายงานข้อมูลการถ่ายภาพต่อมไทรอยด์ (Thyroid Imaging Reporting and Data System - TI-RADS) รายงานอัลตราซาวด์ไทรอยด์ทั้งหมดจำนวน 60 รายงานประกอบด้วย 442 ประโยค จะถูกติดคำอธิบายประกอบ (annotate) โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญและนำไปใช้ในการประเมินตัวแบบ ผลจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของตัวแบบได้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) 86.4% ค่าความไว (Sensitivity, Recall) 81.5% ค่าความแม่นยำ (Precision) 91.1% และ ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1 score) 86.0% โดยใช้เวลาในการประมวลผลต่อ 1 รายงานเฉลี่ย 0.0369 วินาที ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0144 วินาที แม้ข้อมูลสำหรับฝึกสอนจะมีขนาดเล็กและขาดขั้นตอนการประเมินความแปรปรวนระหว่างผู้อธิบายประกอบ (inter-annotator) แต่ตัวแบบนี้ยังคงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงโดยใช้เวลาการประมวลผลที่รวดเร็ว ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงทางคลินิก เช่น การเก็บรวบรวมข้อมูล การสร้างฐานข้อมูลอัลตราซาวด์ของต่อมไทรอยด์ รวมไปถึงการพัฒนาการสื่อสารระหว่างแพทย์รังสีอัลตราซาวด์และแพทย์วินิจฉัยได้

**คำสำคัญ :** การสกัดข้อมูลทางคลินิก / การประมวลผลภาษาธรรมชาติ / วิธีการสร้างเงื่อนไข / รายงานไทรอยด์อัลตราซาวด์ / ระบบรายงานข้อมูลการถ่ายภาพต่อมไทรอยด์

<sup>1</sup> ภาควิชาระบาดวิทยาและชีวสถิติคลินิก คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

## Abstract

Thyroid ultrasound reports are stored as unstructured data in narrative text format, which precludes the data gathering process for further usage. We aim to develop an automatic clinical information extraction called ThyRex for extracting clinical information from thyroid ultrasound reports and store them in structured format. The model employs Natural Language Processing (NLP) techniques with a rule-based approach for extracting relevant clinical information based on Thyroid Imaging Reporting and Data System (TI-RADS) lexicons. The total of 60 thyroid ultrasound reports contained 442 sentences were annotated by an experienced clinician and used for model evaluation. The model achieves an 86.4% accuracy, an 81.5% sensitivity (recall), a 91.1% precision and an 86.0% F1 score with average run-time for processing per report of 0.0369 seconds with 0.0144 seconds standard deviation. Despite the small training set and lack of inter-annotator variability evaluation, this model showed promisingly high performance with short processing time that could be implemented in the real clinical settings such as gathering information process, building thyroid ultrasound database, and improving communication between ultrasound radiologists and diagnostic physicians.

**Keyword** : CLINICAL INFORMATION EXTRACTION / NATURAL LANGUAGE PROCESSING (NLP) / RULE-BASED / THYROID ULTRASOUND REPORT / TI-RADS

## Introduction

Studying relevant clinical risk factors to a disease is one kind of clinical epidemiology studies. Such a study requires the structured data in the tabular format where each row represents a sample and each column represents a clinical risk factor for data analysis. Data availability problems arise when the data source is unstructured data because even the data is in place, but it is not ready for analysis. The unstructured data is approximately 80% in Electronic Health Record (EHR) (Pak, 2020) such as radiology reports. The radiology report is produced in the form of text to describe findings in radiology images. In order to refer to the clinician for decision making related to treatment plans. Since radiology reports are being generated everyday but they are not ready to be analyzed, an automated engine to extract relevant clinical risk factors from radiology reports would be very helpful for conducting epidemiology studies and other research.

One of the most frequently used radiology reports are the thyroid gland ultrasound (US) results due to the guideline of standard clinical practice for thyroid nodule detection and classification (Bryan R., et al., 2016). Since the incident of Thyroid cancer is dramatically being increased worldwide over the last decades (Carlo, et al., 2015), the number of thyroid gland ultrasound results is highly likely to be dramatically generated.

Such an amount of ultrasound results leads to an increase of workload to any physician who would like to conduct an epidemiology study related to Thyroid cancer. For example, the risk assessment of clinical factors to thyroid nodules to be either malignant or benign.

Clinical Information Extraction (IE) has been studied over 10 years. The early work employs rule-based approaches due to the number of samples in annotated corpus is very limited for specific areas such as mammography records (*Houssam, et al., 2009*). To our best knowledge, the number of early works related to the clinical information extraction from Thyroid ultrasound is very limited in PubMed, ScienceDirect and Scopus databases. Although the state-of-the-art for clinical information extraction is the machine learning approach, it requires a very large annotated corpus for training (*Saeed and Langlotz, 2016*). Such machine learning approaches might be powerful, but it is not suitable for the early work in the specific domain.

## Objective

Our study proposed an automatic clinical information extraction for Thyroid US report called ThyRex. The first prototype of ThyRex employs rule-based approach on top of Natural Language Processing (NLP) techniques for extracting relevant clinical information from the Thyroid US reports based on TI-RADS standard. The ThyRex uses predefined set of rules modified from TI-RADS lexicon (*Franklin N., et al., 2017*) to extract the thyroid US characteristic from 60 thyroid US reports. The outcome is the structured data which each row represents an US report while each column represents each feature of TI-RADS. The main contribution of our work is an automatic approach to transform unstructured data of US reports to structured data for thyroid US reports. Such structured data would be very useful for further clinical epidemiology studies related to thyroid cancer in the large-scale.

## Method

### Data

The study design is cross-sectional study by using data of Ramathibodi hospital's database in Thailand. Data were collected after under approval of Ramathibodi Ethical Committee. The number of retrieved Thyroid US reports is 25,731. Each report was written in narrative text format from the radiology center of Ramathibodi Hospital, Mahidol University during 1 January 2010 and 17 December 2019. The criteria for including a report to the study is the thyroid US report with finding section. The report was excluded if their thyroid US reports were incomplete.

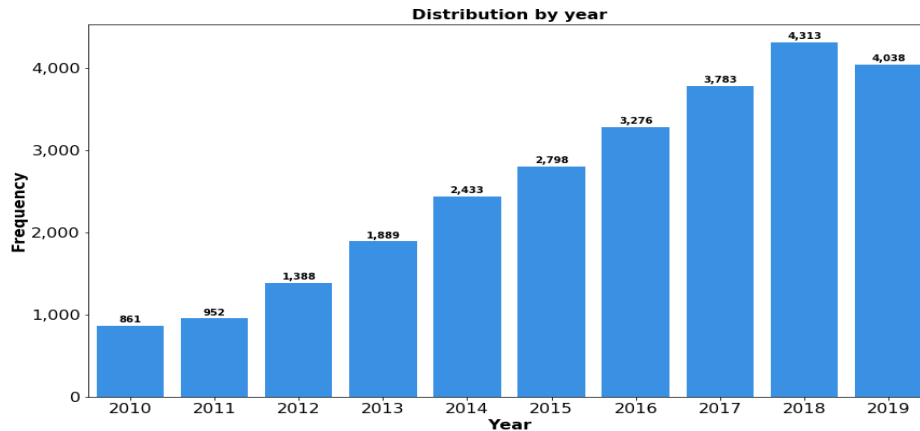


Figure 1 Number of patients perform thyroid US distribution by year

Data analysis reveals the continuously increasing trend related to the number of diagnostic imaging interventions shown in Figure 1, which corresponds to rapid increasing global incidence (Carlo, et al., 2015). Each report consists of four main sections; Indication, Procedure, Findings, and Impressions shown in Figure 2.

Sixty reports were randomly selected and analyzed for crafting the set of rules. There are 442 sentences annotated by one annotator who is an experienced clinician. The ThyRex was designed to extract nodule characteristics of Thyroid gland and stores the results as the structured data. Such characteristics are base-on ACR TI-RADS imaging criteria standardized in 2017 and physician requirements. The ACR TI-RADS chart allows practitioners to assign points to nodules based on ultrasound features from a standardized lexicon that lends itself to structured reporting (Franklin N., et al., 2017).

**ULTRASOUND OF THE THYROID GLAND**  
**HISTORY:** Autoimmune thyroid disease.  
**COMPARISON:** None.  
**FINDINGS:**  
 Right lobe: Diffuse enlargement with heterogeneous echogenicity, measuring about 3.1x1.4x5.7 cm. Multiple hyperechoic nodules scattering in the right lobe, measuring up to 0.9 cm in size. The largest nodule locates at lower pole of the right lobe.  
 Left lobe: Diffuse enlargement with heterogeneous echogenicity, measuring about 2.8x1.4x6.0 cm. Multiple hyperechoic nodules scattering in the left lobe, measuring up to 0.7 cm in size.  
 Isthmus: 3.4 mm in thickness.  
 Lymph node: No cervical lymph node enlargement.  
**IMPRESSION:**  
 - Diffusely enlarged thyroid gland with diffuse heterogeneous parenchymal echogenicity, corresponding with autoimmune thyroiditis.  
 - Multiple hyperechoic nodules scattering in both thyroid lobes.  
 - No cervical lymph node enlargement.

Figure 2 Example report of thyroid ultrasound

## Modeling

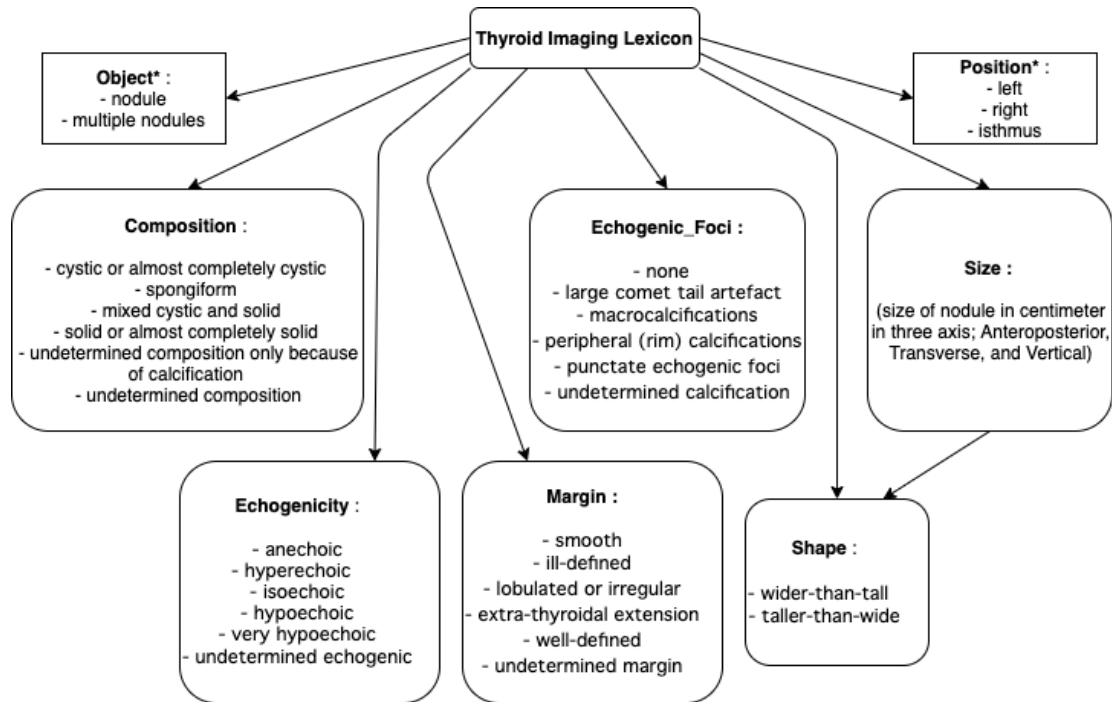


Figure 3 TI-RADS Lexicon (\* is the feature that define by clinician expert, not in TI-RADS)

Source: modify from *Tessler FN et al. 2017*

The first version of ThyRex emphasizes only on US characteristics with lexicon from ACR TI-RADS shown in Figure 3. The input of ThyRex is raw text and the output is a structured data. The pipeline of ThyRex is shown in Figure 4.

Given a thyroid US report, the first step is *segmentation* that split into four successive sections. In this step, we focus only on the *finding section* due to it related to patient description in the results of the diagnostic imaging. Other sections are excluded such as *impression* because it might not be the fact due to it was conclusions derived from radiologist's opinions.

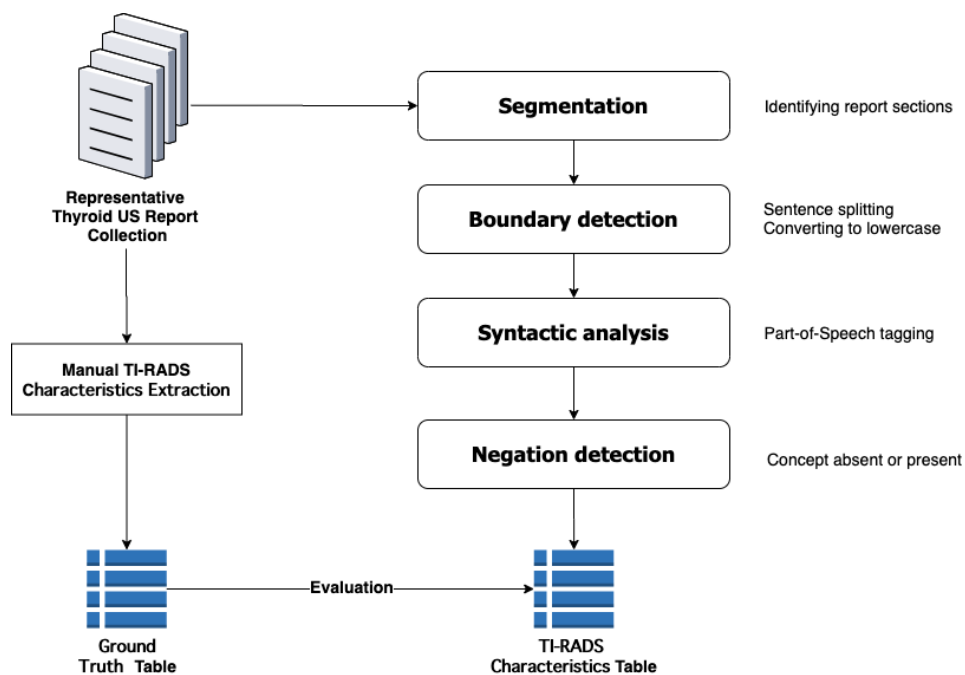


Figure 4 Proposed rule-based pipeline

Source: modify from Pons E et al. 2016.

The second step is *boundary detection* that performs sentence tokenization and word tokenization. Each word is normalized by converting all uppercase characters to lowercase characters. Since the ThyRex is the rule-based approach that is less likely to get effect from stop-words, the stop-word removal was not applied.

The third step is *syntactic analysis* that determines the part-of-speech for a given word. In this study, we focus on grammatical structures of cardinal numbers to extract size of nodule. After that semantic analysis would be performed by linking them to semantic types e.g., concept finding (Ewoud, et al., 2016). The TI-RADS lexicon was used for recognizing compound words in each report.

The fourth step is *negation detection* to check whether concepts in text are negated or not. Our ThyRex employs the NegEx algorithm (Wendy W., et al., 2001) for negation detection. Two out of four patterns defined in NegEx were selected in this study: 1) preceding\_negations - negation phrases that precede an entity, and 2) following\_negations - negation phrases that follow an entity.

## Evaluation

To evaluate our information extraction system with a rule-based approach, we calculate by value matching for each characteristic on our data set of sixty manually annotated radiology reports by clinician experts. There are eight characteristics including Object, Position, Composition, Echogenicity, Margin, Echogenic\_Foci, shape, and size. Since the data were high missing value due to the radiologist not recording all of thyroid US characteristics to the report. Therefore, we would treat actual absent value as negative and actual present as positive. Furthermore, most of the report does not record shape characteristics. Hence, we decide not to consider shape characteristics in our evaluation. We computed standard metrics of accuracy, precision, recall, and F1 score for all characteristics and aggregated the results through micro-averaging.

## Result

		Actual	
		Feature present	Feature absent
Predicted	Feature present	TP = 530	FP = 52
	Feature absent	FN = 120	TN = 565

Table 1 Results table (Confusion matrix)

\*TP: True Positive, FP: False Positive, FN: False Negative, TN: True Negative

Table 1 shows the evaluation result with a confusion matrix of seven characteristics that occurred at least once in 60 thyroid US reports with 442 sentences. The average processing time per report is 0.0369 seconds with 0.0144 seconds standard deviation. To compute test statistics, we treat the present features as positives and the absent features as negatives. The rule-based approach achieves an 86.4% accuracy, an 81.5% sensitivity (recall), a 91.1% precision and an 86.0% F1 score. The detail in each characteristic was shown in Table 2.



		Thyroid US Characteristics							
Metric		Object	Position	Composition	Echogenicity	Margin	Echogenic Foci	Size	Total
False Negative		20	20	14	24	0	10	32	120
False Positive		12	11	10	11	2	1	5	52
True Negative		9	9	80	84	169	153	61	565
True Positive	Correct Value	137	136	68	61	10	16	83	511
	Incorrect Value	3	5	9	1	0	1	0	19
Total		181	181	181	181	181	181	181	<u>1267</u>

Table 2 Detail table of confusion matrix

## Conclusion

The major limitation of rule-based approach is requiring a lot of domain knowledge and is time consuming. Furthermore, our results are obtained based on just only one annotator which may occur human error. Therefore, these results can be improved by adding more detail and complexity of rule-based and also more annotators, which we can reduce bias by calculate Cohen's Kappa coefficient (*Jean., 1996*), a widely accepted agreement metric in NLP, for these two sets of annotations.

Due to the complexity of report patterns and lack of annotated data to train machine learning, we chose a rule-based approach for the feasibility study. This method, although already used in many applications, has not yet been applied to thyroid US report data. The ThyRex is a useful component for reducing the workload of the physician and can improve communication between the radiologist and referring clinician taking care of the patient. Our work focuses on thyroid nodules, which is performed by neck ultrasonography and recorded in US report format. This information model covers the majority of thyroid US characteristic information contained in radiology reports according to TI-RADS lexicon. Despite the small study of clinical IE from thyroid US report using TI-RADS lexicon, this study could be used as a baseline in the future works.

The extracted information from radiology reports, in addition to, expand the capacity to research by linking radiology report information to the patient's electronic health documents or genomic data. This work is an example of an automated system to convert unstructured data to structured data, which can further apply in many other domains like brain, heart, lungs, etc.

## Acknowledgments

We would like to show our gratitude to the Department of Radiology, Ramathibodi Hospital, Bangkok, Thailand, for providing us with the data sets required for the research and Rbus Ugrit for providing query the data. We also thank Sasiprapa Rongthong, MD, the radiologists from the same department who provided insight and expertise that assisted the research.

## References

- Carletta, J. (1996). Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic. *Computational linguistics*, 22(2), 249-254.
- Chapman, W. W., Bridewell, W., Hanbury, P., Cooper, G. F., & Buchanan, B. G. (2001). A simple algorithm for identifying negated findings and diseases in discharge summaries. *Journal of biomedical informatics*, 34(5), 301-310.
- Hassanpour, S., & Langlotz, C. P. (2016). Information extraction from multi-institutional radiology reports. *Artificial intelligence in medicine*, 66, 29-39.
- Haugen, B. R., Alexander, E. K., Bible, K. C., Doherty, G. M., Mandel, S. J., Nikiforov, Y. E., ... & Schuff, K. G. (2016). 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American Thyroid Association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid*, 26(1), 1-133.
- Hon S. Pak. (2020). Unstructured Data in Healthcare. Retrieved February 14, 2020, from Healthcare Tech Outlook Website: <https://mobility.healthcaretechoutlook.com/cxoinsights/unstructured-data-in-healthcare-nid-506.html>
- La Vecchia, C., Malvezzi, M., Bosetti, C., Garavello, W., Bertuccio, P., Levi, F., & Negri, E. (2015). Thyroid cancer mortality and incidence: a global overview. *International journal of cancer*, 136(9), 2187-2195.
- Nassif, H., Woods, R., Burnside, E., Ayvaci, M., Shavlik, J., & Page, D. (2009, December). Information extraction for clinical data mining: a mammography case study. In *2009 IEEE International Conference on Data Mining Workshops* (pp. 37-42). IEEE.
- Pons, E., Braun, L. M., Hunink, M. M., & Kors, J. A. (2016). Natural language processing in radiology: a systematic review. *Radiology*, 279(2), 329-343.
- Tessler, F. N., Middleton, W. D., Grant, E. G., Hoang, J. K., Berland, L. L., Teefey, S. A., ... & Hammers, L. W. (2017). ACR thyroid imaging, reporting and data system (TI-RADS): white paper of the ACR TI-RADS committee. *Journal of the American college of radiology*, 14(5), 587-595.

# การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตโฟมสำหรับเบาะนั่งของยานยนต์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

## Feasibility Study on the Investment of Foam for Automotive Seat Factory A Case Study of Automotive Part Factory

พิสุทธิ บุราณจินดา<sup>1</sup> ศันสนีย์ สุภาภา<sup>2</sup>และพัชราภรณ์ ญาณภีร์<sup>3</sup>

Pisud Buranajinda<sup>1</sup> Sansanee Supapa<sup>2</sup>and Patchaporn Yanpirat<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบสายการผลิตโฟมเบาะยานยนต์ให้สามารถรองรับปริมาณความต้องการของลูกค้าเดิมและลูกค้าใหม่ในอนาคตที่เพิ่มขึ้น โดยมีกำลังการผลิตส่วนขยายปีละ 3 ล้านชุด ผู้วิจัยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARENA คำนวณทรัพยากรการผลิตพบว่ามีความต้องการเครื่องจักรอุปกรณ์ 2 ชุดและแรงงาน 160 คน ภายใต้เงื่อนไขงานเสียต้องไม่เกินร้อยละ 35 และจากการวางแผนโรงงานใหม่พบว่าต้องการพื้นที่ 8,160 ตารางเมตร และใช้ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุ 305 เมตร จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนประมาณ 445.54 ล้านบาท โดยกำหนดระยะเวลาตามอายุการใช้งานของเครื่องจักรหลัก 10 ปี และที่การผลิตเต็มกำลังการผลิต โครงการนี้มีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 45.32 ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำของบริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดร้อยละ 13 ซึ่งมีมูลค่าเทียบเท่ากับปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิเท่ากับ 769.87 ล้านบาท ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3 ปี 7 เดือน และการวิเคราะห์ความไวในการเปลี่ยนแปลงต้นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นน้อยกว่าร้อยละ 6 และยอดการสั่งซื้อลดลงมากกว่าร้อยละ 14 ส่งผลให้มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน ส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายแรงงานเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 30 ไม่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน ดังนั้นโครงการนี้จึงมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจลงทุน

**คำสำคัญ :** เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, การจำลองสถานการณ์, การวางแผนผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

### Abstract

The objective of this study is to analyze the technical and economic feasibility of designing a production line automotive seat for capacity expansion to support the present and expected additional customers in the future. The technical feasibility analysis for the 3 million sets of automotive seats foam by the ARENA simulation program was used to calculate the resource requirements and to verify the results based on the production records of the existing plant and under the condition that the scraps should reduce to not exceed 35 percent. The capacity of machines 2 sets and 160 manpower's were required.

1 โครงการเปิดสอนปริญญาโทสาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

1 Engineering Management Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

2,3 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

2,3 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University ,Bangkok 10900

The expansion area requirement was 8160 square meters and the transportation distance of work was 305 meters with the cost 445.54 million baht. As for the economic analysis, at 10 year of analysis period of full capacity production, and at the minimum rate of return of 13 percent, which was the net present value cash flow 769.87million baht, payback in 3 years 7 months. The internal rate of return was at 45.32 percent. For sensitivity analysis, the variation of material cost at range of increase 6 percent and sale revenue decrease more than 14 percent is effect to decision for investment and labor cost. and investment cost at range of increase not more than 30 percent and no effect to the decision for investment. So this project was technically and economically feasible for investment.

**Keyword:** Engineering Economics, Simulation, Systematic Layout Planning,

## บทนำ

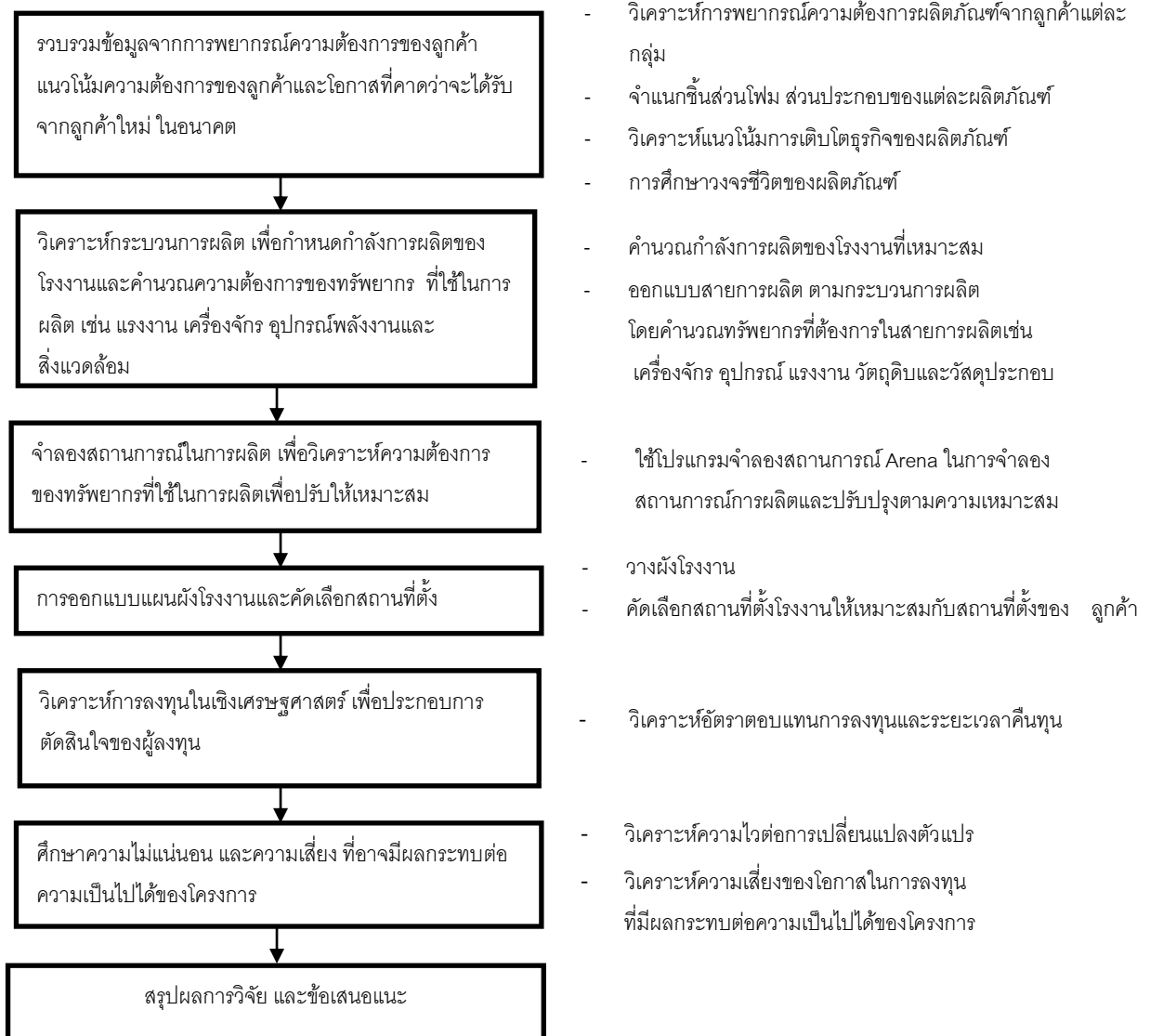
ในปัจจุบันตลาดอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณการผลิตรถยนต์จำนวน 2,210,000 คัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการผลิตยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งผลให้บริษัทเอกชนซึ่งเป็นผู้ผลิตโฟมเบาะรถยนต์ได้ลูกค้ารายใหม่เพิ่มมากขึ้นจากเดิมและจากการศึกษาพยากรณ์ความต้องการล่วงหน้าพบว่า ปี พ.ศ.2564 เริ่มมีผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่เข้ามาทำการผลิตส่งผลให้ความต้องการของลูกค้าโฟมเบาะรถยนต์มีจำนวนมากถึง 4,356,110 Full Bench Equivalent (FBE) ต่อปีซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,664,546 FBE ทำให้โรงงานมีแผนการเพิ่มกำลังผลิตโดยการจัดตั้งโรงงานแห่งใหม่ขึ้น

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบสายการผลิตโฟมเบาะรถยนต์และรถบรรทุกตามความต้องการของการตลาดในอนาคตและคำนวณต้นทุนทรัพยากรการผลิต เช่น เครื่องจักร และอุปกรณ์ รวมทั้งแรงงานที่ต้องใช้ให้เหมาะสม
2. เพื่อคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงการกระจายสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าของโครงการ
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และความไม่แน่นอนที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุนและแนวทางป้องกันและแก้ไข

## วิธีการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนสร้างโรงงานผลิตโฟมเบาะรถยนต์และรถบรรทุกโดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการทำงานวิจัย

## ผลและวิจารณ์

### วิเคราะห์การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลแผนธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษาได้แบ่งกลุ่มลูกค้าโรงประกอบรถยนต์ออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ ลูกค้าที่อยู่โซน A ได้แก่ Ford, Mazda, Mitsubishi มีสถานที่ตั้งโรงประกอบรถยนต์ตั้งอยู่บริเวณจังหวัดระยองและชลบุรี และลูกค้าโซน B ได้แก่ TOYOTA, Honda, Hino, ISUZU มีสถานที่ตั้งโรงประกอบรถยนต์ตั้งอยู่บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ และกรุงเทพมหานคร ซึ่งในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์โหมไปยังโรงประกอบเบาะรถยนต์ 28 ล้านบาทต่อปี ปริมาณความต้องการทั้งหมดของโรงงานกรณีศึกษา

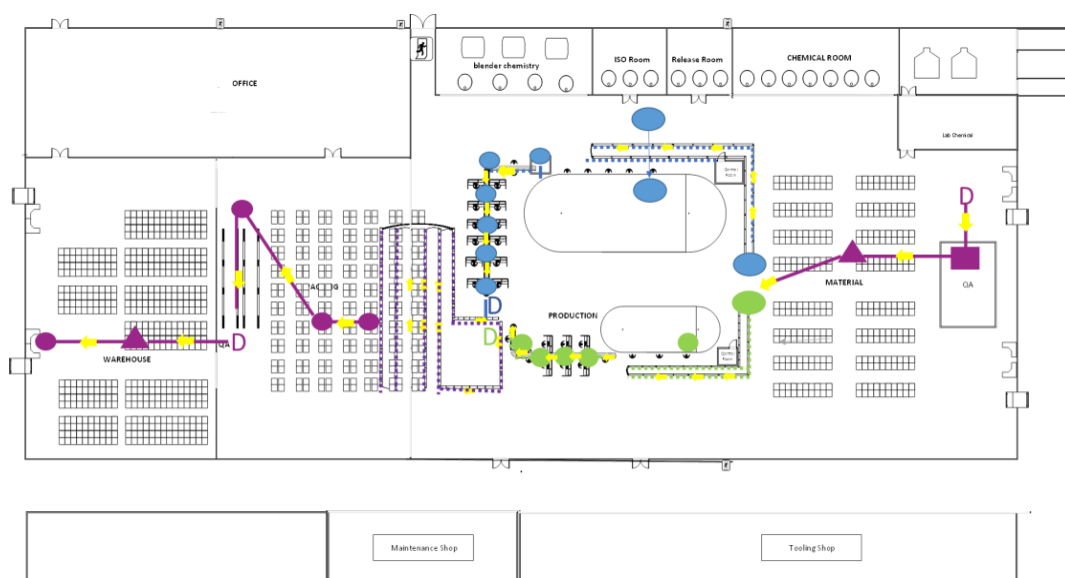
แห่งใหม่โดยเลือกใช้ปริมาณความต้องการของลูกค้าในปี FY2022 กำหนดอัตรากำลังการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาแห่งใหม่ เนื่องจากปี FY2022 โรงงานกรณีศึกษาทำการผลิตครบทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์ตามสัญญาการซื้อขายกับลูกค้า และได้แบ่งกำลังการผลิตออกเป็น 2 สายการผลิต ได้แก่ สายการผลิตโคมขนาดใหญ่ 1,232,196 FBEต่อปี และสายการผลิตโคมขนาดเล็กกำหนดกำลังการผลิตที่ 1,093,495 FBEต่อปี จากนั้นนำอัตรากำลังการผลิตมาคำนวณกำลังการผลิตและวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ด้วยโปรแกรม ARENA

### การสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรม Arena

โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Arena Simulation) ของขั้นตอนการผลิตชิ้นงานโคม เพื่อศึกษากำลังการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนการผลิตที่เกิดขึ้นโดยข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นเป็นการรวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาเดิมในช่วงเวลาการตั้งสายการผลิตใหม่ เป็นข้อมูลที่ได้จากการจับเวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตเป็นจำนวน 100 ชุด นำข้อมูลในทุกขั้นตอนมาวิเคราะห์เพื่อหาการแจกแจงของข้อมูลด้วย Input Analyzer ของโปรแกรม Arena จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ผลลัพธ์ที่ได้ดังนี้ สายการผลิตโคมขนาดใหญ่ สายการผลิตโคมขนาดใหญ่ผลิตได้ 5,540 FBE ต่อวัน หรือ 1,329,600 FBE ต่อปี สำหรับการทำงาน 17 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งมากกว่าเป้าหมายการผลิตที่ 1,232,196 FBE ต่อปี สายการผลิตโคมขนาดเล็ก สายการผลิตโคมขนาดเล็กสามารถผลิตได้ 7,586 FBE ต่อวันหรือ 1,821,360 FBE ต่อปี สำหรับการผลิตใช้เวลา 17 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ 1,093,495 FBE ต่อปี

### การออกแบบแผนผังโรงงาน

การออกแบบแผนผังโรงงานและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ มีความจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตตามแผนภูมิกระบวนการไหลของแผนผังโดยเครื่องมือในการตัดสินใจออกแบบแผนผังโรงงานโดยวิธี SLP (Systematic Layout Planning) ให้ได้โรงงานรูปแบบที่ใช้พื้นที่ 8,160 ตารางเมตร สามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่สำหรับการผลิต 6,160 ตารางเมตรและพื้นที่ในส่วนคลังสินค้า 2,000 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังโรงงานและแผนภูมิกระบวนการไหลของวัสดุ

เมื่อพิจารณาในรูปแบบแผนผังโรงงานใหม่ พบว่าแผนผังโรงงานรูปแบบใหม่มีระยะทางการไหลของวัสดุ 305 เมตร และสายการผลิตโฟมขนาดเล็กมีระยะทางการไหลของวัสดุ 281 เมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนผังโรงงานปัจจุบันระยะทางการเคลื่อนย้ายของวัสดุสายการผลิตขนาดใหญ่จากเดิมมีระยะทางการไหล 380 เมตรลดลงเหลือ 305 เมตร สายการผลิตขนาดเล็กจากเดิมมีระยะทางการไหล 338 เมตรลดลงเหลือ 281 เมตร

## การเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน

การคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมได้คำนึงถึงความเหมาะสมของสถานที่ตั้ง ระยะทางระหว่างสถานที่ตั้งกับกลุ่มลูกค้า ปริมาณการขนส่ง วิธีการรวมถึงยานพาหนะในการขนส่ง และค่าเช่า ซึ่งได้มีการประชุมร่วมกับทีมผู้บริหารเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ โดยใช้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจศึกษาและใช้วิธีการ Delphi Technique เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่อาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในระบบปิดความเห็นแต่ละคน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการพิจารณาการคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน

ปัจจัย	น้ำหนัก	นิคมอุตสาหกรรม		นิคมอุตสาหกรรม		นิคมอุตสาหกรรม		นิคมอุตสาหกรรม	
		อีสเทิร์นซีบอร์ด	ที เอฟ ดี	เกตเวย์ซีดี	อมตะนคร	ระยอง	ระยอง	ระยอง	ระยอง
		ร้อยละ	คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม	คะแนนรวม
ต้นทุนค่าเช่า	24%	88.32	21.2	51.03	12.25	67.18	16.12	90.21	21.65
ต้นทุนการขนส่ง	21%	53.5	11.41	95.25	20.32	84.98	18.13	82.85	17.67
ต้นทุนการแรงงาน	19%	88.72	16.56	98.02	18.3	92.32	17.23	98.02	18.3
สาธารณูปโภค	16%	100	16	54.5	8.72	94.1	15.06	100	16
สิ่งแวดล้อม	20%	100	20	81.09	16.22	98.04	19.61	100	20
รวม	1		85.17		75.8		86.15		93.62

เมื่อพิจารณาผลคะแนนรวมพบว่า นิคมอุตสาหกรรมอมตะนครได้รับการคัดเลือกเป็นสถานที่ตั้งโรงงานผลิตโฟมแห่งใหม่ เนื่องจากมีคะแนนสูงสุดอยู่ที่ 93.62 คะแนน แต่เนื่องจากผลการพิจารณาค่าน้ำหนักความสำคัญในบางประเด็นยังมีความคิดเห็นที่ไม่เป็นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงได้มีการประชุมร่วมระหว่างผู้เชี่ยวชาญและผู้บริหารเพื่อชี้แจงรายละเอียดหาข้อดีและข้อเสียของแต่ละนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อสรุปว่านิคมอุตสาหกรรมอมตะนครมีความโดดเด่นด้านระบบการจัดการสาธารณูปโภค มีโรงงานผลิตไฟฟ้า และผลิตน้ำบำบัดน้ำเสียและสิ่งแวดล้อม เช่น กำจัดของเสีย และมีตลาดแรงงานรองรับเป็นจำนวนมาก โดยนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครมีพื้นที่ให้เช่าในราคา 213 บาทต่อตารางเมตร โรงงานมีความต้องการใช้พื้นที่จำนวน 8,160 ตารางเมตร ราคาใช้จ่ายในการเช่า 20,784,000 บาทต่อปี สมควรได้รับการคัดเลือกให้เป็นสถานที่ตั้งโรงงานผลิตโฟมแห่งใหม่

## ความเป็นไปได้ของโครงการด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนจำนวน 465.5 ล้านบาท เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์จำนวน 445.54 ล้านบาท และค่าใช้จ่ายก่อนการผลิตจำนวน 23.45 ล้านบาท ที่มาของรายได้จากการจำหน่ายโคมจากลูกค้า 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มลูกค้าใหม่ กลุ่มผลิตภัณฑ์เดิมของกลุ่มลูกค้าโซน B และกลุ่มศูนย์กลางผลิตโคมเอเชียแปซิฟิก รวม 3,255,162 FBE ต่อปี เป็นรายได้ต่อปี 1,569.18 ล้านบาทต่อปี

## ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการด้านเศรษฐศาสตร์ได้กำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการทั้งหมด 10 ปี โดยใช้ตัวชี้วัดคือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน ตามตารางงบกระแสเงินสดดังตารางที่ 2

### ตารางที่ 2 งบกระแสเงินสด

(หน่วย : พันล้านบาท)

	ก่อสร้าง		การผลิต										มูลค่าซาก
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
เงินสดไหลเข้ารวม	-	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	0.01
1.รายได้จากการขาย	-	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	-
2.รายได้อื่นๆ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
เงินสดไหลออกรวม	0.47	1.39	1.31	1.31	1.31	1.35	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	-
3.ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	0.44	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-
ค่าใช้จ่ายก่อนการผลิต (ไม่รวมดอกเบี้ย)	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. การเพิ่มขึ้นของเงินทุน หมุนเวียน	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินงาน	-	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	-
6. ภาษีเงินได้นิติบุคคล	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-
กระแสเงินสดสุทธิ	-0.47	0.17	0.25	0.25	0.25	0.21	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.01
กระแสเงินสดสุทธิรวม	-0.47	-0.30	-0.05	0.20	0.45	0.66	0.90	1.13	1.37	1.61	1.84	1.84	1.86
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	-0.47	0.15	0.19	0.17	0.15	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.00
มูลค่าเงินสด	-0.47	-0.32	-0.12	0.04	0.20	0.31	0.43	0.53	0.61	0.69	0.76	0.76	0.76
สุทธิปัจจุบันรวม													
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ		0.769											
อัตราผลตอบแทน		45.32											

หมายเหตุ: หน่วยพันล้านบาทใช้เฉพาะข้อมูลในตารางที่ 2 เท่านั้น



ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ (MARR) ร้อยละ 13 พบว่า โครงการนี้มีมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวกเท่ากับ 769.87 ล้านบาท โครงการมีระยะเวลาในการคืนทุน 3 ปี 7 เดือน โดยมีอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) ร้อยละ 45.32 และมีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนกำหนดร้อยละ 13 ต่อปี จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงการนี้มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

### การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของโครงการ (Sensitivity Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการ ซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการคือ ยอดการสั่งซื้อ ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ค่าเช่า และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ได้ผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการต่ำ ได้แก่ ต้นทุนค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งแม้ว่าจะมีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30 ส่งผลให้มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันมีค่าเป็นบวกและมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ที่กำหนดไว้ร้อยละ 13 และระยะเวลาคืนทุนอยู่ในระยะเวลาไม่เกิน 5 ปี ตามที่โครงการกำหนด

2. การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการสูง ได้แก่ ยอดการสั่งซื้อ ต้นทุนค่าวัตถุดิบ การเปลี่ยนแปลงของยอดการสั่งซื้อลดลงต่ำกว่าร้อยละ 14 ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน มากกว่าข้อกำหนดของที่กำหนดไว้ภายใน 5 ปี และจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนวัตถุดิบจากสถิติย้อนหลังในช่วง 3 ปีของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าราคาวัตถุดิบมีความผันแปรตามราคาตลาดซื้อขาย และพบว่าราคาต้นทุนของวัตถุดิบมีมูลค่าคิดเป็นร้อยละ 83 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ส่งผลทำให้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเมื่อราคาวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเกินกว่าร้อยละ 8 จะมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 7 เดือน มากกว่าข้อกำหนดของที่กำหนดไว้ภายใน 5 ปี ส่งผลให้โครงการนี้ไม่น่าลงทุน

เนื่องจากสถานะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ซึ่งคาดว่าจะอาจส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมรถยนต์จะเกิดการชะลอตัวการเติบโตจึงได้ทำการคำนวณจุดคุ้มทุน (Break Even Point) โดยสามารถคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่สามารถเพิ่มขึ้นและรายรับที่ลดลงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ผลการวิเคราะห์ความไว เมื่อการเปลี่ยนแปลงคำนวณที่ Break even ที่ระยะเวลาการคืนทุนไม่เกิน 5 ปี

การเปลี่ยนแปลงปัจจัย	(%)	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (ล้านบาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	ระยะเวลาคืนทุนที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดไม่เกิน (ปี)
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	+ 43.40	566.07	30.87	5
ต้นทุนค่าแรงงาน	+82.50	399.68	30.67	5
ยอดการสั่งซื้อมีการเปลี่ยนแปลง	-13.66	398.51	30.62	5
ต้นทุนวัตถุดิบ	+6.43	398.51	30.62	5

## สรุป

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทำให้ธุรกิจอุตสาหกรรมรถยนต์ได้รับผลกระทบอย่างมาก ผู้ผลิตรถยนต์หลายแห่งประกาศปิดโรงงานชั่วคราวและหยุดทำการผลิตเนื่องจากยอดขายลดลง โดยยอดขายที่ลดลงนั้นเกิดจากความกังวลของผู้บริโภคที่มีต่อสถานการณ์การแพร่ระบาดทำให้การตัดสินใจซื้อรถต้องชะลอออกไป อีกทั้งรถยนต์อาจจะไม่ใช่สินค้าที่จำเป็นทำให้ยอดซื้อขายรถยนต์ในประเทศและยอดส่งออกไปต่างประเทศและรวมทั้งความต้องการขึ้นส่วนอุปกรณยานยนต์ประสบปัญหาการสั่งซื้อลดลง เนื่องจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ กำลังเผชิญกับสภาวะที่ยากลำบากไม่ต่างกัน จึงทำให้บริษัทรถนี้ศึกษาได้รับผลกระทบยอดการสั่งซื้อลดลงร้อยละ 45 และทำการปรับลดค่าใช้จ่ายแปรผันดัง เช่น ต้นทุนแรงงาน ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิต อย่างไรก็ตามสำหรับแผนการลงทุนการจัดตั้งโรงงานแห่งใหม่ยังคงแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ตามแผนเดิมของลูกค้าและยอดการสั่งซื้อยังคงเป็นไปตามสัญญาการซื้อขายในปีงบประมาณ 2564 (FY2022) เพื่อเป็นการรักษาลูกค้าตามข้อสัญญาผูกพันทางการค้าในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

Behrens, & Hawranek. (1991). *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies* UNIDO/UN *n.p.*

Muther, & Hales. (2015). *Systematic Layout Planning*. Management & Industrial Research Publications

Ravindra V.& Pradeep. (2017). *Bio-Renewable Sources for Synthesis of Eco-Friendly Polyurethane Adhesives-Review*. *Journal of Polymer Chemistry*, 2017, 7, 57-75.

USS Engineers and Consultants, I. (1980). *Site Selection Study for Iron Steel and Fertilizer Complex*. Ministry of Industry. *n.p.*

Wirabhuana, A., Haron, H., & Imtihan, M. R. (2008). *Simulation and Re-Engineering of Truck Assembly Line*. Paper presented at the 2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS).

# การศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา

## Study of Properties of Insulation Board Made of Water Hyacinth

พรศิริ นิธิเศรษฐ์<sup>1</sup> ทรงกลด จารุสมบัติ<sup>2</sup> และ ดำรง พิพัฒน์วัฒนากุล<sup>3</sup>

Pornsiri Nitiset<sup>1</sup> Songklod Jarusombat<sup>2</sup> and Damrong Pipatwattanakul<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาด้วยกระบวนการผลิตวิธีทางกลและขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน โดยใช้วิธีการสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design : CRD) ที่ (A) ความหนาแน่น 200, 300 kg/m<sup>3</sup> และ (B) ความเข้มข้นของกาวเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (Methylene Diphenyl Diisocyanate : MDI) 3, 5 (% by weight) พบว่าสภาวะการอัดร้อนที่มีความเหมาะสมสำหรับเส้นใยผักตบชวา คือ อุณหภูมิ 150 °C แรงอัด 25 kg/cm<sup>3</sup> ระยะเวลาการอัด 6 นาที และจากการทดสอบตามมาตรฐาน ( American Society for Testing and Material : ASTM) พบว่าผลการทดสอบ 1) สมบัติเชิงกายภาพ ให้ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 7.346-9.188 % และค่าการพองตัวทางปริมาตรอยู่ในช่วง 8.646-12.408 % 2) สมบัติเชิงกล ให้ค่าความต้านแรงดัดอยู่ในช่วง 774-2,810 kPa และค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าอยู่ในช่วง 32.540-92.960 kPa และ 3) สมบัติเชิงความร้อนแสดงค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.0386-0.0489 W/m·k และให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น เช่น เส้นใยกกช้าง เส้นใยลูกตาล และชานอ้อย แสดงให้เห็นว่าผักตบชวาเป็นเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่สามารถกันความร้อนได้ดี ช่วยประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ** : ฉนวนกันความร้อน, ผักตบชวา, กาว

### Abstract

This research objective was to study properties of insulation board made of water hyacinth using mechanical and hot-pressing method. According to Completely Randomized Design (CRD) at (A) density of 200 and 300 kg/m<sup>3</sup> and (B) concentration of methylene diphenyl diisocyanate (MDI) of 3 and 5 (% by weight), the results showed that the suitable hot-pressing condition for water hyacinth fibers was 150 °C and compressed under pressure of 25 kg/m<sup>3</sup> for 6 minutes. Also, based on test of American Society for Testing and Material (ASTM), the results showed as followed: 1) Physical properties: moisture content was 7.346-9.188%, and water adsorption was 8.646-12.408%, 2) Mechanical properties: modulus of rupture was 774-2,810 kPa, and tensile strength perpendicular to the surface was 32.540-92.960 kPa and 3) Thermal properties :

<sup>1</sup> สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Forest Resource and Environmental Administration, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Department of Wood Science and Technology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>3</sup> ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

thermal conductivity was 0.0386-0.0489 W/m·k which lower than other natural fibers such as narrow-leaved cattail fiber, sugar palm fiber and bagasse. This can be concluded that fiber of water hyacinth is suitable for producing insulation board which is better in terms of heat protection, energy saving and environmental friendly.

**Keyword :** Insulation Board, Water Hyacinth, Adhesives

## บทนำ

จากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งผลกระทบต่อมนุษย์ในทางตรงนั้นคงหนีไม่พ้นเรื่องที่อยู่อาศัย จากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนให้อากาศส่งผลโดยตรงให้อากาศภายในบ้าน อาคารร้อนขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนอย่างประเทศไทย จึงมีการนำเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศมาติดตั้งไว้ภายในบ้าน อาคารหรือที่อยู่อาศัย ด้วยอุณหภูมิภายนอกตัวอาคารที่สูงทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานอย่างมากในการทำ ความเย็น ส่งผลให้ผู้ใช้งานต้องรับภาระค่าใช้จ่ายที่สูง จากปัญหาที่พบจึงมีการคิดค้นวัสดุที่ช่วยป้องกันความร้อนหรือลดการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้น จนวณกันความร้อนจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์จากเหตุผลที่ว่า ผนวกันความร้อนเป็นวัสดุที่สามารถอนุรักษ์พลังงานให้ใช้ประโยชน์ได้โดยมีการสูญเสียพลังงานออกไปน้อยและสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันจึงมีผนวกันความร้อนให้เลือกหลากหลายประเภท เช่น ผนวกันใยแร่ ผนวกันใยหิน ผนวกันใยแก้ว เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ โดยผนวกันความร้อนแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามการใช้งานแต่เมื่อมีการนำขนาดดังกล่าวมาใช้ภายในอาคารกลับพบปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากผนวกันความร้อนดังกล่าวเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเมื่อมีการสัมผัสอย่างใกล้ชิดเป็นเวลานานจึงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ หรือเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองหรือมะเร็งหลอดลมได้จากการหายใจเอาฝุ่นของเส้นใยสังเคราะห์หรือสูดดมสารเคมีที่เกิดจากกระบวนการผลิต และกลุ่มผลิตภัณฑ์แรม ยังเป็นส่วนหนึ่งของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553) ซึ่งอยู่ในภาคกระบวนการอุตสาหกรรม พบว่ามีปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 16.39 TgCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 7.2 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งประเทศ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2 ต่อปี

ผักตบชวามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นพืชน้ำจืดประเภทล้มลุก มีอายุได้หลายปี ขยายพันธุ์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนจาก 10 ต้น เป็น 6 แสนต้น ภายในระยะเวลา 8 เดือน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5, 2554) ด้วยคุณสมบัติพิเศษของผักตบชวาที่มีระบบรากแผ่กระจายและดูดซับแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้ผักตบชวาเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และผักตบชวายังสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างดีเนื่องจากมีกาบใบห่อหุ้มลำต้นใต้น้ำที่ช่วยป้องกันอันตรายแม้แต่ยากำจัดวัชพืช ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงประสบปัญหาจากจำนวนผักตบชวาที่มีอยู่อย่างหนาแน่นทั้งด้านการคมนาคม การสาธารณสุข การท่องเที่ยว การชลประทาน และต้องสูญเสียทั้งทรัพยากรงบประมาณ และกำลังคน ในการแก้ไขปัญหาที่มาอย่างต่อเนื่อง

จากทั้งสองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งสอดคล้องกับอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC) ที่ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นภาคีซึ่งให้ความสำคัญในการส่งเสริมสนับสนุนการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทน แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาได้นำวัตถุดิบจากเส้นใยธรรมชาติโดยผ่านกระบวนการผลิตที่ลดการใช้สารเคมี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติทดแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ สอดรับกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs)

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากผักตบชวา โดยใช้วิธีทางกลในการเตรียมเส้นใย และวิธีอัดร้อนในการขึ้นรูป
2. เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา โดยพิจารณาจากการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ผักตบชวา
2. กาวเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยานต (Methylene Diphenyl Diisocyanate : MDI)
3. เครื่องบดย่อย (Hammer mill)
4. เครื่องอัดร้อน (Hot Press)
5. ชุดเครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ
6. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. ชุดเครื่องทดสอบสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน (Thermal Conductivity Tester HC07-200 ยี่ห้อ EKO Instruments) ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### วิธีการ

1. วางแผนการทดลอง โดยใช้วิธีการแบบสุ่มตลอด (CRD) กำหนด (A) ความหนาแน่น 200, 300 kg/m<sup>3</sup> และ (B) ความเข้มข้นของกาว MDI 3, 5 (% by weight) ดังตารางที่ 1
2. เตรียมวัตถุดิบ โดยการคำนวณปริมาณเส้นใยผักตบชวา (1) และปริมาณกาว (2) ตามสูตร

$$\text{เส้นใยผักตบชวา (kg)} = \text{ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} \times \text{ปริมาตร (m}^3\text{)} \quad (1)$$

$$\text{กาว MDI (kg)} = \frac{\text{ความเข้มข้น MDI (\%)} \times \text{เส้นใยผักตบชวา (kg)}}{100} \quad (2)$$

### 3. กระบวนการผลิต

- 3.1 นำผักตบชวาแห้งเข้าเครื่อง Hammer mill ได้เป็นเส้นใยผักตบชวา ตามรูปที่ 1
- 3.2 ผสมกาวกับเส้นใยผักตบชวาตามสัดส่วนที่คำนวณไว้

3.3 ขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 35x35x1.5 เซนติเมตร โดยการอัดร้อนที่สภาวะอุณหภูมิ 150 °C แรงอัด 25 kg/cm<sup>3</sup> ระยะเวลาการอัด 6 นาที เพื่อส่งผ่านความร้อนทำให้กาวเกิดปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยเกิดความคงรูปเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน จากนั้นทิ้งไว้ 7 วัน เพื่อปรับสภาวะความชื้นก่อนทำการทดสอบ ตามรูปที่ 2

4. ทดสอบแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา โดยทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM C209 และสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยใช้มาตรฐาน ASTM C208 เป็นเกณฑ์ประเมินคุณสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนในแต่ละด้าน

5. วิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกันความร้อนทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test

## ผลและวิจารณ์

จากการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากผักตบชวา พบว่าขั้นตอนการเตรียมเส้นใยผักตบชวาด้วยวิธีทางกลให้เส้นใยผักตบชวาที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น มีความเหนียวไม่ขาดง่าย น้ำหนักเบา และมีความชื้นต่ำเหมาะกับการนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน จากนั้นทำการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 35x35x1.5 cm. ด้วยวิธีการอัดร้อน ผู้ศึกษาพบว่าสภาวะที่มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนด้วยเส้นใยผักตบชวา ต้องใช้อุณหภูมิ 150 °C แรงอัด 25 kg/cm<sup>3</sup> ระยะเวลาอัด 6 นาที จึงจะทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนคงรูปได้ดี เนื่องจาก ได้ทำการทดลองปรับสภาวะการอัดร้อนตามหลักการใช้กาวเมทิลีนไดฟีนีลไดไอโซไซยานเนต (MDI) โดยใช้อุณหภูมิ 175 °C ระยะเวลาอัด 4 นาที กลับพบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนมีผิวหน้าไหม้ ภายในไม่คงรูป สาเหตุเกิดจากการใช้อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาการอัดน้อยเกินไปทำให้ความร้อนส่งผ่านไปไม่ถึงภายในซึ่งความร้อนจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกาวกับเส้นใยทำให้เกิดการยึดติด ทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนคงรูป จึงมีการปรับสภาวะการอัดร้อน โดยลดอุณหภูมิ และเพิ่มระยะเวลาอัด ตามที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา โดยพิจารณาจากการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน ผลการทดสอบ ตามตารางที่ 2 พบว่า

### 1) สมบัติเชิงกายภาพ

การทดสอบหาค่าความชื้นจากแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ให้ค่าความชื้น 8.742, 9.188, 7.346 และ 7.982 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM c208 ที่กำหนดให้ค่าความชื้น ไม่เกิน 10 % พบว่าทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำผลการทดสอบค่าความชื้นมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัยพบว่าความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความชื้นจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปภาพที่ 1

การทดสอบหาค่าการพองตัวของปริมาตรของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ให้ค่าการพองตัวของปริมาตร 8.8960, 8.6460, 12.4080 และ 10.0620 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C208 ที่กำหนดให้ค่าการพองตัวของปริมาตร ไม่เกิน 10 % พบว่า มีเพียงทรีตเมนต์เดียวที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ ทรีตเมนต์ (A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>) ที่ความหนาแน่น 300 kg/m<sup>3</sup> และความเข้มข้นกาว MDI 3 %

เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่มีปริมาณมากในขณะที่มีความเข้มข้นกาวย MDI ที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ดี มีความเข้มข้นน้อย จึงส่งผลให้มีค่าการพองตัวของตัวทางปริมาตรสูงกว่าที่รีตเมนต์อื่นและเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จากนั้น นำผลการทดสอบค่าการพองตัวของตัวทางปริมาตรมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าการพองตัวของตัวทางปริมาตรของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาวย MDI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าการพองตัวของตัวทางปริมาตรจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนน้อยลงและความเข้มข้นของกาวย MDI เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3

## 2) สมบัติเชิงกล

การทดสอบความต้านแรงดัด (MOR) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาทั้ง 4 รีตเมนต์ ให้ค่าความต้านแรงดัด 774, 947, 2363 และ 2810 kPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C208 ที่กำหนดให้ค่าความต้านแรงดัด ไม่ต่ำกว่า 965 kPa พบว่า มี 2 รีตเมนต์ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ รีตเมนต์ A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> และ A<sub>1</sub>B<sub>2</sub> ที่ความหนาแน่นเดียวกัน 200 kg/m<sup>3</sup> และความเข้มข้นกาวย MDI 3 และ 5 % สามารถอธิบายว่า การทดสอบความต้านแรงดัดเป็นการทดสอบความแข็งแรง โดยการรับแรงกดที่มากระทำจนขึ้นทดสอบถึงจุดแตกหักถือเป็นจุดที่รับแรงกดสูงสุดของชิ้นทดสอบนั้น ดังนั้น รีตเมนต์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์เป็นรีตเมนต์ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จึงรับแรงได้น้อยกว่ารีตเมนต์ที่มีความหนาแน่นสูง จากนั้นนำผลการทดสอบค่าความต้านแรงดัดมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าความต้านแรงดัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาวย MDI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัยพบว่า ความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความต้านแรงดัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของกาวย MDI มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความต้านแรงดัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกาวย MDI ของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4

การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า ของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาทั้ง 4 รีตเมนต์ ให้ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า 32.540, 44.180, 64.640 และ 92.960 kPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C208 ที่กำหนดให้ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า ไม่น้อยกว่า 23.9 kPa พบว่า ทั้ง 4 รีตเมนต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้ามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาวย MDI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนและความเข้มข้นของกาวย MDI เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4

3) สมบัติเชิงความร้อน โดยการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาทั้ง 4 รีตเมนต์ ให้ค่าการนำความร้อนที่ 0.0386, 0.0395, 0.0485 และ 0.0489 W/m·K ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C208 ที่กำหนดให้ค่าการนำความร้อน ไม่เกิน 0.055 W/m·K พบว่าทั้ง 4 รีตเมนต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ตามตารางที่ 3 พบว่า เส้นใยผักตบชวาให้การนำความร้อนต่ำกว่าเส้นใยชนิดอื่น จากนั้นนำผลการทดสอบค่าการนำความร้อนมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาวย MDI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าการนำความร้อนจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนและความเข้มข้นของกาวย MDI ลดลง ดังรูปที่ 5

จากผลการศึกษาระบบการผลิตและการทดสอบสมบัติแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา สรุปได้ว่า ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยผักตบชวามีวิธีทางกล ให้เส้นใยที่มีความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยการเลือกใช้วิธีทางกลมีข้อดีคือ ช่วยลดขั้นตอนการอบเส้นใยเพื่อลดปริมาณความชื้น และงดใช้สารเคมีในการปรับสภาพเส้นใย และขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อนส่งผลให้กับแผ่นฉนวนกันความร้อนคงรูปได้ดี ใช้เวลาน้อยในการผลิต และจากผลการทดสอบสมบัติแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยผักตบชวาสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ดีจากค่าการนำความร้อนที่ต่ำ โดยจากการศึกษาแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI ที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นสูง ความเข้มข้นของกาว MDI สูง ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดี เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงที่สามารถรับแรงได้ดี สำหรับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้ความเข้มข้นของกาว MDI ในปริมาณมากจะส่งผลถึงสมบัติเชิงกายภาพ เหมาะสำหรับการใช้งานภายนอกที่ต้องการความทนต่อความชื้นหรือกันน้ำได้ในระยะเวลาหนึ่ง และสำหรับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นต่ำ ความเข้มข้นของกาว MDI ต่ำ ส่งผลต่อสมบัติเชิงความร้อนที่ดี เหมาะกับการใช้งานเพื่อป้องกันความร้อน ช่วยประหยัดพลังงานลดการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในบ้าน สามารถใช้งานภายในบ้านได้อย่างปลอดภัยไม่มีการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

## สรุป

จากการศึกษาระบบการผลิตและการทดสอบสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวา โดยใช้วิธีการสุ่มตลอด (CRD) ในการทดลองที่ความหนาแน่น 200, 300 kg/m<sup>3</sup> และความเข้มข้นของกาวเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (MDI) 3, 5 % ต่อน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา สรุปได้ว่า ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยผักตบชวามีวิธีทางกล ให้เส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยการเลือกใช้วิธีทางกลมีข้อดีคือ ช่วยลดขั้นตอนการอบเส้นใยเพื่อลดปริมาณความชื้น และไม่ต้องใช้สารเคมีในการปรับสภาพเส้นใย ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อนส่งผลให้แผ่นฉนวนกันความร้อนคงรูปได้ดีที่สภาวะอุณหภูมิ 150 °C แรงอัด 25 kg/cm<sup>2</sup> ระยะเวลาการอัด 6 นาที และจากการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวาตามมาตรฐาน ASTM C209 ให้ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 7.346-9.188 % ค่าการพองตัวทางปริมาตรอยู่ในช่วง 8.646-12.408 % และให้ค่าความต้านแรงดัดอยู่ในช่วง 774-2,810 kPa ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าอยู่ในช่วง 32.540-92.960 kPa เมื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติ ทำให้ทราบว่า ความเข้มข้นของกาว MDI มีผลต่อสมบัติเชิงกายภาพของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ดีเมื่อมีค่าความเข้มข้นสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานภายนอกที่ต้องการความทนต่อความชื้นหรือกันน้ำได้ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับสมบัติเชิงกลที่ดีเมื่อแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI สูง ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง รับแรงได้ดี และการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 ให้ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.0386-0.0489 W/m·k เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI ต่ำ ส่งผลต่อสมบัติเชิงความร้อนที่ดี จึงเหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อป้องกันความร้อน ลดการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ฉะนั้นจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถกล่าวได้ว่าผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ดี ให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น และสามารถนำมาใช้งานภายในบ้าน อาคาร หรือที่อยู่อาศัยได้อย่างปลอดภัย โดยไม่มีการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ และยังช่วยป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



## คำขอบคุณ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ขอขอบพระคุณ รศ.ทรงกลด จารุสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คณะวนศาสตร์และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติการ และสำนักจัดการป่าชุมชนที่สนับสนุนในการศึกษาวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. รายงานฉบับสมบูรณ์ **การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย รายงานแห่งชาติฉบับที่ 2, 2553.**

ฐิติวัลคุ์ เลื่อมกาญจนพันธ์. "การศึกษาสสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกักซ้าง" วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5. **คู่มือการจัดการผักตบชวา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5, 2554.

ศรัณยา รัตนากกร. "การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยลูกตาล" วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558.

ประยูร สุรินทร์. "การศึกษาระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย" วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

American Society for Testing and Material. **Standard Specification for Cellulosic Fiber Insulation Board (C 208-, 1995).** United States : West Conshohocken, 1995.

American Society for Testing and Material. **Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulation Board (C 209-, 1998).** United States : West Conshohocken, 1998.

American Society for Testing and Material. **Standard Test Methods for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Apparatus (C 518-, 1998).** United States : West Conshohocken, 1998.

ตารางที่ 1 แผนการทดลอง

ทรีตเมนต์ A ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ทรีตเมนต์ B ความเข้มข้นของกาว MDI (%/w)		จำนวนซ้ำ
	3	5	
200	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	5
300	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	5

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนกันที่ผลิตจากผักตบชวาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C208

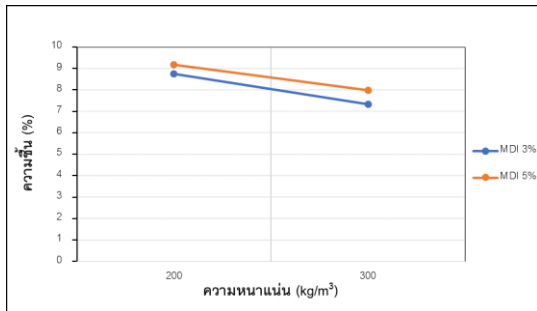
ชั้นทดสอบ	สมบัติแผ่นฉนวนกันความร้อน				
	ความชื้น (%)	การพองตัวทางปริมาตร (%)	ความต้านแรงดัด (kPa)	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (kPa)	การนำความร้อน (W/m·k)
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	8.742	8.896	774	32.540	0.0386
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	9.188	8.646	947	44.180	0.0395
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	7.346	12.408	2363	64.640	0.0485
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	7.982	10.062	2810	92.960	0.0489
ASTM c208	≤10	≤10	965	23.9	≤0.055

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนระหว่างแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากผักตบชวากับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น

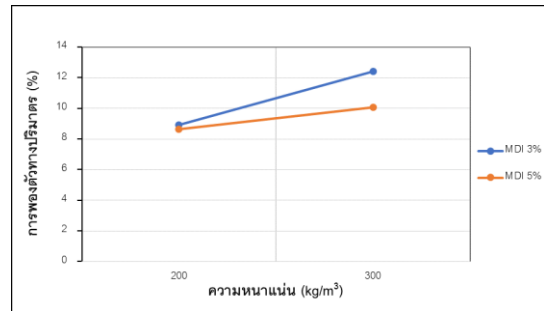
วัสดุผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าการนำความร้อน K (W/m·K)	ที่มา
เส้นใยผักตบชวา	200-300	0.0386-0.0489	งานวิจัยนี้
ชานอ้อย	150-200	0.0510-0.0580	ประยูร (2544)
เส้นใยกกช้าง	200-400	0.0438-0.0606	ฐิติวัลค์ (2555)
เส้นใยลูกตาล	150-200	0.0614-0.1192	ศรัณยา (2558)



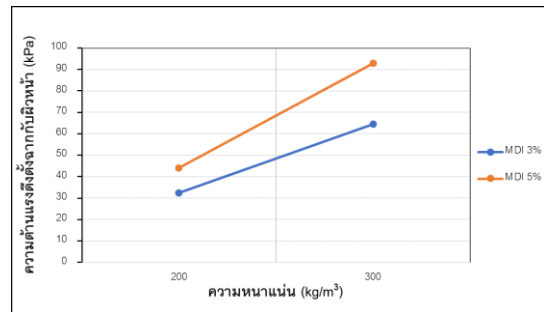
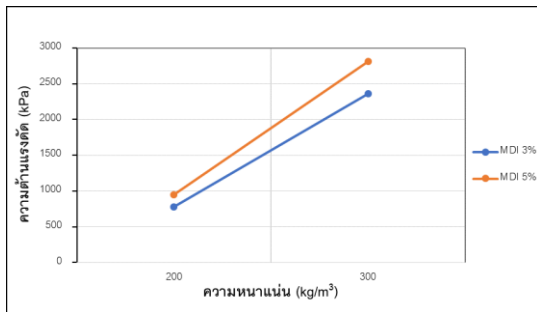
รูปที่ 1 เส้นใยฝักตบชวา



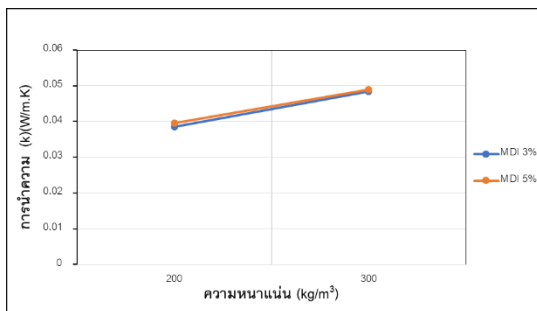
รูปที่ 2 ปรับสภาวะแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฝักตบชวา



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI ต่อสมบัติเชิงกายภาพ



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI ต่อสมบัติเชิงกล



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความหนาแน่นและความเข้มข้นของกาว MDI ต่อสมบัติเชิงความร้อน

# ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนในกรุงเทพมหานคร

## Factors Affecting the Success of Solid Waste Management of Communities in Bangkok

มัตติกา เขียวเจริญ<sup>1</sup>, นิตยา เมี้ยนมิตร<sup>2</sup> และ สุภัทรา ถึกสถิตย์<sup>3</sup>

Mattika Keawcharoen<sup>1</sup>, Nittaya Miaanmit<sup>2</sup> and Supattra Thueksathit<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน ใช้แบบสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูล จำนวน 332 ชุด จาก 9 ชุมชน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยให้ผู้ตอบแบบสัมภาษณ์จัดลำดับความสำคัญของตัวแปรด้วยวิธีการ Pairwise Ranking ซึ่งในการศึกษาเราได้จำแนกลักษณะกิจกรรมในการดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอย ทั้ง 9 ชุมชนออกเป็น 8 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมธนาคารขยะรีไซเคิล กิจกรรมการคัดแยกขยะรีไซเคิล กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์จากเศษวัสดุเหลือใช้ กิจกรรมปุ๋ยหมักชีวภาพ กิจกรรมน้ำหมักชีวภาพ กิจกรรมขยะอันตรายแลกไข่ กิจกรรมบริจาคขยะรีไซเคิล (เพื่อใช้ในการพัฒนาชุมชน) และกิจกรรมเศษอาหารนำไปเลี้ยงสัตว์ โดยกิจกรรมคัดแยกขยะรีไซเคิล มีทั้งคัดแยกขายเอง และให้รถ/ร้านรับซื้อวัสดุรีไซเคิลมารับ มีการดำเนินการมากที่สุด ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จมากที่สุด มี 3 ปัจจัย คือ บทบาทของผู้นำชุมชน ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย และการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย

**คำสำคัญ :** ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จ การจัดการขยะมูลฝอย ชุมชน กรุงเทพมหานคร

### ABSTRACT

This study examined the success of solid waste management in nine communities in Bangkok. Questionnaires were used to ask 322 households about various waste management factors using the pairwise ranking method, which we identified eight solid waste management activities practised in the nine villages: bank recycled waste, separate recycled waste, make things from waste materials, biological fertilisers, biological fermentation, hazardous waste exchange to eggs, donate the recycled waste, and give the food scraps to livestock farms. Separating recycled waste was the activity in which most villagers participated. The three factors with the greatest effects on the success of solid waste management in villages were the role of community leaders, knowledge of solid waste management, and participation in solid waste management.

**Keywords:** Factors Affecting the Success, Solid Waste Management of Communities, Bangkok

<sup>1</sup> กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม พญาไท พญาไท กรุงเทพฯ 10400

Department of Environmental Quality Promotion, Phayathai, Phayathai, Bangkok 10400

<sup>2,3</sup> คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

## บทนำ

สถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศ ในปี 2561 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ ประมาณ 27.93 ล้านตันหรือประมาณ 76,529 ตันต่อวัน เป็นขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร 4.85 ล้านตันหรือประมาณ 13,240 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 17 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางของภูมิภาค ทำให้มีแนวโน้มในการเกิดปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น จึงส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการลดและคัดแยกขยะมูลฝอยให้นำกลับมาใช้ประโยชน์ ด้วยการจัดการขยะที่ต้นทางตามหลักการ 3Rs (Reduce Reuse Recycle) เพื่อลดปริมาณขยะที่จะเข้าสู่ระบบการเก็บขนและกำจัดของกรุงเทพมหานคร (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2558) ทั้งนี้ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินงาน “โครงการชุมชนปลอดขยะ Zero Waste” เพื่อสร้างจิตสำนึกและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนทุกภาคส่วนในการคัดแยกนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด และลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด โดยมีชุมชนในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ผ่านรอบที่ 1 โครงการชุมชนปลอดขยะ อย่างน้อย 2 ปี ระหว่างปี 2557 – 2559 จำนวน 9 ชุมชน ที่สามารถแก้ไขปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยภายในชุมชน เป็นแหล่งเรียนรู้ และศึกษาดูงาน แลกเปลี่ยนการดำเนินงานด้านการจัดการขยะให้กับผู้ที่เข้ามาเยี่ยมชมจากพื้นที่ใกล้เคียง ทั้งหน่วยงานทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์กรชุมชน หรือภูมิภาคอื่น ๆ ซึ่งจากงานวิจัยของ (กิตติ, 2559) ได้ทำการศึกษาปัจจัยแห่งความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยโดยชุมชน : กรณีศึกษาชุมชนเกตุไพเราะ 3,4,5 เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร พบว่า ปัจจัยที่ทำให้การจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนเกตุไพเราะ 3, 4,5 ประสบผลสำเร็จมี 4 ปัจจัย คือ (1) ผู้นำชุมชนมีความเข้มแข็งและอุทิศตนให้ชุมชน (2) วิธีการจัดการขยะมูลฝอย (3) การมีส่วนร่วมของคนในชุมชน และเครือข่ายภายนอก (4) ทุนทางสังคม จากแนวทางในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยที่ประสบผลสำเร็จนี้ ทำให้ชุมชนเกตุไพเราะ 3, 4, 5 ได้รับรางวัลและเป็นที่ยอมรับของหน่วยงานต่าง ๆ

การศึกษารั้วนี้เพื่อนำผลที่ได้ไปพัฒนาและขยายผลการจัดการขยะมูลฝอยไปยังชุมชนอื่น ๆ เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยให้ประสบผลสำเร็จ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด ต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

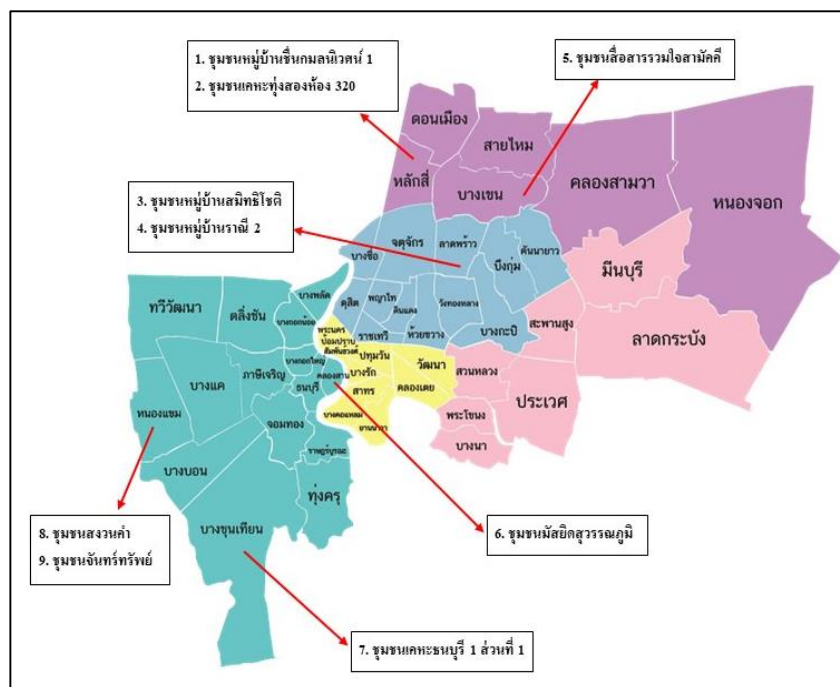
## อุปกรณ์และวิธีการ

1) พื้นที่ศึกษา ได้ทำการศึกษาชุมชนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ผ่านรอบที่ 1 โครงการชุมชนปลอดขยะ อย่างน้อย 2 ปี ในระหว่างปี 2557 – 2559 จำนวน 9 ชุมชน ได้แก่ ชุมชนหมู่บ้านชื่อกมลนิเวศน์ 1 ชุมชนเคหะทุ่งสองห้อง 320 ชุมชนหมู่บ้านสมิติโชติ ชุมชนหมู่บ้านราณี 2 ชุมชนสี่สารรวมใจสามัคคี ชุมชนมัสยิดสุวรรณภูมิ ชุมชนเคหะธนบุรี 1 ส่วนที่ 1 ชุมชนสงวนคำ และชุมชนจันทร์ทรัพย์ (ภาพที่ 1)

2) การเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แบบสัมภาษณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 322 ตัวอย่าง จากประชากรทั้งหมด จำนวน 1,948 ครัวเรือน โดยทั้ง 9 ชุมชนมีจำนวนตัวอย่างกระจายตามสัดส่วนประชากร กำหนดขนาดตัวอย่างด้วยสูตร Yamane (Yamane, 1973) การคัดเลือกตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายด้วยการจับสลาก

บ้านเลขที่ของประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละชุมชน

3) การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสัมภาษณ์ โดยการนำข้อมูลมารวบรวม แจกแจงในรูปของค่าสถิติ และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน ด้วยวิธีการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรโดยผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ ด้วยวิธีการ Pairwise Ranking เป็นแบบสอบถามเปรียบเทียบเชิงคู่ เพื่อลำดับเชิงวิเคราะห์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการ “วัดค่าระดับ” ของการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ (Gay, et al., 2016) และกำหนดระดับช่วงชั้น แบ่งอันตรายภาคชั้นออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับน้อย ระดับปานกลาง ระดับมาก



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ชุมชนเป้าหมาย ทั้ง 9 ชุมชน  
ที่มา : คลังบ้านดอทคอม (2560)

### ผลและวิจารณ์การศึกษา

#### 1. ลักษณะทั่วไปของของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย โดยเป็นเพศหญิง ร้อยละ 53.0 และเป็นเพศชาย ร้อยละ 47.0 อายุของกลุ่มเป้าหมายที่ให้ข้อมูลมากที่สุด อยู่ในช่วงอายุระหว่าง 51 – 60 ปี ร้อยละ 28.0 ซึ่งมีอายุเฉลี่ย 48.3 ปี ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา (ม3/ม.6) ร้อยละ 38.9 ระยะเวลาที่อาศัย อยู่ในชุมชน 5 ปีขึ้นไป ร้อยละ 93.4 มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 3 – 4 คน ร้อยละ 62.3 ประเภทที่พักอาศัยส่วนใหญ่ เป็นบ้านเดี่ยว/บ้านแฝด (บ้านชั้นเดียว/สองชั้น) ร้อยละ 39.2

## 2. ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จ

จากการตรวจเอกสารพบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จ มีความสำเร็จ มี 6 ปัจจัย ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน ความคิดเห็นในการจัดการขยะมูลฝอย การประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย การสนับสนุนจากหน่วยงานภายใน และภายนอก บทบาทของผู้นำชุมชน และ ด้านการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย ทั้งนี้จากการจัดลำดับความสำคัญด้วย Pairwise Ranking พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จในระดับมาก มี 3 ปัจจัย คือ บทบาทของผู้นำชุมชน ค่าคะแนนเฉลี่ย 5.6 คะแนน ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.8 คะแนน และ การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.8 คะแนน (ตารางที่ 1) โดยแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จ

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จ	คะแนนต่ำสุด	คะแนนสูงสุด	คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลความ
	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation	
1. บทบาทของผู้นำชุมชน	1	7	1,851	5.6	1.7	มาก
2. ความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะมูลฝอย	1	7	1,601	4.8	1.7	มาก
3. การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย	1	7	1,589	4.8	1.7	มาก
4. ทักษะเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย	1	7	1,372	4.1	1.7	ปานกลาง
5. การประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย	1	7	976	3.0	1.6	ปานกลาง
6. การได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานภายใน และภายนอก	1	7	682	2.1	1.7	น้อย

### 2.1 บทบาทของผู้นำชุมชน

บทบาทของผู้นำชุมชน เป็นปัจจัยที่ทำให้การดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนประสบความสำเร็จ จากการศึกษาพบว่า โดยกลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับลักษณะชุมชน ลำดับแรก คือ มีความซื่อสัตย์สุจริตมากที่สุด คะแนนเฉลี่ย 7.5 รองลงมา ได้แก่ มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี และสร้างความสามัคคีในชุมชน มีคะแนนเฉลี่ย 7.0 และลำดับที่ 3 คือ มีความยุติธรรม คะแนนเฉลี่ย 6.4 ซึ่งคุณลักษณะทั้ง 3 อย่างนี้ เป็นคุณลักษณะของการเป็นผู้นำที่ดีที่จะทำให้สมาชิกในชุมชนเกิดความศรัทธา เชื่อใจ ไว้วางใจ และร่วมทำงานให้บรรลุเป้าหมาย การดำเนินงานต่าง ๆ ประสบผลสำเร็จ และผลการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องการศึกษาก่อน (ธงชัยและชัยยศ, 2522) ได้กล่าวไว้ว่า คุณลักษณะของผู้นำที่มีประสิทธิภาพสูงมักจะต้อง มีความยุติธรรม และเป็นผู้มี ความซื่อสัตย์สูง นอกจากนี้ (กวี, 2538) ที่สรุปลักษณะที่ดีของผู้นำคือ มีความซื่อสัตย์สุจริตใจ สร้างความสามัคคี ส่วนลักษณะผู้นำที่กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญน้อย ได้แก่ ความเฉลียวฉลาด คะแนนเฉลี่ย 1.5 การมีวิสัยทัศน์ที่กว้างไกล คะแนนเฉลี่ย 1.8 และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คะแนนเฉลี่ย 2.8 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของผู้นำชุมชนในการจัดการขยะมูลฝอย

คุณลักษณะของผู้นำชุมชน	คะแนน ต่ำสุด Minimum	คะแนน สูงสุด Maximum	คะแนน รวม (Sum)	คะแนน เฉลี่ย Mean	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน Std. Deviation	แปลความ
1. มีวิสัยทัศน์ที่กว้างไกล	0	8	585	1.8	1.4	น้อย
2. มีความเฉลียวฉลาด	0	8	506	1.5	1.5	น้อย
3. มีความกระตือรือร้นในหน้าที่การงาน	1	9	1,230	3.7	1.9	ปานกลาง
4. มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	0	8	935	2.8	1.6	น้อย
5. มีความรับผิดชอบ	2	9	1,825	5.5	1.7	ปานกลาง
6. มีความอดทน มุ่งมั่นที่จะสร้างผลงาน	0	9	1,646	5.0	1.6	ปานกลาง
7. มีความสามารถในการตัดสินใจ	0	9	1,261	3.8	2.0	ปานกลาง
8. มีความยุติธรรม	0	9	2,161	6.4	2.0	มาก
9. มีความซื่อสัตย์สุจริต	2	9	2,496	7.5	1.4	มาก
10. มนุษยสัมพันธ์ สร้างความสามัคคี	0	9	2,306	7.0	2.2	มาก

## 2.2 ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย

ความรู้ในการจัดการขยะมูลฝอยเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยในระดับมาก โดยผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ มีระดับความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยในภาพรวมระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 95.5 และร้อยละ 4.5 มีความรู้ระดับสูง โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีความรู้เกี่ยวกับขยะมูลฝอย ในด้านความหมายขยะมูลฝอยและความหมายของขยะรีไซเคิล รองลงมา คือ ความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ดีที่สุด คือ เริ่มต้นจากครัวเรือน ร้อยละ 99.1 ในประเด็นที่มีความรู้ความเข้าใจน้อยที่สุด คือ ความรู้ด้านการคัดแยกขยะอันตรายก่อนทิ้ง ร้อยละ 45.5 ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ด้านการคัดแยกขยะอันตรายน้อย อาจมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ด้านการจัดการขยะอันตรายยังไม่เพียงพอ อีกทั้งการคัดแยกขยะอันตรายไม่ได้ทำเป็นประจำทุกวัน หากมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาให้ความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับการจัดการ ขยะมูลฝอย ทั้ง 4 ประเภท อย่างต่อเนื่อง อาจจะทำให้กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น มีการคัดแยกขยะมูลฝอย ทั้ง 4 ประเภท อย่างถูกต้อง เมื่อก่อนกลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยมากขึ้น จะส่งผลให้มีพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ (เอกรินทร์, 2553) ที่พบว่า ความรู้การจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในเขตเทศบาลตำบลจันทบุรี อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอย



### 2.3 การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย

การศึกษาการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบการมีส่วนร่วม ทั้งสิ้นจำนวน 5 ด้าน โดยสรุปผลดังนี้

1) ด้านการมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) ในภาพรวมพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 56.3 โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมมาก คือ การเข้าร่วมการประชุมประชาคม เพื่อพิจารณาหาสาเหตุของปัญหาขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชน คิดเป็นร้อยละ 46.4

2) ด้านการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ (Decision Making) ในภาพรวมพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ (Decision Making) ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 52.7 โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมมาก คือ การมีส่วนร่วมในการทำข้อตกลง หรือกฎระเบียบของชุมชนในการจัดการขยะมูลฝอย คิดเป็นร้อยละ 50.0 รองลงมา คือ การมีส่วนร่วมในการคัดเลือกคณะกรรมการ/คณะทำงาน ด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน คิดเป็นร้อยละ 49.1

3) ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมแก้ไขปัญหา (Implementation) ในภาพรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการมีส่วนร่วมในการดำเนินการแก้ไขปัญหา (Implementation) ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 71.1 โดยพบว่า กิจกรรมที่กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมในระดับมาก ได้แก่ การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย ทั้ง 4 ประเภท (ขยะอินทรีย์ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย) คิดเป็นร้อยละ 53.6 รองลงมา คือ การมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมกิจกรรมด้านการคัดแยกแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เช่น จุดคัดแยกขยะรีไซเคิลประจำครัวเรือน ธนาคาร ตลาดนัดขยะรีไซเคิล คิดเป็นร้อยละ 50.9 เมื่อจำแนกกิจกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยทั้ง 4 ประเภทในชุมชนเป้าหมาย ที่ผ่านมาได้มีการดำเนินกิจกรรมทั้งสิ้น 8 กิจกรรม ได้แก่ 1) กิจกรรมธนาคารขยะรีไซเคิล 2) กิจกรรมการคัดแยกขยะรีไซเคิล (ขายเองให้รถ/ร้านรับซื้อวัสดุรีไซเคิล) 3) กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์จากเศษวัสดุเหลือใช้ 4) กิจกรรมปุ๋ยหมักชีวภาพ 5) กิจกรรมน้ำหมักชีวภาพ 6) กิจกรรมขยะอันตรายแลกไข่ 7) กิจกรรมบริจาคขยะรีไซเคิล (เพื่อใช้ในการพัฒนาชุมชน) และ 8) กิจกรรมเศษอาหารนำไปเลี้ยงสัตว์ โดยแต่ละกิจกรรมมีสัดส่วนของผู้เข้าร่วมคิดเป็นร้อยละ 37.7, 62.3, 25.3, 30.4, 33.7, 12.3, 31.9 และ 30.4 ตามลำดับ

4) ด้านการมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์ (Benefits) ในภาพรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์ (Benefits) ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 53.3 โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมมาก คือ การมีส่วนร่วมทำให้ชุมชนมีความสะอาดเรียบร้อย ลดมลพิษมีภูมิทัศน์ที่สวยงาม คิดเป็นร้อยละ 40.7 รองลงมา คือ การมีรายได้จากการขายขยะรีไซเคิลของชุมชน หรือจากครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 40.4

5) ด้านการมีส่วนร่วมในการประเมินผล (Evaluation) ในภาพรวมพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการมีส่วนร่วมในการประเมินผล (Evaluation) ระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 51.8 โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมปานกลาง คือ การมีส่วนร่วมในการแจ้งให้สำนักงานเขตทราบ เมื่อพบถังขยะของสำนักงานเขตชำรุดหรือไม่เพียงพอต่อการใช้งาน คิดเป็นร้อยละ 48.2 รองลงมา คือ การมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นหรือเสนอแนะในการจัดการขยะมูลฝอยสำนักงานเขต ให้สำนักงานเขตทราบ คิดเป็นร้อยละ 47.3 เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการมีส่วนร่วมใน ด้านการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) ด้านการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ (Decision Making) ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินการแก้ไขปัญหา (Implementation) ด้านการมีส่วนร่วม

ร่วมในการรับผลประโยชน์ (Benefits) และด้านการมีส่วนร่วมในการประเมินผล (Evaluation) อยู่ในระดับมาก ยกเว้นด้านการมีส่วนร่วมในการประเมินผล (Evaluation) ที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีส่วนร่วมอยู่ในระดับปานกลาง

จากทั้ง 3 ปัจจัยที่กล่าวข้างต้น ได้แก่ บทบาทของผู้นำชุมชน ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย และการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (กิตติ, 2559) ที่พบว่า ปัจจัยที่ทำให้การจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนประสบความสำเร็จ ได้แก่ ผู้นำชุมชน มีความเข้มแข็ง และอุทิศตนให้ชุมชน วิธีการจัดการขยะมูลฝอยและการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนและเครือข่ายภายนอก นอกจากนี้ (ชุตินาและคณะ, 2554) ที่พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของประชาชนและแนวทางในการพัฒนาการบริหารจัดการมูลฝอยชุมชนในเขตเทศบาลนคร สมุทรปราการ คือ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย ทักษะคิด และความยินดีเข้าร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย (ปัทมาภรณ์ และสรวิญญา, 2559) พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลให้การจัดการประสบความสำเร็จ คือการมีส่วนร่วมของประชาชน การมีผู้นำชุมชนที่เข้มแข็ง และผลงานวิจัยของ (พันจำโทอนุสร, 2557) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จต่อการบริหารจัดการขยะมูลฝอย ได้แก่ การมีผู้นำและคณะกรรมการที่เข้มแข็ง การมีส่วนร่วมจากกลุ่มพลังต่าง ๆ ในชุมชน และ (รณัน, 2560) ได้ศึกษาแนวทางและมาตรการในการจัดการคัดแยกขยะของประเทศเยอรมนี ญี่ปุ่น และสิงคโปร์ ซึ่งเป็นประเทศต้นแบบที่มีการบริหารจัดการด้านขยะที่ดี มีการคัดแยกขยะที่ต้นทางของภาคครัวเรือน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการประชาสัมพันธ์และให้ความรู้ หรือมีการสื่อสารและให้องค์ความรู้ที่ชัดเจน โดยสถานที่ทิ้งขยะของประเทศต้นแบบในแต่ละพื้นที่มีการจัดทำคู่มือในระดับสำหรับแต่ละครัวเรือน ถึงวิธีการจัดการขยะตั้งแต่การคัดแยกที่ต้นทางจนถึงสถานที่ทิ้งขยะแต่ละประเภท มีการสื่อสารโดยใช้เอกสารที่ชัดเจนเข้าถึงในระดับครัวเรือน วันและเวลาที่ทิ้งขยะแต่ละประเภท และรถขยะจะมาเก็บขยะวันใดบ้าง เป็นขยะประเภทใดส่งผลให้สามารถนำคัดแยกและนำขยะกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงวิธีการจัดการขยะที่เหมาะสม ก็จะช่วยให้เกิดความต่อเนื่องจนเป็นความเคยชินในการคัดแยกขยะ ณ แหล่งกำเนิดได้ นอกจากนี้ การปลูกจิตสำนึกให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย จะทำให้การจัดการขยะมูลฝอยประสบความสำเร็จ

## สรุป

กิจกรรมในการดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน ทั้ง 9 แห่ง ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีการดำเนินกิจกรรมที่เหมือนกัน และมีบางกิจกรรมที่ทำเฉพาะบางชุมชน โดยได้รวบรวมกิจกรรมที่ชุมชนดำเนินงานจำนวนทั้งสิ้น 8 กิจกรรม ได้แก่ 1) กิจกรรมธนาคารขยะรีไซเคิล 2) กิจกรรมการคัดแยกขยะรีไซเคิล (ขายเอง/ให้รถ/ร้านรับซื้อวัสดุรีไซเคิล) 3) กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์จากเศษวัสดุเหลือใช้ 4) กิจกรรมปุ๋ยหมักชีวภาพ 5) กิจกรรมน้ำหมักชีวภาพ 6) กิจกรรมขยะอันตรายแยกไซ้ 7) กิจกรรมบริจาคขยะรีไซเคิล (เพื่อใช้ในการพัฒนาชุมชน) และ 8) กิจกรรมเศษอาหารนำไปเลี้ยงสัตว์ โดยลักษณะกิจกรรมในการดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอย ที่ชุมชนเข้าร่วมมากที่สุด คือ กิจกรรมคัดแยกขยะรีไซเคิล (ขายเอง/ให้รถ/ร้านรับซื้อวัสดุรีไซเคิล) รองลงมา คือ กิจกรรมธนาคารขยะรีไซเคิล และกิจกรรมที่กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมน้อยที่สุด คือ กิจกรรมขยะอันตรายแยกไซ้ สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้การดำเนินการด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนประสบความสำเร็จในระดับมาก มี 3 ปัจจัย ได้แก่ บทบาทของผู้นำชุมชน ความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะมูลฝอย และการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย

## เอกสารอ้างอิง

- กวี วงศ์พัฒน์. (2539). ภาวะผู้นำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาชีพบัญชี. กรุงเทพฯ
- กิตติ มีศิริ. (2559). ปัจจัยแห่งความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยโดยชุมชน : กรณีศึกษาชุมชนเกตุไพเราะ 3,4,5 เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร. การศึกษาค้นคว้าอิสระ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. หน้า 36-37
- คลังบ้านดอทคอม. (2560). แผนที่แบ่งโซนกรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา : <https://new.klungbaan.com/bangkok/>
- ชุติมา ตู้นาราง บุญจง ขาวสิทธิวิงษ์ และกานตพันธ์ พิศาลสุขสกุล. (2554). ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของประชาชนและแนวทางในการพัฒนาการบริหารจัดการมูลฝอยชุมชนในเขตเทศบาลนครสมุทรปราการ. การศึกษาค้นคว้าอิสระ ปริญญาโท, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- ธงชัย สันติวงษ์ และ ชัยยศ สันติวงษ์. (2522). พฤติกรรมของบุคคลในองค์กร. ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ
- ปัทมาภรณ์ สุวรรณปักชิน และสรวิญญา ถีป้อม. (2559). การศึกษาการจัดการมูลฝอยที่ประสบความสำเร็จของชุมชนต้นแบบ กรณีศึกษาชุมชนที่ได้รับรางวัลชนะเลิศการประกวดชุมชนปลอดขยะ Zero Waste ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 9(2) : หน้า 35 – 48
- พันจำไทอนุสร คำวัง. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของการบริหารจัดการขยะมูลฝอยด้วยชุมชน : กรณีศึกษาบ้านวังซ้อง ตำบลถ้ำทอง อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน. การศึกษาค้นคว้า อิสระปริญญาโท มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย
- มัทนา กิสลีย์. (2553). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองภูเก็ต , วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบัน บัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รณัน จุลชาติ. (2560). แนวทางการจัดการและปลูกจิตสำนึกของคณเมือง ในการคัดแยกขยะ. นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร หลักสูตรการป้องกันราชอาณาจักร รุ่นที่ ๖๐ ประจำปีการศึกษา พุทธศักราช ๒๕๖๐-๒๕๖๑. กรุงเทพฯ
- สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. (2558). แผนการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558 – 2562. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ . หน้า 6
- เอกนรินทร์ กลิ่นหอม. (2553). ความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในเขตเทศบาลตำบลจันจว้า อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. เชียงราย
- Gay,K., Stubbs,E., & Galindo-Gonzalez, S. (2016). Matrix Ranking: A Tool for Decision-Making and Prioritization. AEC577. Department of Agricultural Education and Communication, UF/IFAS Extension, Gainesville, University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/wc/wc23900.pdf>.
- Yamane, T. (1973). Statistics: An Introductory Analysis. 3<sup>rd</sup> ed. Harper and Row, New York.

# การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนและระบุตำแหน่งในการติดตามการใช้งาน เลื่อยโซ่ยนต์

## The Application of Vibration Sensor and Position Tracking the use of Chainsaws

เกียรติศักดิ์ บุญเดช<sup>1</sup> นพรัตน์ คัคคุริวาระ<sup>2</sup> และ ศุภกิตต์ สายสุนทร<sup>3</sup>

Kiattisak Bundel<sup>1</sup> Nopparat Kaakurivaara<sup>2</sup> and Supakit Sayasoonthorn<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

การใช้ประโยชน์จากไม้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันจะมีทั้งแบบจัดการอย่างถูกต้อง และการลักลอบใช้ประโยชน์จนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการล้มไม้คือ “เลื่อยโซ่ยนต์” เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยผ่อนแรงได้ดี จึงมีการออกกฎหมายมาควบคุม ถึงกระนั้นก็ยังมีการลักลอบใช้งานอยู่ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานที่ผิดวิธีซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตราย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์เพื่อตรวจสอบท่าทางการทำงาน แรงสั่นสะเทือนจากการทำงาน และพื้นที่ในการใช้งาน โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เป็นตัวควบคุมเซนเซอร์และโมดูลต่าง ๆ ให้ทำงาน ได้แก่ Rocker Switch ใช้ควบคุมการเปิดปิดเซนเซอร์ หลอด LED RGB ใช้บอกสถานะการทำงาน GPS Module เป็นตัวที่รับสัญญาณการระบุตำแหน่ง 3-axis accelerometer sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงสั่นสะเทือนและความเอียง 3 แกน Micro SD Card Module ใช้บันทึกข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนคำสั่ง ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ ได้แก่ Latitude Longitude วัน/เดือน/ปี เวลา ความเร็ว(Km/h) ค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียง 3 แกน โดยสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการสวนป่า เช่น การวางแผนการทำไม้ การวิเคราะห์ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในเรื่องการตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของไม้หรือประยุกต์ใช้กับงานด้านการเฝ้าระวังป้องกันการบุกรุกป่าและการลักลอบตัดไม้ในพื้นที่ป่าไม้ได้

**คำสำคัญ :** การตรวจสอบย้อนกลับ,ระบบติดตาม,เลื่อยโซ่ยนต์,แรงสั่นสะเทือน,ไมโครคอนโทรลเลอร์

### Abstract

The most popular tools for free felling is "Chain saw" because it is convince, versatile, easy to purchase and maintenance. However, sometimes chainsaw is misused for deforestation and illegal logging. Therefore, a tracking device of chainsaw is expected to attached with chainsaw in order to detect the movement, vibration, and sensoring to record working position, this idea would facilitate the traceability of timber products. The device applies ESP8266 microcontroller board as a sensor controller and various modules to operate, such as Rocker Switch to control the sensor turn on, RGB LED is applied

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>3</sup> ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

to inform the working status, GPS tracker is used to receive the positioning signal, 3-axis accelerometer sensor is a sensor that measures vibration and tilt 3-axis, Micro SD Card Module is applied to record device operation information. The Arduino IDE program is used for commands coding. Data which obtained from the device include Latitude Longitude, day / month / year, time, speed (Km/h), vibration force and 3-axis tilt. The data can be used for analysis and planning for forest management, such as logging operation and analysis in Geographic Information System (GIS), etc.

**Keyword : Traceability, GPS Tracking, Chainsaw, Vibration, Microcontroller**

## บทนำ

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการใช้ประโยชน์จากเนื้อไม้มาโดยตลอด ทั้งในลักษณะที่มีการควบคุมจัดการที่ดีโดยใช้รูปแบบของสวนป่าในพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต หรือการใช้ประโยชน์อย่างผิดกฎหมายโดยการลักลอบตัดไม้ในพื้นที่คุ้มครอง ซึ่งการลักลอบใช้ประโยชน์โดยไร้การควบคุมจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา ทั้งการลดลงของพื้นที่ป่าธรรมชาติ ไม่มีค่าบางชนิดมีความเสี่ยงที่จะหายไปจากพื้นที่นั้น โดยเครื่องมือที่ใช้ประกอบการกระทำผิดเกี่ยวกับการตัดไม้ที่ตรวจพบส่วนใหญ่คือ “เลื่อยโซ่ยนต์” เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยผ่อนแรงได้ดี มีความเร็วในการตัดกว่าเลื่อยธรรมดา 17 เท่า และสามารถตัดไม้ได้ยาวกว่าความยาวแผ่นบังคับโซ่ 2 เท่า (สำนักการอนุรักษ์กรมป่าไม้, 2557) นอกจากนี้ยังมีขนาดที่สามารถยกเคลื่อนย้ายหรือใช้งานได้เพียงคนเดียว จึงทำให้ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นทางหน่วยงานราชการจึงได้มีการออกกฎหมาย “พระราชบัญญัติเลื่อยโซ่ยนต์ พ.ศ. 2545” มาเพื่อควบคุมการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์คือ ห้ามมิให้ผู้ใดมี ผลิต หรือนำเข้าเลื่อยโซ่ยนต์ เว้นแต่จะได้รับใบอนุญาตจากนายทะเบียนเลื่อยโซ่ยนต์ (ราชกิจจานุเบกษา, 2554) หลังจากที่มีการออกกฎหมายเลื่อยโซ่ยนต์ก็ยังคงมีการกระทำผิดเกี่ยวกับการลักลอบตัดไม้ การใช้เลื่อยโซ่ยนต์ที่ไม่ได้รับอนุญาต และการลักลอบใช้งานนอกพื้นที่ที่ทำการลงทะเบียนไว้ เนื่องจากเลื่อยโซ่ยนต์มีขนาดเล็กสามารถซ่อนเร้นจากการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ได้ง่าย อีกทั้งกำลังของเจ้าหน้าที่ยังมีไม่เพียงพอในการตรวจสอบ

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบแรงสั่นสะเทือนจากการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์จากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือน มาใช้งานร่วมกับระบบระบุตำแหน่งเพื่อใช้ในการติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ ทำให้ทราบตำแหน่งของเลื่อยโซ่ยนต์ขณะใช้งาน ช่วยในเรื่องการตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของไม้ เป็นการช่วยลดปัญหาการให้งานเลื่อยโซ่ยนต์อย่างผิดกฎหมาย ซึ่งจะส่งผลให้มีการล้มไม้อย่างถูกต้อง ซึ่งในต่างประเทศได้มีการใช้ประโยชน์จากแรงสั่นสะเทือน 3 แกน และการระบุตำแหน่งด้วย GNSS ในการประเมินผลผลิตและประสิทธิภาพการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของป่าไม้แม่นยำ (Precision Forestry) (Gallo et al., 2017) โดยเบื้องต้นจะทำการศึกษากับเลื่อยโซ่ยนต์ที่มีการใช้งานในสวนป่า ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลค่าแรงสั่นสะเทือนในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งการเคลื่อนย้าย การสตาร์ทเครื่องยนต์ การใช้งานตัดไม้ นำข้อมูลไปเขียนโค้ดคำสั่งให้อุปกรณ์สามารถติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ได้ เพื่อเป็นการติดตามการทำงานของคนงานล้มไม้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีทั้งลักษณะการทำงานต่าง ๆ เช่น เวลาการทำงาน จำนวนต้นไม้ เป็นต้น และค่าพิกัดของตำแหน่งที่ทำงานนั้น ๆ ซึ่งสามารถนำข้อมูลในส่วนนี้ไปวิเคราะห์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการสวนป่าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของการยืนยันสิทธิหรือระบุแหล่งที่มาของต้นไม้ได้ เป็นการตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของไม้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการรับรองมาตรฐานการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน

และยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานด้านการป้องกันพื้นที่คุ้มครองโดยใช้แผงรังป้องกันการบุกรุกป่าและการลักลอบตัดไม้ในพื้นที่ป่าไม้ต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ติดตามการใช้งานของเลื่อยโซ่ยนต์
2. เพื่อทดสอบและประเมินผลการทำงานของอุปกรณ์ติดตามการใช้งานของเลื่อยโซ่ยนต์

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. บอร์ด NodeMCU ESP8266
2. เซนเซอร์และโมดูลต่าง ๆ (LED RGB, 3-axis accelerometer sensor, Rocker Switch , Micro Sd Card Module, GPS Module)
3. ซอฟต์แวร์ Arduino IDE และ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
4. คอมพิวเตอร์
5. เลื่อยโซ่ยนต์ Stihl MS180

### วิธีการ

1. ศึกษาการทำงานของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ โดยซอฟต์แวร์จะทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นโปรแกรมของ Arduino ที่เปิดให้ใช้งานฟรี ใช้ภาษา C และ C++ ในการเขียนโค้ดคำสั่ง (จิราวุธ, 2562) โดยโปรแกรมจะแบ่งโครงสร้างหลักได้ 3 ส่วนคือ Header เป็นส่วนเรียกใช้ฟังก์ชันหรือตัวแปรจากไฟล์ Library การประกาศตัวแปร และค่าคงที่ต่าง ๆ ส่วน void setup() เป็นฟังก์ชันที่จะทำงานเพียงครั้งเดียวตอนเปิดอุปกรณ์หรือตอนกดรีเซ็ต void loop() จะทำงานแบบวนซ้ำจนกว่าจะมีคำสั่งให้ออกจาก loop หรือมีการปิดอุปกรณ์หรือตอนกดรีเซ็ต (ภาสกร, 2562) ส่วนฮาร์ดแวร์ ทำการศึกษาหลักการทำงานของบอร์ดที่เป็นส่วนควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และเซนเซอร์แต่ละชิ้น ทั้งตำแหน่งการต่อขาต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แรงดันไฟฟ้าที่บอร์ดและเซนเซอร์สามารถรับได้ เป็นต้น

2. ศึกษาการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ในการล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน โดยทำการศึกษาลักษณะของเลื่อยโซ่ยนต์ที่ใช้ในการล้มไม้ ทั้งรูปร่างของเลื่อยโซ่ยนต์ ขนาด น้ำหนัก ระบบความปลอดภัยของเลื่อย รวมถึงลักษณะการใช้งานล้มไม้ของคนงาน เช่น ตำแหน่งการจับเลื่อย ลักษณะการทำงาน เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบลักษณะของอุปกรณ์ และตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์บนเลื่อยโซ่ยนต์

3. ทำการต่อ 3-axis accelerometer sensor, GPS Module, Rocker Switch และ LED RGB เข้ากับ NodeMCU ESP8266 หลังจากนั้นทำการเขียนโค้ดคำสั่งให้เซนเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือนทำงานสัมพันธ์กับเซนเซอร์วัดการเอียงและเซนเซอร์ GPS ระบบระบุตำแหน่ง ดังภาพที่ 1

4. ในการเขียนคำสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน จะเริ่มเมื่อมีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ให้กดปุ่ม Reset 1 ครั้งเพื่อให้บอร์ดพร้อมทำงาน และเชื่อมต่อไฟ ถ้าตัวบอร์ดพร้อมทำงานจะมีไฟ LED สีน้ำเงินกะพริบที่ตัวบอร์ด หลังจากนั้นให้เปิด Switch ของ GPS และ 3-axis accelerometer sensor เพื่อเป็นการอ่านค่าและบันทึกค่า ตำแหน่ง

แรงสั่นสะเทือน ความเอียง ลงใน SD Card และรายงานผลแบบ real time ไปยังแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน หลังจากล้มไม้เสร็จให้ปิด Switch ของ GPS เพื่อให้หยุดบันทึกค่าลง SD Card เพื่อให้ได้ตำแหน่งการล้มไม้ที่แม่นยำขึ้น หลังจากนั้นให้ทำการติดตั้งตัดทอนต่อเพื่อทำการบันทึกค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียงจากการทำงานเพียงอย่างเดียว หลังจากติดตั้งตัดทอนเสร็จให้ปิด Switch ของ 3-axis accelerometer sensor เพื่อให้หยุดการบันทึกค่าลง SD Card เป็นการเสร็จการทำงาน 1 ต้น ดังภาพที่ 2

5. ทดสอบภาพรวมของระบบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ เช่นเซอร์ต่าง ๆ ทำงานได้ตามที่เขียนโค้ดคำสั่ง ทั้งการสั่น การเอียง และ พิกัด อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อรายงานข้อมูลแบบ real time และบันทึกข้อมูลลงใน Micro Sd Card โดยส่วนนี้จะทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ

6. ทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งด้วย GPS ของอุปกรณ์ โดยเปรียบเทียบหาระยะความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง โดยจะทดสอบเปรียบเทียบค่าพิกัดกับหมุดหลักฐานอ้างอิงของกรมชลประทานทั้งหมด 4 หมุด ในหนึ่งหมุดจะเก็บ 3 ช่วงเวลา คือ เช้า กลางวัน เย็น โดยทำการเก็บพิกัดจุดละ 10 นาที โดยอุปกรณ์จะบันทึกข้อมูล 1 ค่าต่อ 1 วินาที

7. เก็บข้อมูลการบันทึกค่าแรงสั่นสะเทือนและค่าการเอียงในการใช้งานเสื่อยโซ่ยนต์ที่สัมพันธ์กับรูปแบบการทำงานล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน

## ผลและวิจารณ์

1. จากการศึกษาลักษณะของเสื่อยโซ่ยนต์และการทำงานของคณงานล้มไม้ ทำให้ได้ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณด้ามจับซึ่งเป็นจุดที่คณงานจะได้รับแรงสั่นสะเทือนจากการทำงานโดยตรง ในการติดตั้งจะมีการใช้เหล็กเสริมขึ้นมาเพื่อความแข็งแรงและสะดวกในการติดตั้ง ดังภาพที่ 3 โดยบริเวณนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบความปลอดภัยของเสื่อยโซ่ยนต์ และการทำงานของคณงานล้มไม้

2. ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เบื้องต้นจากการเขียนคำสั่งการทำงานพบว่า อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามคำสั่ง และสามารถบันทึกค่าจากการทำงานลง SD Card ได้ปกติ ค่าที่ได้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ จาก GPS Module ได้แก่ ค่าพิกัด Latitude Longitude, วัน/เดือน/ปี , เวลา , ความเร็ว (km/h) และจาก 3-axis accelerometer sensor ได้แก่ ความเอียงแกน X Z Y แรงสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่งแกน X Y Z ตามลำดับ ดังภาพที่ 4 โดยจะมี Switch ควบคุมการเปิดปิดเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวขณะทำงาน โดยกรณี GPS ไม่มีสัญญาณ หรือ ปิด Switch GPS ในส่วนที่รับค่ามาจาก GPS ได้แก่ Lat Long , วันที่ , เวลา จะแสดงเป็น No GPS และจะมีไฟ LED สีแดงกะพริบเตือนผู้ใช้งาน และถ้าปิด Switch 3-axis ค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียงทุกค่าจะแสดงเป็น -1 เพื่อเป็นการแยกขั้นตอนการทำงาน ล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน ทำให้ง่ายในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อ

3. การแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน จะเป็นการแสดงถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ และค่าแรงสั่นสะเทือนจากการใช้งานในรูปแบบของกราฟ ได้ real time ซึ่งจะแสดงได้ทั้งแบบ Live 15 นาที 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 3 เดือน ดังภาพที่ 5 เพื่อสามารถตรวจสอบการทำงานของต้นงานล้มไม้ได้ตลอดเวลา และสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้

4. จากการศึกษาความถูกต้องของการระบุตำแหน่งด้วย GPS ของอุปกรณ์ พบว่ามีค่าพิกัดจำนวนมาก และมีการซ้ำกันของข้อมูล ดังนั้นจะใช้นิยามโดยการเลือกค่าที่ซ้ำกันมากที่สุดมา 1 ค่าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับหมุดอ้างอิง โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลระยะความคลาดเคลื่อนทาง

ตำแหน่งของอุปกรณ์ คือ 0.6 ถึง 3.6 เมตร โดยขึ้นอยู่กับสิ่งปกคลุมบนท้องฟ้า เช่น เมฆ เรือนยอดต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งถ้ามีสิ่งปกคลุมน้อยความถูกต้องจะสูงขึ้น

5. การทดสอบวัดค่าแรงสั่นสะเทือนและค่าความเอียงในการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบของกราฟ ดังภาพที่ 6 โดยแกน y จะเป็นค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียง แกน x จะเป็นช่วงการทำงาน ในเบื้องต้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับรูปแบบการทำงาน ดังนี้ ค่าแกน x ที่ช่วง 1-11 คือ การวางเลื่อยกับพื้น ค่าแกน x ช่วง 13-25 เป็นการถือเลื่อยเดินไปยังตำแหน่งที่ต้องการล้มไม้ ค่าแกน x ช่วง 26-37 เป็นการเตรียมความพร้อมและตรวจสอบระบบความปลอดภัยก่อนสตาร์ทเลื่อยยนต์ ค่าแกน x ช่วง 39-153 เป็นการสตาร์ทเครื่องทำงาน ล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน และค่าแกน x ตั้งแต่ 154 เป็นการหยุดทำงานโดยการ ปิด Switch 3-axis

## สรุปผล

จากผลการศึกษา ทำให้ได้อุปกรณ์ที่สามารถติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ได้ โดยการทำงานจะระบุตำแหน่งการใช้งาน การตรวจวัดค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียง และการรายงานผลแบบ real time ไปยังแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟนได้สำเร็จ จากการทดสอบและประเมินผลการทำงานของอุปกรณ์ในเบื้องต้นพบว่าระยะความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 3.6 เมตร และจากการทดสอบวัดค่าแรงสั่นสะเทือนและค่าการเอียงที่สัมพันธ์กับรูปแบบการทำงาน พบว่า ค่าที่ได้จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในกระบวนการก่อนการสตาร์ทเลื่อยยนต์ ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้น โดยโครงการยังอยู่ในระหว่างการทำงาน สิ่งที่จะทำในขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์ค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียงในขณะที่เครื่องทำงาน เพื่อแยกแรงสั่นสะเทือนในกระบวนการ ล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน

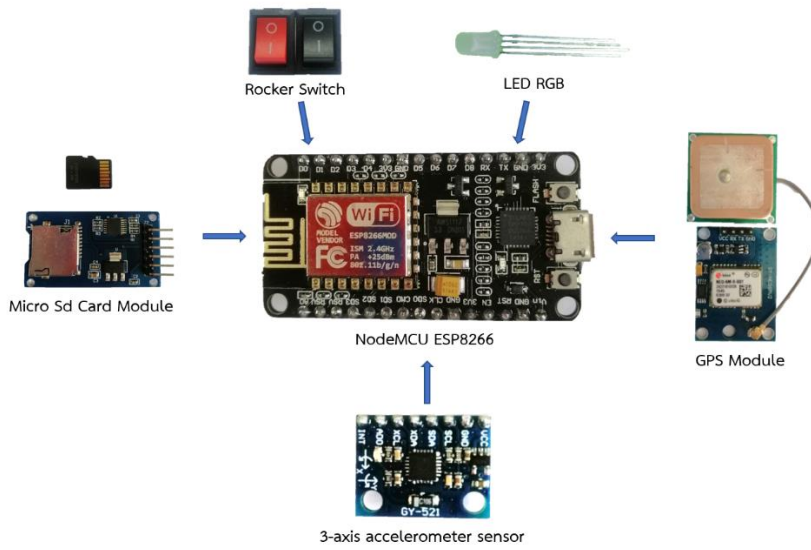
## เอกสารอ้างอิง

- จีราวุธ วารินทร์. (2562). *Arduino Uno พื้นฐานสำหรับงาน IOT* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บริษัท โปรดีไซน์ จำกัด.  
ภาสกร พาเจริญ. (2562). *พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU*. กรุงเทพฯ: บริษัท โปรวิชั่น จำกัด.  
ราชกิจจานุเบกษา. (2554). ฉบับพระราชบัญญัติ. เล่ม 119 ตอนที่ 95 ก, หน้า 4-10.  
สำนักการอนุญาตกรมป่าไม้. (2557). คู่มือการปฏิบัติ ตามพระราชบัญญัติเลื่อยโซ่ยนต์ พ.ศ. ๒๕๔๕. สืบค้น 3

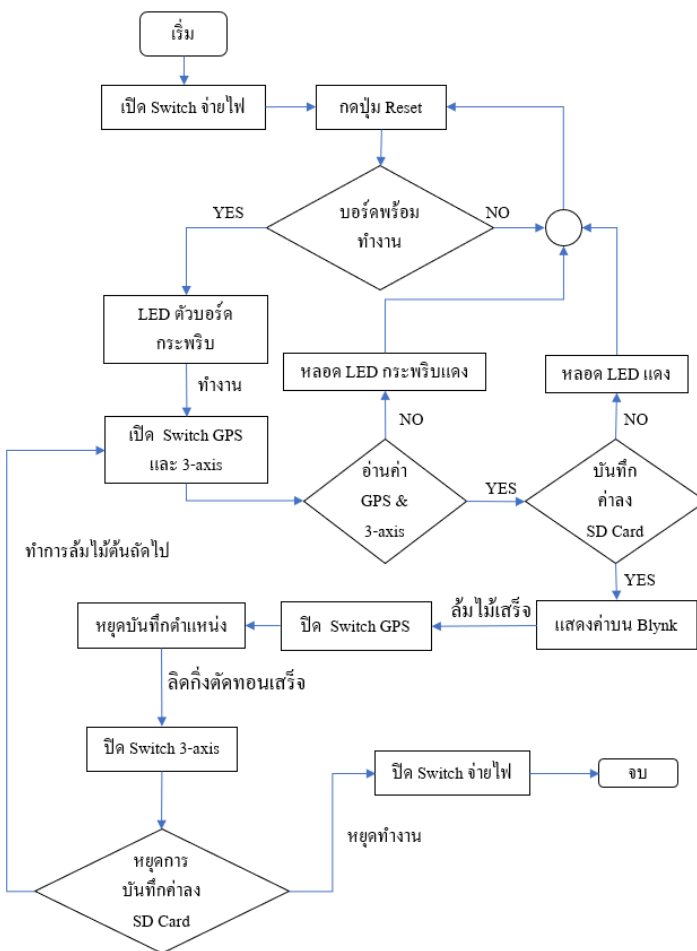
ตุลาคม 2562, จาก: <http://www.forest.go.th/chainsaw/wpcontent/uploads/sites/7/2014/07/k01.pdf>

Gallo, R., Nallia, F., Corteseb, L., Knollseisenc, D., Nogglerc, W., & Mazzettoa, F. (2017). Chainsaw vibrations, a useful parameter for the automatic tree volume estimations and production assessment of felling operations. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 58, 2283-9216. doi: 10.3303/CET1758110





ภาพที่ 1 บอร์ดและเซนเซอร์ที่ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์



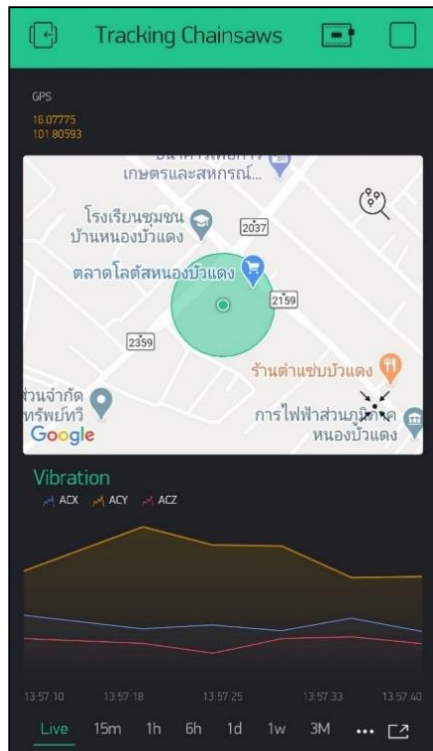
ภาพที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์



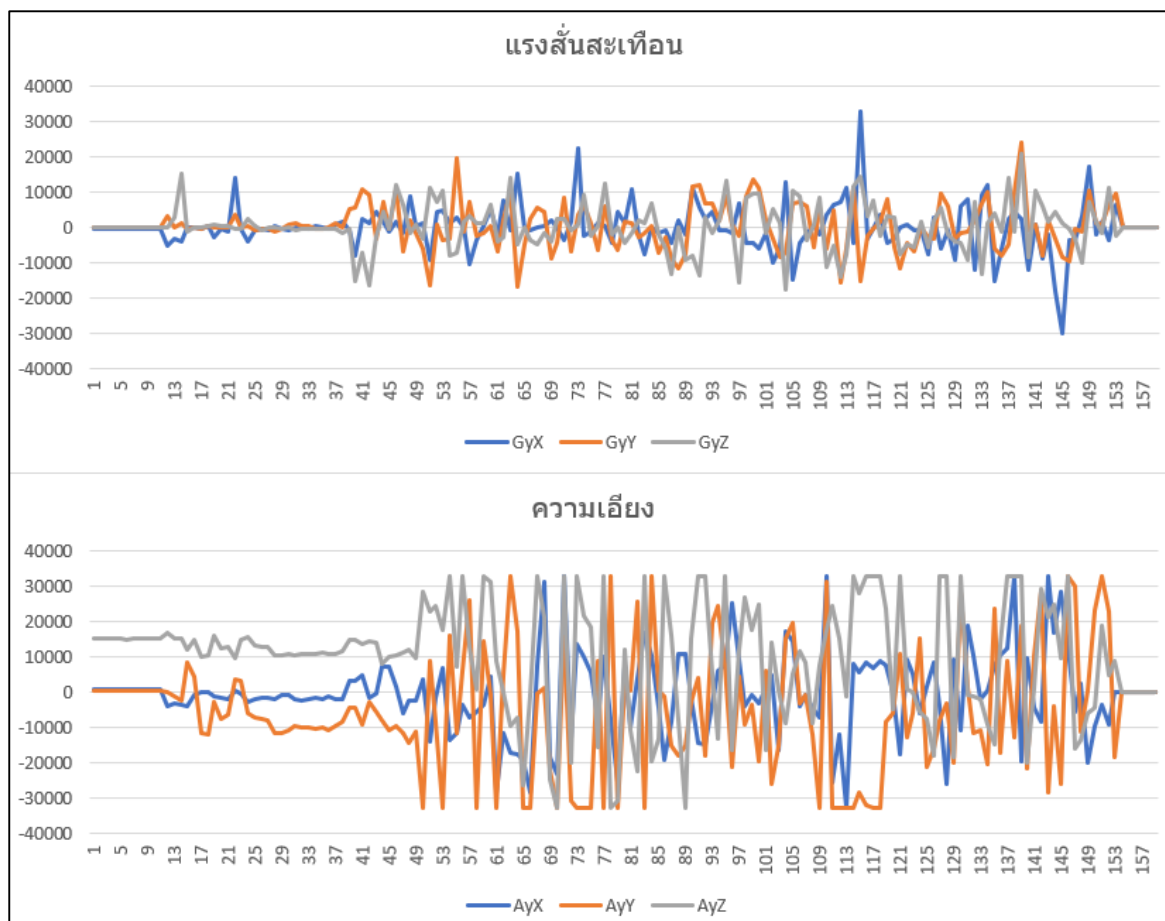
ภาพที่ 3 การตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบใช้งาน

data - Notepad														
File Edit Format View Help														
16.07786	101.80585	4/2/2020	17:8:6	0.13	AcXYZ	-112	468	-14772	Tmp	39.54	GyXYZ	-623	192	-126
16.07786	101.80585	4/2/2020	17:8:7	0.31	AcXYZ	268	608	-14556	Tmp	39.59	GyXYZ	-539	150	-52
16.07786	101.80585	4/2/2020	17:8:7	0.31	AcXYZ	312	472	-14592	Tmp	39.54	GyXYZ	-455	180	20
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:8	0.43	AcXYZ	332	552	-14408	Tmp	39.49	GyXYZ	-368	218	63
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:8	0.43	AcXYZ	436	580	-14812	Tmp	39.54	GyXYZ	-503	182	-16
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:9	0.13	AcXYZ	248	540	-14584	Tmp	39.59	GyXYZ	-505	284	61
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:9	0.13	AcXYZ	396	440	-14548	Tmp	39.49	GyXYZ	-534	339	-88
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:10	0.11	AcXYZ	216	708	-14676	Tmp	39.59	GyXYZ	-467	313	12
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:10	0.11	AcXYZ	320	732	-14640	Tmp	39.54	GyXYZ	-537	272	14
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:11	0.54	AcXYZ	308	504	-14412	Tmp	39.49	GyXYZ	-470	182	-25
16.07785	101.80584	4/2/2020	17:8:11	0.54	AcXYZ	196	696	-14528	Tmp	39.54	GyXYZ	-466	254	16
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:12	0.41	AcXYZ	440	644	-14788	Tmp	39.45	GyXYZ	-440	326	16
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:12	0.41	AcXYZ	248	520	-14756	Tmp	39.59	GyXYZ	-528	154	-15
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:13	0.39	AcXYZ	436	616	-14464	Tmp	39.54	GyXYZ	-462	271	39
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:13	0.39	AcXYZ	376	520	-14624	Tmp	39.49	GyXYZ	-509	316	-53
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:14	0.33	AcXYZ	240	752	-14684	Tmp	39.54	GyXYZ	-513	177	-14
16.07786	101.80584	4/2/2020	17:8:14	0.33	AcXYZ	304	660	-14592	Tmp	39.59	GyXYZ	-555	237	-73
16.07786	101.80583	4/2/2020	17:8:15	0.57	AcXYZ	460	548	-14468	Tmp	39.49	GyXYZ	-432	311	0
16.07786	101.80583	4/2/2020	17:8:15	0.57	AcXYZ	308	748	-14688	Tmp	39.54	GyXYZ	-445	240	73

ภาพที่ 4 ค่าที่ได้จากอุปกรณ์



ภาพที่ 5 การแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน



ภาพที่ 6 ค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียงจากการทดสอบการทำงานเบื้องต้น

# ผลของการใช้วัตถุดิบปรุงอาหารและอิมัลซิไฟเออร์ต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

## The Effect of Cooking Ingredients and Emulsifier on Surface Tension of Vegetable Oils

สิริอร มุลมณี<sup>1</sup> มาริษา ภูภิญญกุล<sup>1</sup> และ วิชชา ตรีสุวรรณ<sup>2</sup>

Siri-orn Mulmanee<sup>1</sup>, Marisa Phupinyokul<sup>1</sup> and Witcha Treesuwan<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

น้ำมันพืชเป็นส่วนประกอบอาหารหลักในครัวเรือน เช่น ใช้ในการผัด ทอด หรือใช้เป็นส่วนผสมอาหาร ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน และมีส่วนสำคัญในการประกอบอาหาร เช่น ครีม ซอส มายองเนส น้ำสลัด เป็นต้น และในการประกอบอาหารมีการใช้วัตถุดิบปรุงอาหารร่วมด้วย แต่เนื่องจากยังไม่พบรายงานการศึกษาผลของการใช้วัตถุดิบปรุงอาหารต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช จึงเป็นที่มาในการศึกษาครั้งนี้ โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้เกลือโซเดียม 0.5-2% น้ำตาลทราย 5-25% สารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3-9 และอิมัลซิไฟเออร์ 1-3% โดยน้ำมันพืชทางการค้าที่ได้จาก รำข้าว มะพร้าว ปาล์ม ดอกทานตะวัน คาโนล่า และถั่วเหลือง ผลที่ได้พบว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันมีผลต่อการลดแรงตึงผิวของน้ำมันที่ค่อนข้างน้อย เช่นเดียวกับการใช้ความเข้มข้นต่างๆ ของเกลือโซเดียมที่ส่งผลต่อการลดแรงตึงผิวค่อนข้างน้อย การใช้สารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันก็ส่งผลต่อแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน การใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงและการใช้ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง สามารถลดแรงตึงผิวในน้ำมันได้ดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น

**คำสำคัญ :** วัตถุดิบปรุงอาหาร อิมัลซิไฟเออร์ น้ำมันพืช แรงตึงผิว อาหารโมเลกุล

### Abstract

Vegetable oils, which play an important role in home cooking, are used for stir frying, frying or as ingredients in food. With dissimilar surface tensions, different types of vegetable oil are important parts in cream, sauce, mayonnaise, or salad dressing. Other ingredients are normally mixed with vegetable oil; nevertheless, investigations into the effects of cooking ingredients on vegetable oils with different surface tensions are still rare. Thus the present study has explored the effect of 0.5-2% sodium salt, 5-25% sugar, 3-9 acid-alkaline solution and 1-3% emulsifier in rice bran oil, coconut oil, palm oil, sunflower oil, canola oil and soybean oil. The results show that different concentrations of emulsifier have relatively little effects on the oil surface tension, and so do various concentrations of sodium salt. However, the use of different acid-alkaline solutions can result in different surface tensions. The use of sugar at high concentrations and in combination with an acid-alkaline solution can reduce the surface tension in oil better than other kinds of raw materials.

**Keywords:** cooking ingredients, emulsifier, vegetable oils, surface tension, molecular gastronomy

<sup>1</sup>ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>2</sup>สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10903 ประเทศไทย

## บทนำ

น้ำมันพืชเป็นส่วนสำคัญในการประกอบอาหารหลักในครัวเรือน เช่น ใช้ในการผัด ทอด หรือใช้เป็นส่วนผสมอาหาร เช่น ครีม ซอส เป็นต้น โดยทั่วไปน้ำมันพืชจะได้อาจมาจากเมล็ดพืช เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าวโพด ข้าว และจากผลของปาล์ม (Tuberoso *et al.*, 2007) เป็นต้น ซึ่งน้ำมันพืชล้วนแล้วมีลักษณะแยกชั้นระหว่างวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ เมื่อประกอบอาหารที่ใช้ไขมันเป็นส่วนผสมจึงต้องมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ เพื่อให้ส่วนผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันไม่เกิดการแยกชั้น ในอุตสาหกรรมอาหาร ร้านอาหาร ร้านเบเกอรี่ รวมไปถึงครัวเรือน มีการใช้เครื่องปรุงต่างๆ เช่น เกลือ น้ำตาล รวมถึงอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ในการประกอบอาหารซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารที่ทำหน้าที่ช่วยลดแรงตึงผิวและมีความคงตัวอาหาร

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายซึ่งกันและกัน เช่น น้ำมันและน้ำ ถ้าต้องการผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกันต้องใช้ตัวที่ทำให้เกิดอิมัลชัน นั่นคืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นตัวผสมของเหลวทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นหากมองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันแต่เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ หยดเล็กๆ ของของเหลวชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า วัฏภาคกระจายตัว (Dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจะมีวิธีในการเกิดอิมัลชันและรักษาความเสถียรของระบบที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เนย และมาร์การีน รักษาความเสถียรของระบบอิมัลชันในผลิตภัณฑ์โดยผลึกไขมันและร่างแหของผลึกและจากความหนืดของวัฏภาคต่อเนื่อง (ปาริฉัตร, 2555) ซึ่งแบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคกระจายตัวและวัฏภาคต่อเนื่องได้เป็น 2 แบบ คือ หยดน้ำมันสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion: o/w emulsion) หรือหยดน้ำในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion: w/o emulsion) (นิธิยา, 2545)

กลไกการเกิดอิมัลชัน คือการนำของเหลว 2 ชนิดที่ไม่เข้ากันมาผสมกัน ของเหลวทั้ง 2 ชนิดนั้นจะอยู่แยกกันไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันเป็นผลมาจากแรงตึงผิวของของเหลวทั้ง 2 เช่น การผสมน้ำกับน้ำมัน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมีค่าสูง จนโมเลกุลของน้ำมันไม่สามารถเข้าแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของน้ำได้ ของเหลวทั้งสองชนิดจึงไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการแยกวัฏภาคของของเหลวอย่างรวดเร็ว (ปาริฉัตร, 2555) การเกิดอิมัลชันจะไม่มีเสถียรจะเกิดเพียงแค่ชั่วคราวเท่านั้น เมื่อเวลาผ่านไปของเหลวทั้ง 2 ก็จะแยกวัฏภาคกัน (สุภัคชนม์, 2555)

เมื่อเปรียบเทียบความคงตัวของอิมัลชันมาของเนสที่เตรียมจากน้ำมันชนิดต่างๆ และพบว่าอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่ประกอบด้วยกรดไขมันโอเลอิกปริมาณสูง และน้ำมันเรพซีด สลายตัวง่ายกว่าอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เพราะอิมัลชันกลุ่มแรกมีปริมาณกรดไขมันที่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งสูง มีปริมาณผลึกไขมันมากและมีขนาดผลึกใหญ่ (Ariyaprakai and Tananuwong, 2015)

แรงตึงผิว (surface tension) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวชนิดเดียวกัน ทำให้หยดของเหลวมีผิวโค้งเพื่อให้มีพื้นที่น้อยที่สุด แรงดึงหรือความเค้นดึง (tensile stress) ที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุลของของเหลวที่เปรียบเทียบกับอากาศ จึงเรียกว่า แรงตึงผิว เป็นค่าของแรงต่อหน่วยความยาว การผสมของเหลว 2 ชนิดที่มีแรงตึงผิวแตกต่างกันมากจึงทำได้ยาก เช่น การผสมน้ำกับน้ำมัน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมีค่าสูง จนโมเลกุลของน้ำมันไม่สามารถเข้าแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของน้ำได้ ของเหลวทั้งสองชนิดจึงไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการแยกเฟสของของเหลวอย่างรวดเร็ว

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีความสามารถในการดูดซับ (adsorb) ที่บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interface) บนพื้นผิวน้ำมันและน้ำ และป้องกันการหลอมรวมกันในของหยดน้ำมันระบบอิมัลชัน โดยอิมัลซิไฟเออร์จะเป็นตัวคั่นกลางระหว่างน้ำมันและน้ำ ช่วยลดแรงตึงผิวและเป็นเสมือนเยื่อหุ้มป้องกันรอบๆ หยดน้ำมันไม่ให้หลอมรวมตัวกัน ช่วยให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากยิ่งขึ้น การเติมน้ำตาลในวิภูภาคน้ำมันมีส่วนช่วยเพิ่มความคงตัวอิมัลชัน เพราะมีส่วนช่วยเพิ่มความหนืดในวิภูภาคน้ำทำให้ลดการชนกันระหว่างอนุภาคน้ำมัน ในกรณีที่เติมน้ำตาลในอิมัลชันที่ใช้โปรตีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ น้ำตาลอาจมีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน ช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำของโปรตีน และช่วยลดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคโปรตีน

น้ำมันพืชใช้การประกอบอาหารหลักในครัวเรือน เช่น ผัด ทอด หรือใช้เป็นส่วนผสมอาหาร ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน และมีส่วนสำคัญในการประกอบอาหาร เช่น ครีม ซอส มายองเนส น้ำสลัด เป็นต้น และในการประกอบอาหารมีการใช้วัตถุเติมปรุงอาหารร่วมด้วย แต่เนื่องจากยังไม่พบรายงานการศึกษาผลของการใช้วัตถุเติมปรุงอาหารต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช จึงเป็นที่มาในการศึกษาครั้งนี้

## วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการใช้วัตถุเติมปรุงอาหารและอิมัลซิไฟเออร์ต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืชที่เกี่ยวข้องในการประกอบอาหารในครัวเรือน และเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและต่อยอดในการใช้กับงานวิจัยอื่นๆ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

เครื่องวัดความหนาแน่น (Portable density/specific gravity meter; DA-130N)

เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter; METTLER TOLEDO SevenCompact) หรือสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง (acid-alkaline solution) คือการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนในสารละลาย เพื่อระบุว่าสารละลายนั้นๆ มีความเป็นกรดหรือเป็นด่าง

เครื่องวัดแรงตึงผิว (Surface tension and contact angle meter; KYOWA, JAPAN) ใช้วิเคราะห์ลักษณะการหยดตัวของของเหลว (Pendant Drop)

การทดสอบแรงตึงผิวของน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันรำข้าว (ตราคิง) น้ำมันมะพร้าว (ตราเนเชอรัล) น้ำมันปาล์ม (ตราหยก) น้ำมันดอกทานตะวัน (ตรากุ๊ก) น้ำมันคาโนล่า (ตราเนเชอรัล) และน้ำมันถั่วเหลือง (ตรามรกต) โดยการใช้วัตถุเติมปรุงอาหาร คือ

เกลือโซเดียม (ตราปรุงทิพย์) 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2%

น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล) 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

น้ำส้มสายชู (ตราทิพรส) และน้ำปูนใสในการปรับปรับพีเอช 3 5 7 และ 9

อิมัลซิไฟเออร์ (acetic and fatty acid esters of glycerol; Rikemal G-002, BRENNTAG) 1% 2% และ 3%

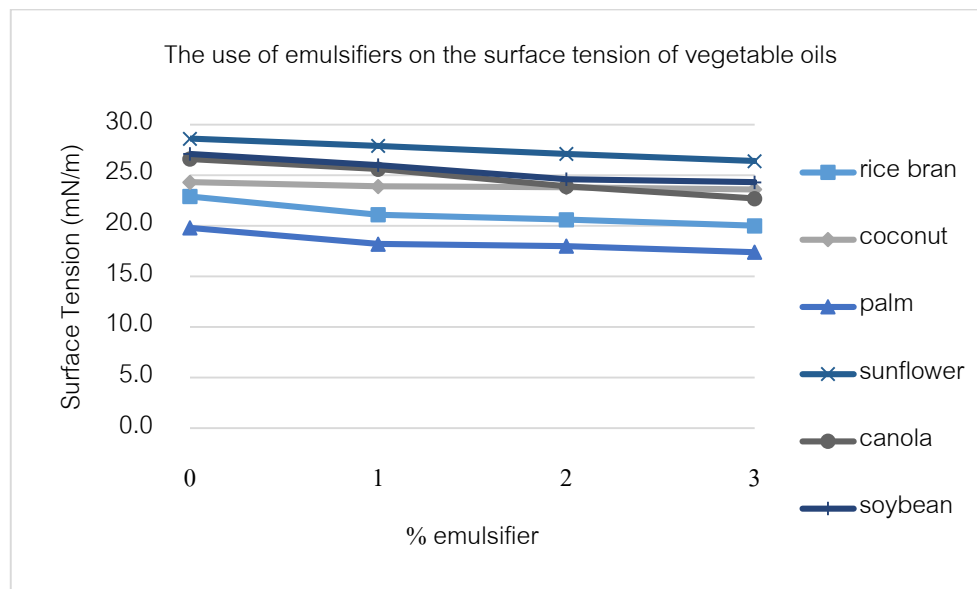
## วิธีการทดลอง

วัดค่าความหนาแน่นน้ำแล้วลบลอกด้วยค่าน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าความหนาแน่นระหว่างน้ำและน้ำมันพืช จากนั้นจึงวัดแรงตึงผิวตัวอย่างแต่ละชนิดโดยการทดสอบ 10 ครั้งต่อการทดลอง อุณหภูมิขณะวัดแรงตึงผิวประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส โดยทำการวัดแรงตึงผิวน้ำมันพืชแต่ละชนิด วัดแรงตึงผิวเมื่อใส่ความเข้มข้นเกลือ 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2% ในน้ำมันพืชแต่ละชนิด วัดแรงตึงผิวเมื่อใส่ความเข้มข้นน้ำตาลทราย 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ในน้ำมันพืชแต่ละชนิด และวัดแรงตึงผิวเมื่อปรับพีเอช 3 5 7 และ 9 ในน้ำมันพืชแต่ละชนิด วิเคราะห์ผลทดสอบโดยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

## ผลและวิจารณ์

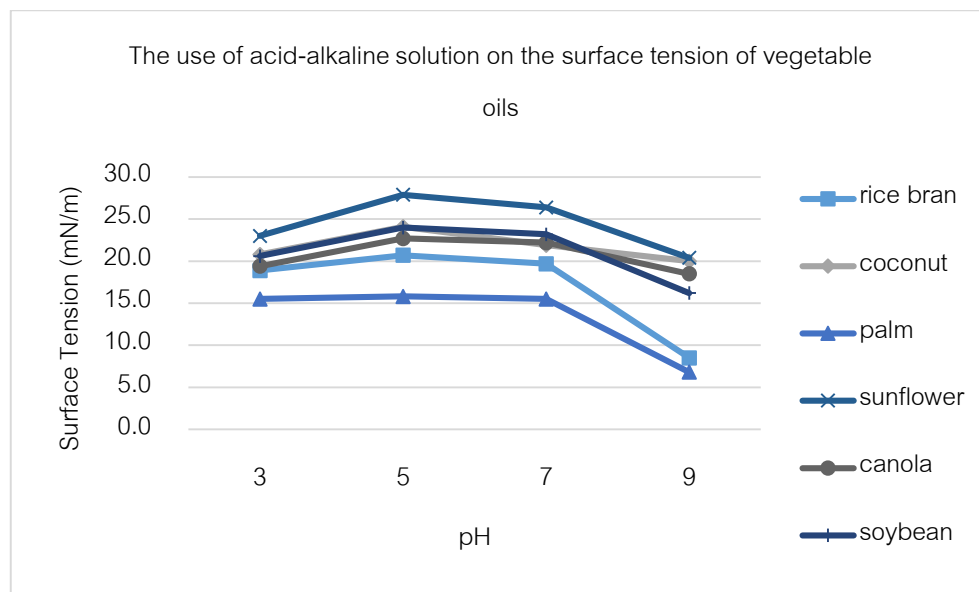
### ผลของการใช้วัตถุเติมปรุงอาหารและอิมัลซิไฟเออร์ต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

จากการศึกษาผลของการใช้อิมัลซิไฟเออร์ พบว่าน้ำมันทุกชนิดมีแนวโน้มการลดลงของแรงตึงผิวไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งน้ำมันแต่ละชนิดมีแรงตึงผิวเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน โดยน้ำมันปาล์มมีแรงตึงผิวน้อยที่สุดวัดค่าแรงตึงผิวได้ 19.8 mN/m รองลงมาคือน้ำมันรำข้าว 22.8 mN/m น้ำมันมะพร้าว 24.3 mN/m น้ำมันคาโนล่า 26.6 mN/m น้ำมันถั่วเหลือง 27.1 mN/m และน้ำมันดอกทานตะวัน 28.6 mN/m ตามลำดับ เมื่อทำการเติมอิมัลซิไฟเออร์ 1% 2% และ 3% ในน้ำมันพืชแต่ละชนิดพบว่าแรงตึงผิวลดลงในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นน้ำมันมะพร้าวที่มีลักษณะลดลงของแรงตึงผิวเล็กน้อย อาจเนื่องด้วยอุณหภูมิขณะวัดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อุณหภูมิมีผลต่อการวัดความหนาแน่นซึ่งมีผลต่อแรงตึงผิวน้ำมันพืชชนิดเดียวกันในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Esteban *et al.*, 2012) ดังรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 การใช้อิมัลซิไฟเออร์ต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

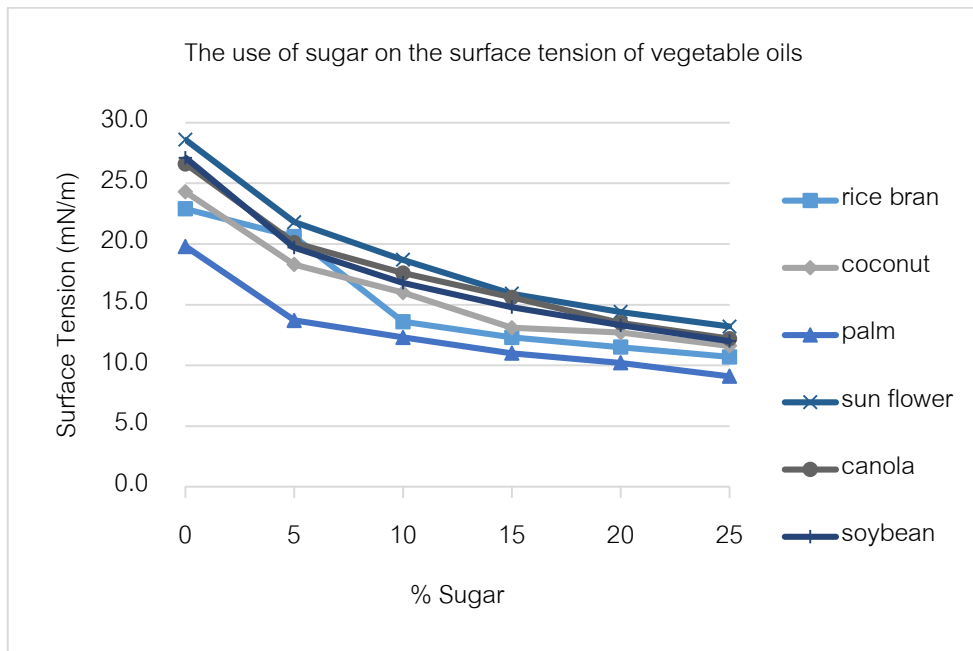
เมื่อทำการปรับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง พบว่าที่พีเอช 5 แรงตึงผิวมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำมันดอกทานตะวันเพิ่มขึ้นมากที่สุด วัดค่าแรงตึงผิวได้เท่ากับ 27.9 mN/m ในขณะที่น้ำมันปาล์มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงตึงผิวที่พีเอช 3 5 และ 7 แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่พีเอช 9 โดยแรงตึงผิวลดลงซึ่งเท่ากับ 6.8 mN/m ในขณะที่ปรับพีเอช 7 แรงตึงผิวในน้ำมันพืชทุกชนิดมีลักษณะลดลง และลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่พีเอช 9 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำมันรำข้าวลดลงมากที่สุด วัดค่าแรงตึงผิวได้เท่ากับ 8.5 mN/m ดังรูปภาพที่ 2



รูปภาพที่ 2 การใช้สารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

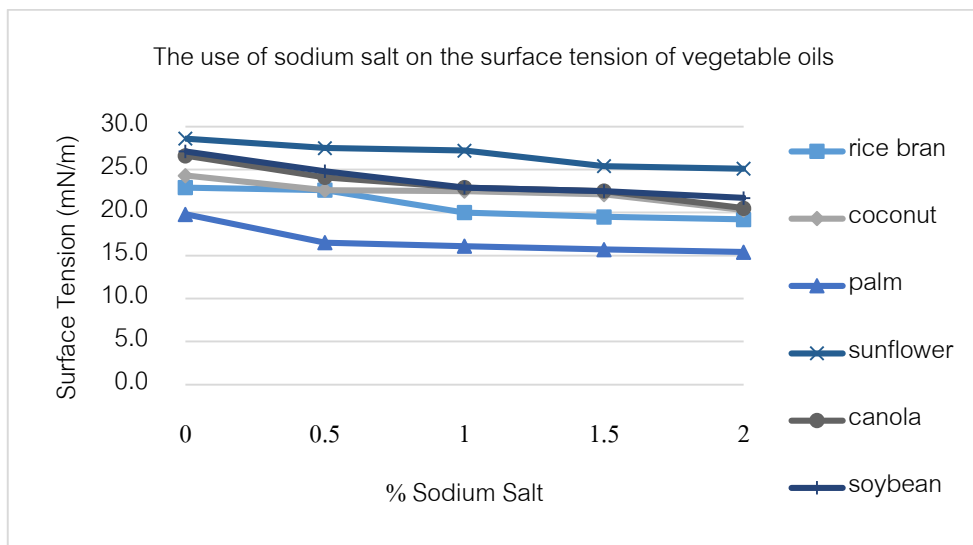
เมื่อทำการเติมน้ำตาลในน้ำมันพืชแต่ละชนิดพบว่าแรงตึงผิวลดลงอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชปกติที่ยังไม่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ ที่ความเข้มข้นน้ำตาล 5% แรงตึงผิวในน้ำมันรำข้าวลดลงโดยมีทิศทางที่แตกต่างจากน้ำมันชนิดอื่น ๆ ซึ่งวัดค่าแรงตึงผิวได้เท่ากับ 20.6 mN/m ในขณะที่น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันคาโนล่า น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม วัดแรงตึงผิวได้ 21.8 20.1 19.7 18.3 และ 13.7 mN/m ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นน้ำตาล 10% น้ำมันรำข้าวมีทิศทางในการลดลงของแรงตึงผิวที่แตกต่างจากน้ำมันชนิดอื่น ๆ ดังรูปภาพที่ 3





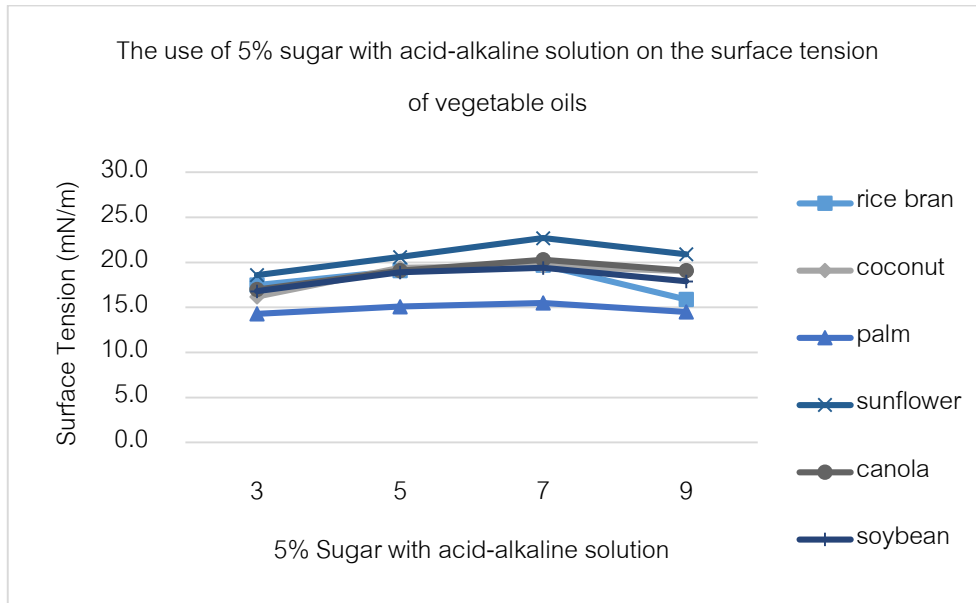
รูปภาพที่ 3 การใช้น้ำตาลต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

เมื่อเติมเกลือโซเดียมเข้าไปในน้ำมันพืชแต่ละชนิดพบว่า ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียม 0.5% แรงตึงผิวมีลักษณะลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเริ่มต้น ยกเว้น น้ำมันรำข้าวที่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียม 1% น้ำมันพืชทุกชนิดมีแนวโน้มการลดลงของแรงตึงผิวในทิศทางเดียวกัน ยกเว้น น้ำมันมะพร้าวที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งเมื่อใส่ความเข้มข้นเกลือโซเดียม 1.5% เข้าไป พบว่าน้ำมันพืชทุกชนิดมีแนวโน้มการลดลงของแรงตึงผิว โดยน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันคาโนล่า มีการลดลงของแรงตึงผิวในทิศทางเดียวกัน จนกระทั่งความเข้มข้นเกลือโซเดียม 2% น้ำมันถั่วเหลืองมีแรงตึงผิว 21.7 mN/m และน้ำมันคาโนล่ามีแรงตึงผิว 20.5 mN/m ตามลำดับ ดังรูปภาพที่ 4



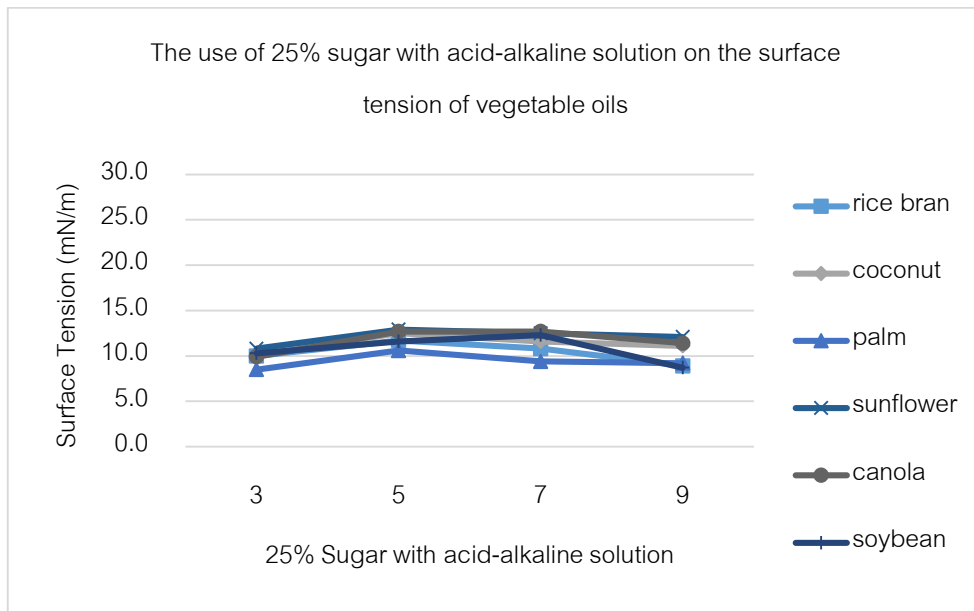
รูปภาพที่ 4 การใช้เกลือโซเดียมต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

เมื่อทำการเติมเกลือน้ำตาล 5% ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3 5 7 และ 9 พบว่าที่พีเอช 5 น้ำมันทุกชนิดมีแนวโน้มแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้นในทิศทางเดียวกัน ที่พีเอช 7 น้ำมันส่วนใหญ่มีแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่น้ำมันดอกทานตะวันแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น และที่พีเอช 9 น้ำมันทุกชนิดมีการลดลงของแรงตึงผิวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งน้ำมันรำข้าวมีการลดลงมากที่สุด วัดค่าแรงตึงผิวได้ 15.9 mN/m ดังรูปภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 การใช้น้ำตาลความเข้มข้น 5% ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

เมื่อทำการเติมเกลือน้ำตาล 25% ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3 5 7 และ 9 พบว่าที่พีเอช 5 น้ำมันทุกชนิดมีแนวโน้มแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ที่พีเอช 7 น้ำมันส่วนใหญ่แรงตึงผิวลดลงเล็กน้อย ยกเว้นน้ำมันถั่วเหลืองมีแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น และที่พีเอช 9 น้ำมันส่วนใหญ่มีการลดลงของแรงตึงผิว ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองมีการลดลงของแรงตึงผิวอย่างเห็นได้ชัดกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ วัดค่าแรงตึงผิวได้ 8.7 mN/m ดังรูปภาพที่ 6



รูปภาพที่ 6 การใช้น้ำตาลความเข้มข้น 25% ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างต่อแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

## สรุป

การใช้วัตถุดิบปรุงอาหาร กลีเซอรีน น้ำตาล สารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง และอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำมันพืชที่เกี่ยวข้องในการประกอบอาหารในครัวเรือน มีผลต่อการลดแรงตึงผิวในอาหาร โดยพบว่าการใช้กลีเซอรีน 2% น้ำตาล 25% สารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3 และ 9 และอิมัลซิไฟเออร์ 3% และการใช้น้ำตาล 25% ร่วมกับสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อแรงตึงผิวที่ลดลงของน้ำมันพืช ซึ่งการศึกษานี้สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาและต่อยอดในการใช้กับงานวิจัยอื่นๆและการนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ปรุงอาหาร

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและเชื้อเพื่อสถานที่ทำการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 316-334.
- ปาริชาติ หงสประภาส. 2555. อิมัลชัน. ระบบคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 77-109.
- สุภัคชนม์ คล่องดี. 2555. ระบบอิมัลชันในอาหารและความคงตัว. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ. 287-290.
- Ariyaprakai, S., & Tananuwong, K. (2015). Freeze–thaw stability of edible oil-in-water emulsions stabilized by sucrose esters and Tweens. *Journal of Food Engineering*, 152, 57-64.
- Esteban, B., J.R. Riba, G. Baquero, R. Puig and A. Rius. 2012. Characterization of the surface tension of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines. *Journal of ScienceDirect*, 102, 231-238.
- Tuberoso, C. I. G., Kowalczyk, A., Sarritzu, E., & Cabras, P. (2007). Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chemistry*, 103(4), 1494-1501.

# การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ 6-โชกาออล ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยแบคทีเรียสายพันธุ์ SG1

## Biotransformation of 6-shogaol by bacteria strain SG1

คณิน เลิศรังษี<sup>1</sup>, อลิสา วังไณ<sup>2</sup>, วรินทร์ ชวศิริ<sup>1</sup> และ นวพร วินยเวคิน<sup>1\*</sup>

Kanin Loetrangsi<sup>1</sup>, Alisa S. Vangnai<sup>2</sup>, Warinthorn Chavasiri<sup>1</sup> and Nawaporn Vinayavekhin<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

ในกลุ่มของส่วนประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิง (*Zingiber officinale*) 6-โชกาออลเป็นส่วนประกอบหลักที่ไม่ระเหยที่มีสมบัติทางการแพทย์ที่สำคัญ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การต้านการอักเสบ การต้านมะเร็ง อย่างไรก็ตาม ด้วยรสชาติที่มีลักษณะเฉพาะและความสามารถในการละลายในน้ำที่ต่ำ การใช้ 6-โชกาออลในอาหารเสริมจึงทำได้ค่อนข้างจำกัด การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีด้วยกระบวนการชีวภาพ คือกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบเคมีด้วยสิ่งมีชีวิต และเป็นวิธีที่ใช้สืบค้นในงานวิจัยนี้ ในที่นี้ เริ่มต้นด้วยการคัดแยกแบคทีเรียซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลง 6-โชกาออลได้จากดินในสวนที่มีใบไม้ผุ การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ M9 ที่เสริมด้วยกลูโคสและ 6-โชกาออล ตามด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ระบุแบคทีเรียสายพันธุ์หนึ่งคือ SG1 ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลง 6-โชกาออล เป็นสารผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ จากนั้น เก็บตัวอย่างจากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสายพันธุ์ SG1 ในภาวะที่มี 6-โชกาออล เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ที่ 0, 3, 6, 9, 12, 24 ชั่วโมง และทุก ๆ 24 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 7 วัน และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ผลการทดลองแสดงระดับที่ลดลงอย่างต่อเนื่องของ 6-โชกาออล ซึ่งมีระดับต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 63 ของระดับของ 6-โชกาออล เริ่มต้น ณ เวลา 168 ชั่วโมงของการบ่ม ระดับของสารผลิตภัณฑ์หลักก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นซึ่งมีระดับเป็นร้อยละ 10 ของ 6-โชกาออล เริ่มต้น ณ เวลา 168 ชั่วโมง การศึกษานี้จึงบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ของการใช้สายพันธุ์ SG1 สำหรับเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ 6-โชกาออล ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเป็นวิธีทางเลือกแบบธรรมชาติที่สามารถนำไปสู่การได้มาซึ่งสารที่มีฤทธิ์ทางเคมีและชีวภาพที่แตกต่างออกไปเพื่อการประยุกต์ใช้ที่เป็นไปได้ในด้านอาหาร

**คำสำคัญ :** *Zingiber officinale* 6-โชกาออล การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

<sup>1</sup> ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup> ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

<sup>2</sup> Department of Biochemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

\* Corresponding author, Email: nawaporn.v@chula.ac.th

## Abstract

Among the bioactive components of ginger (*Zingiber officinale*), 6-shogaol is a major non-volatile component with important medicinal properties, such as antioxidant, anti-inflammatory, and anti-tumor. However, with its characteristic flavor and relatively low water solubility, its uses as food supplements can be quite limited. Biotransformation is a structural modification process by which chemical compounds are transformed by organisms and is the method of investigation in this study. First, we isolated bacteria from garden soil with leaf litter that could biotransform 6-shogaol. Culturing the bacteria in M9 minimal media supplemented with glucose and 6-shogaol, followed by high performance liquid chromatography (HPLC) analysis, identified a bacterial strain, SG1, which could biotransform 6-shogaol into a new product. Subsequently, samples from the SG1 bacterial cultures with 6-shogaol were collected for kinetic studies at 0, 3, 6, 9, 12, 24 h, and every 24 h for a total of 7 days, and analyzed by HPLC. The results showed consistent decreases in the levels of 6-shogaol, which became lowest at 168 h of incubation when the level was at 63% of that of starting 6-shogaol. The levels of major product were also gradually increased, which was at 10% of starting 6-shogaol at 168 h. The study therefore indicated potential uses of the strain SG1 for biotransforming 6-shogaol into a new product, serving as a natural alternative method that could lead to obtainment of a compound with altering chemical and biological activities for potential uses in food applications.

**Keywords :** *Zingiber officinale*, 6-Shogaol, Biotransformation

## Introduction

6-shogaol is a major non-volatile component of *Zingiber officinale* rhizome, which consists of a benzene ring bearing a methoxy group, a hydroxy group, and an enone moiety. It is known for its medicinal properties (Mao et al., 2019) including antioxidant (Dugasani et al., 2010), anti-inflammatory (Pan et al., 2008), and anti-tumor (Sang et al., 2009). However, despite the known benefits, it has a strong pungent flavor and relatively low water solubility (Koh & Lee, 1983), limiting its uses in wider food applications. The abilities to biotransform 6-shogaol to other related homologs might lead to discovering of compounds with greater beneficial properties.

Biotransformation is a structural modification process by which chemical compounds are transformed by organisms. The advantages of biotransformation over chemical synthetic approaches concern with higher stereoselectivity, lower cost, and lower environmental pollution (Smitha, Singh, & Singh, 2017). Examples of biotransformation that has been widely used in many applications include transformation of antibiotics (Zumsterin & Helbling, 2019), steroids (Parshikov & Sutherland, 2015), and petroleum (Stordal et al., 2015).

For 6-shogaol, the biotransformation of 6-shogaol has been reported mainly on the fungus *Aspergillus niger*. A plausible biotransformation pathway of 6-shogaol to  $\gamma$ -lactone was postulated (Figure 1), where the  $\alpha,\beta$ -unsaturated ketone group of 6-shogaol was reduced to a saturated ketone, followed by hydroxylation of the terminal methyl group into primary alcohol, metabolization of alkyl chains, and cyclization into  $\gamma$ -lactone (Takahashi et al., 1993; Lee, 1995; Jo et al., 2015).

Even though studies have been performed quite extensively with *A. niger*, given that bacteria have different characteristics of enzyme activities than those of fungi (Romani et al., 2006), other biotransformation pathways and products that have not been reported are possible. In this study, the biotransformation of 6-shogaol by bacteria from soil was studied to isolate the bacteria with capability to biotransform 6-shogaol. Subsequently, the kinetics of the biotransformation by a selected bacterial strain was investigated in hopes of discovering new approach for producing new bioactive compounds with greater beneficial properties than 6-shogaol.

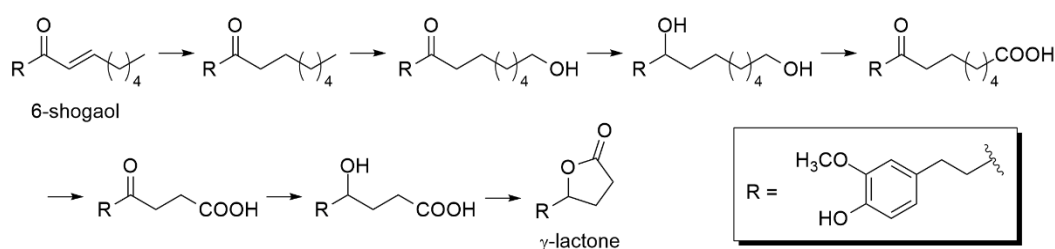


Figure 1. Postulated biotransformation pathway of 6-shogaol by *Aspergillus niger* (Takahashi et al.,1993; Lee, 1995; Jo et al., 2015).

## Objectives

To isolate bacteria capable of 6-shogaol biotransformation and investigate their kinetic profiles.

## Materials and Methods

**Extraction and purification of 6-shogaol.** Dry ginger bagasse was obtained from New Concept Product Co., Ltd., Bangkok, Thailand. The bagasse (500 g) was extracted into ethyl acetate (2 x 6 L; 1 day each time), filtered, and concentrated *in vacuo* to obtain a dark brown viscous liquid. Subsequently, the residue was purified by column chromatography (ethyl acetate / hexanes, 0%; then gradually increased by 10% to 50% ethyl acetate) to give a concentrated yellowish oil (~2.0 g).  $^1\text{H NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 400 MHz):  $\delta$  0.88 (3H, t, H-10), 1.26-1.31 (4H, m, H-8 and H-9), 1.42 (2H, m, H-7), 2.17 (2H, m, H-6), 2.84 (4H, m, H-1 and H-2), 3.82 (3H, s,  $\text{OCH}_3$ ), 6.09 (1H, d,  $J = 16$  Hz, H-4), 6.66 (1H, m, H-6'), 6.70-6.83 (2H, m, H-2', H-5', and H-5). ESI-MS ( $\text{CHCl}_3$ ) calculated for  $\text{C}_{17}\text{H}_{24}\text{O}_3$  ( $[\text{M}+\text{Na}]^+$ ) 299.1618; found 299.1601. The spectra coincided with those reported in previous literature (Nishidono et al., 2018).

**Screening of bacteria capable of biotransformation of 6-shogaol.** Soil (0.5 g) was obtained from a garden with leaf litter at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, and suspended in sterile deionized water (5 mL). From the clear suspension, 100  $\mu$ L was spread onto a solid M9 minimal salts (15.05 g L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O, 3 g L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.5 g L<sup>-1</sup> NaCl, 1 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>Cl, 2 mM MgSO<sub>4</sub>, 0.1 mM CaCl<sub>2</sub>, and 1 mL trace elements (1.16 g L<sup>-1</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>, 2.78 g L<sup>-1</sup> FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1.15 g L<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1.69 g L<sup>-1</sup> MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 0.38 g L<sup>-1</sup> CuSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 0.24 g L<sup>-1</sup> CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, and 0.1 g L<sup>-1</sup> MoO<sub>3</sub>) supplemented with carbon source (1 g L<sup>-1</sup> glucose) containing 6-shogaol in dimethyl sulfoxide (DMSO; 200 mg L<sup>-1</sup>) and incubated for 48 h at 30°C. Growth colonies were inoculated into fresh 5 mL of M9 broth supplemented with carbon source (1 g L<sup>-1</sup> glucose) and 50  $\mu$ L 2% (w/v) of 6-shogaol in DMSO, along with the bacterial controls (bacterial cell culture in 6-shogaol-free media) and compound controls (6-shogaol in media without bacterial cells), and incubated overnight at 30°C, 170 rpm. After the cells were allowed to grow overnight, cultures were centrifuged (4500 g, 4°C, 15 min) to collect the supernatant for further analysis by high performance liquid chromatography (HPLC).

**Sample analysis by HPLC.** HPLC analysis with diode array detector was performed using Ultimate 3000 HPLC (Thermo Fisher Scientific) on a Gemini C18 column (5  $\mu$ m, 4.60 mm x 50 mm; Phenomenex) with a precolumn (Phenomenex). The mobile phases consisted of solvent A (95/5 water/acetonitrile) and solvent B (95/5 acetonitrile/water); both solvents were supplemented with 0.1% (v/v) formic acid. The 30-min gradient with flow rate of 0.5 mL min<sup>-1</sup> started at 0% B for 5 min, increased linearly to 100% B over 20 min, and remained at 100% B for 5 min until abruptly changed to 0% B over remaining 5 min. Each supernatant sample was diluted 5-fold with mobile phase A, and 100  $\mu$ L of which was injected into HPLC.

**Kinetic studies of biotransformation of 6-shogaol.** The SG1 strain was grown in 5 mL M9 broth with supplemented glucose, as indicated in the section “Screening of bacteria capable of biotransformation of 6-shogaol” above, at 30°C, 170 rpm. The overnight cultures were diluted 50-fold into larger cultures of fresh M9 broth supplemented with 1 g L<sup>-1</sup> glucose (18 mL), 20% (v/v) Tween 80 (1 mL), and 0.4% (w/v) 6-shogaol in DMSO (1 mL; or DMSO for compound-free controls), and incubated at 30°C, 170 rpm. Cultures (500  $\mu$ L) were then collected at 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, and 168 h time points, and centrifuged (1.61x10<sup>4</sup> g, 1 min) to collect the supernatant for HPLC sample preparations and analysis as indicated in the section “Sample analysis by HPLC” above. Experiments were performed in triplicate for each sample.

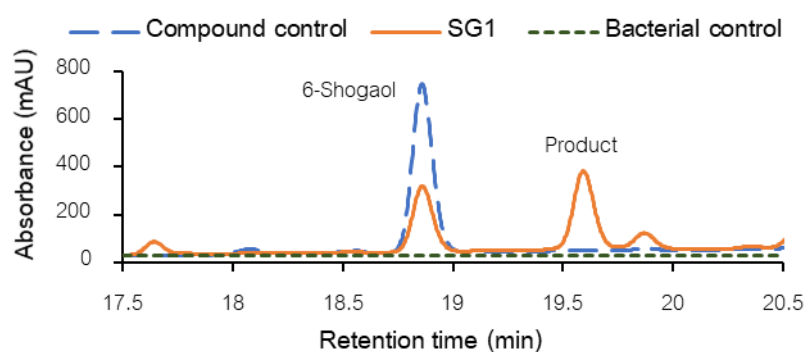
## Results and Discussion

The screen for bacteria capable of biotransforming 6-shogaol was carried out with soil from a garden with leaf litter, which likely contained microorganisms capable of producing enzymes specific for decomposing fallen leaves, stems of plants, and dead roots (Alves et al., 2014) and thereby might be able to biotransform 6-shogaol as a major component of ginger rhizomes. Because 6-shogaol was reported previously to have antimicrobial (Ghasemzadeh et al., 2018) and antifungal (Lee et al., 2018) properties,



the screen using serial dilution method was conducted on the plates containing M9 minimal media supplemented with 6-shogaol to allow for the growth of only the strains able to tolerate 6-shogaol at the tested concentration. The bacteria growing on the plates were then grown overnight in M9 media with 6-shogaol, and the culture supernatant was then analyzed by HPLC.

From HPLC chromatogram at 220 nm, one of the 12 screened bacterial strains, SG1, demonstrated abilities to significantly decrease the levels of 6-shogaol at the retention time of 18.8 min to 38% of those of the compound control, where no bacteria were present (Figure 2). A new product peak, which did not appear in the bacterial control samples without 6-shogaol, was also detected at the retention time of 19.6 min. Overall, the results suggested the capability of the SG1 strain to biotransform 6-shogaol, and therefore, the SG1 strain was selected for further kinetic studies.

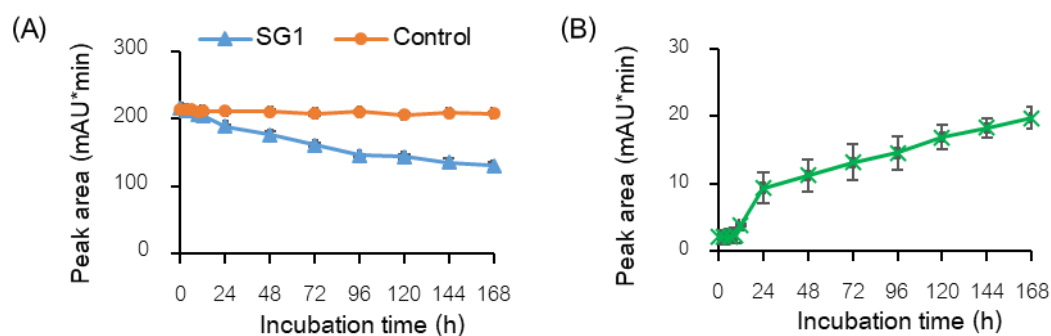


**Figure 2.** HPLC chromatogram at 220 nm from the bacterial screening showing reduction in levels of 6-shogaol at the retention time of 18.8 min in the SG1 culture (SG1; *solid line*) to 38% of those in the bacteria-free control (compound control; *long-dashed line*), and an appearance of a new product at the retention time of 19.6 min. No compounds were detected in the control without 6-shogaol (bacterial control; *dashed line*).

Next, the kinetic studies of biotransformation of 6-shogaol by SG1 was performed to investigate the behavior and the optimal incubation time of the strain for the biotransformation. Here, SG1 was cultured in M9 broth supplemented with glucose and 6-shogaol before the cultures were collected at the specified time points, and the supernatant was analyzed by HPLC.

The results from the kinetic studies of biotransformation of 6-shogaol showed consistent decreases in the levels of 6-shogaol and increases in the levels of the major product at the retention time of 19.6 min (Figure 3). The changes first appeared evidently at 12 h, and the trends continued until their levels became lowest and highest at 168 h with the levels reaching 63% and 10% of 6-shogaol in compound controls, respectively. Interestingly, no other products could be detected at all time points. Because the disappearance of 6-shogaol and the appearance of the major product coincided simultaneously, the

finding indicated that the major product formation was the result of biotransformation of 6-shogaol by the strain SG1. Additionally, among all time points tested, 168 h of incubation provided the most suitable time to harvest for the product, although longer incubation time could allow for higher accumulation of the product.



**Figure 3.** Average peak area  $\pm$  standard errors of the mean of (A) 6-shogaol in SG1 culture (SG1; *triangle*) and bacteria-free control (control; *circle*), and of (B) the major product at the retention time of 19.6 min in SG1 culture (*cross*). SG1 cultures were grown in M9 media supplemented with glucose and 6-shogaol (or DMSO for control). Samples were then collected at the specified time and analyzed by HPLC at 220 nm.

In this study, the biotransformation of 6-shogaol by the SG1 strain showed a bioconversion of 6-shogaol into a single major product at all time points. While the result could offer an advantage in terms of production and purification of the biotransformed products, it was disparate from those previously reported with biotransformation of 6-shogaol by *A. niger* where, as shown earlier in Figure 1, many products and intermediates could be detected, and their levels increased or decreased at differing time points (Takahashi et al., 1993; Lee, 1995; Jo et al., 2015). The finding that differing microbial species could lead to the yielding of different biotransformed products is not unprecedented, however. In fact, it was quite evident with the biotransformation pathway of *p*-coumaric acid, where it was converted into various metabolites depending on what microbes were employed as catalysts. For example, Janelle et al. (2001) reported *p*-coumaric acid was converted into 4-vinylphenol and (2*R*,2*S*)-4-(2,3-dihydro-5-hydroxy-2-benzofuranyl)phenol by *Bacillus megaterium*, and into 4-hydroxybenzoic acid and 5-[(*E*)-2-carboxyethenyl]-2,3-dihydro-2-(4-hydroxyphenyl)-3-benzofurancarboxylic acid by *Curvularia lunata*. Nevertheless, while what products are obtained in the biotransformation process might depend on the types of microbes, the reasons that the bacteria SG1 gave only one major product in this study, as opposed to multiple products as in *A. niger*, might be from the differing culture conditions employed and potentially from the more specific pathways or enzymes in the SG1 strain than in the more versatile *Aspergillus*. Ultimately, further investigation is needed to find out about the species and enzymes involved in the process before any conclusions could be drawn.

## Conclusions

In summary, the screened bacterial strain SG1 obtained from a garden with leaf litter was discovered with capability of biotransformation of 6-shogaol as the substrate into a new compound in this study. The SG1 strain cultured in M9 minimal media supplemented with glucose and 6-shogaol over the span of 168 h of incubation period at 30°C, 170 rpm showed significant decreases in the levels of 6-shogaol peak at retention time of 18.8 min and increases in the levels of product at retention time of 19.6 min on HPLC chromatograms at 220 nm. No other peaks were detected at significant levels during the decrease and increase in levels of 6-shogaol and the product, respectively. The kinetic findings of this study revealed that the bacterial strain SG1 was capable of biotransformation of 6-shogaol into a new, stable product without further degradation after 12 h of incubation but was still incomplete for the duration of 168 h under the tested condition.

## Acknowledgements

We thank Center of Excellence in Natural Products Chemistry, Biocatalyst and Environmental Biotechnology Research Unit, Faculty of Science, Chulalongkorn University for discussion and financial support.

## References

- Alves, P. D. D., Siqueira, F. F., Facchin, S., Horta, C. C. R., Victoria, J. M. N., & Kalapothakis, E. (2014). Survey of microbial enzymes in soil, water, and plant microenvironments. *Open Microbiol J*, 8, 25–31.
- Dugasani, S., Pichika, M. R., Nadarajah, V. D., Balijepalli, M. K., Tandra, S., & Korlakunta, J. N. (2010). Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. *J Ethnopharmacol*, 127(2), 515–520.
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., Baghdadi, A., & Tayebi-Meigooni, A. (2018). Formation of 6-, 8- and 10-shogaol in ginger through application of different drying methods: Altered antioxidant and antimicrobial activity. *Molecules*, 23(7).
- Janelle, L., Torres, T., & Rosazza, J. P. N. (2001). Microbial transformations of *p*-coumaric acid by *Bacillus megaterium* and *Curvularia lunata*. *J Nat Prod*, 64, 1408–1414.
- Jo, S. K., Kim, I. S., Rehman, S. U., Ha, S. K., Park, H.-Y., Park, Y. K., & Yoo, H. H. (2015). Characterization of metabolites produced from the biotransformation of 6-shogaol formed by *Aspergillus niger*. *Eur Food Res and Technol*, 242(1), 137–142.
- Koh, I. K., & Lee, S. S. (1983). Biodegradation mechanism of shogaol by *Aspergillus niger*. *J Pharma Soc Korea*, 27, 29–36.

- Lee, J. H., Kim, Y. G., Choi, P., Ham, J., Park, J. G., & Lee, J. (2018). Antibiofilm and antivirulence activities of 6-gingerol and 6-shogaol against *Candida albicans* due to hyphal inhibition. *Front Cell and Infect Microbiol*, 8, 299.
- Lee, S.-S. (1995). Re-examination of 6-shogaol biotransformation by *Aspergillus niger*. *Arch Pharma Res*, 18, 136–137.
- Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H. B. (2019). Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6).
- Nishidono, Y., Saifudin, A., Nishizawa, M., Fujita, T., Nakamoto, M., & Tanaka, K. (2018). Identification of the chemical constituents in ginger (*Zingiber officinale*) responsible for thermogenesis. *Nat Prod Commun*, 3(7), 869–873.
- Pan, M. H., Hsieh, M. C., Hsu, P. C., Ho, S. Y., Lai, C. S., Wu, H., Sang, S., & Ho, C. T. (2008). 6-Shogaol suppressed lipopolysaccharide-induced up-expression of iNOS and COX-2 in murine macrophages. *Mol Nutr Food Res*, 52(12), 1467–1477.
- Parshikov, I. A., & Sutherland, J. B. (2015). Biotransformation of steroids and flavonoids by cultures of *Aspergillus niger*. *Appl Biochem and Biotechnol*, 176(3), 903–923.
- Romani, A. M., Fischer, H., Mille-Lindblom, C., & Tranvik, L. J. (2006). Interactions of bacteria and fungi on decomposing litter: Differential extracellular enzyme activities. *Ecology*, 87, 2559–2569.
- Sang, S., Hong, J., Wu, H., Liu, J., Yang, C. S., Pan, M. H., Badmaev, V., & Ho, C. T. (2009). Increased growth inhibitory effects on human cancer cells and anti-inflammatory potency of shogaols from *Zingiber officinale* relative to gingerols. *J Agric Food Chem*, 57(22), 10645–10650.
- Smitha M. S., Singh, S., & Singh, R. (2017). Microbial Biotransformation: A process for chemical alterations. *JBMOA*, 4(2), 47–51.
- Stordal, I. F., Olsen, A. J., Jenssen, B. M., Netzer, R., Altin, D., & Brakstad, O. G. (2015). Biotransformation of petroleum hydrocarbons and microbial communities in seawater with oil dispersions and copepod feces. *Mar Pollut Bull*, 101(2), 686–693.
- Takahashi, H., Hashimoto, T., Noma, Y., & Asakawa, Y. (1993). Biotransformation of 6-gingerol and 6-shogaol by *Aspergillus niger*. *Phytochemistry*, 34, 1497–1500.
- Zumstein, M. T., & Helbling, D. E. (2019). Biotransformation of antibiotics: Exploring the activity of extracellular and intracellular enzymes derived from wastewater microbial communities. *Water Res*, 155, 115–123.

## ผลของ *Bacillus* sp. เพื่อเร่งการย่อยสลายของผักตบชวาในสภาพจำลองและคุณภาพของปุ๋ยหมัก

### Effect of *Bacillus* sp. to accelerate the degradation of water hyacinths in simulated conditions and quality of compost

กนกพล มะไลทอง<sup>1</sup>, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย<sup>1</sup>, ศุภชัย อัมคา<sup>1</sup>, ขวัญชัย คูเจริญไพศาล<sup>2</sup>, กนกกร สินมา<sup>1</sup>

Kanokpol Malaitong, Tawatchai Inboonchuy, Supachai Amkha, Khwanchai Khucharoenphaisan, Kanokkorn sinma

#### บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าของการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ผสมในการเร่งการย่อยสลายผักตบชวาในสภาพจำลองและคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนิน รวมทั้งชนิดของวัสดุหมักและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยใช้ผักตบชวา ฟางข้าว และขี้วัว เป็นวัสดุในการผลิต ออกแบบการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ พบว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์สามารถเร่งการย่อยสลายผักตบชวาได้ในเวลา 45 วัน และผักตบชวาเพียงอย่างเดียวเป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักเมื่อใช้ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีผลให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 13.9% C/N ratio 19.5 pH 7.0 ค่าการนำไฟฟ้า 7.45 dS/m ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด 3.1% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 38 mg./kg. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 66 mg./kg.

**คำสำคัญ** : ผักตบชวา, หัวเชื้อจุลินทรีย์, ปุ๋ยหมัก

#### Abstract

This research was objected to study the in vitro effect of microbial inoculum for water hyacinth degradation and the quality of compost. An appropriate type (water hyacinth, cow manure and rice straw) and ratio of raw materials was also investigated. The experimental was complete randomize design (CRD) 5 treatments with 3 replications. The results indicated that the application of microbial inoculum led to complete the water hyacinth composting within 45 day. Water hyacinth as the sole raw material for composting was most suitable when using with microbial inoculum. The properties of mature water hyacinth compost: OM 13.9% C/N ratio 19.5 pH 7.0 EC 7.45 dS/m Total N 3.1% available P 38 mg./kg and exchangeable K mg./kg.

**Keywords** : water hyacinths, inoculum, compost

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140 ประเทศไทย

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140 Thailand.

<sup>2</sup> สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220 ประเทศไทย

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, 10220 Thailand.

## บทนำ

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) เป็นวัชพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง (กลุ่มงานวัชพืช, 2500) ระบบรากของผักตบชวาสามารถดูดซับแร่ธาตุต่างๆ จากตะกอนในน้ำเก็บไว้ในส่วนของต้นและราก โดยเฉลี่ยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 1, 0.25 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 30:1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.50% ต่อวัน สามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งทางเมล็ดและการแตกหน่อ (สุภาพร, 2559) เนื่องจากเป็นพืชที่มีท่อนลอยอยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล จึงทำให้มีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ ในแหล่งน้ำทั่วประเทศ

ปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายในการกำจัดผักตบชวา โดยส่งเสริมการแปรรูปผักตบชวาหลากหลายรูปแบบ เช่น การแปรรูปเป็นเครื่องจักรสาน นำมาเป็นส่วนประกอบของวัสดุปลูก รวมทั้งการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาโดยชุมชนริมแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการขยายพันธุ์ของผักตบชวา ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาสามารถใช้ในระบบการปลูกพืชรวมทั้งการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตพืชแบบเลี้ยงการใช้สารเคมี (สมคิด, 2549) ซึ่งมีความสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตพืชสูง และมักเกิดปัญหาสารพิษตกค้าง ดังนั้นการใช้ปุ๋ยหมักจากวัชพืชน้ำที่มีในธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มปริมาณและคุณภาพสินค้าเกษตร ลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ลดมลพิษต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามระยะเวลาและคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึง

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี จะต้องมีความธาตุอาหารพืช และได้สัดส่วนที่เหมาะสม จึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ปกติ (มุกดา, 2544) เนื่องจากเซลล์ลูโลสมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีสายยาว จุลินทรีย์ไม่สามารถนำเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง ดังนั้นจุลินทรีย์จึงผลิต extracellular enzyme ออกมาย่อยเซลล์ลูโลสให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ เอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้เรียกว่า เอนไซม์เซลลูเลส มีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่สามารถสร้างเอนไซม์นี้ได้ (ทิพวรรณ, 2553) จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการย่อยสลายเซลล์ลูโลสมีหลายชนิดที่สร้างเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยสลายเซลล์ลูโลสมักอยู่ในกลุ่มของเชื้อรา แบคทีเรีย และแอกติโนมัยสีท ในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อจุลินทรีย์ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการผลิตเอนไซม์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ชนิดความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมการผลิต ซึ่งได้แก่ อายุและ ปริมาณของเชื้อเริ่มต้น ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อุณหภูมิการให้อากาศ

การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเร่งการผลิตปุ๋ยหมักให้รวดเร็วมากขึ้น โดยการคัดเลือกจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ จามจุรี และคณะ ( 2555) ได้คัดเลือกแอกติโนมัยสีทที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายเซลล์ลูโลสจากมูลสัตว์ เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุทางการเกษตร พบว่าแอกติโนมัยสีทที่แยกได้มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงที่สุดเท่ากับ 0.217 ยูนิตต่อ มิลลิลิตร เมื่อเลี้ยงใน 0.5% carboxymethyl cellulose นอกจากแบคทีเรียและแอกติโนมัยสีทแล้วเชื้อราก็สามารถใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายได้ สุรพงศ์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาผลของเชื้อราผสมเร่งการย่อยสลายและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยต่อคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยพบว่ากรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยเชื้อรา *Mucor ellipsoideus* ร่วมกับ *Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* นาน 60 วัน และการหมักปุ๋ยด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* ร่วมกับ *T. harzianum* นาน 30 วัน ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 0.87% และ 0.54% ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยเชื้อรา *R. oryzae* ร่วมกับ *T. harzianum* นาน 60 วัน มีการย่อยสลายผักตบชวาดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์เซลล์ลูโลสและเฮมิเซลล์ลูโลสน้อยที่สุด เท่ากับ 13.33% และ 11.98% ตามลำดับ

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ ใช้เวลาในกระบวนการหมักที่สั้น เพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้เร็วขึ้น สามารถนำไปต่อยอดในเชิงธุรกิจ และส่งเสริมให้มีการใช้ปุ๋ยหมักอย่างแพร่หลายมากขึ้น จึงสนใจที่จะใช้จุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายผักตบชวาที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก และส่งผลกระทบต่อคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายผักตบชวาในสภาพจำลอง ตลอดจนชนิดและอัตราส่วนของวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมในการผลิต และคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการเร่งกระบวนการย่อยสลายให้รวดเร็ว และพัฒนาคุณภาพปุ๋ยหมักจากผักตบชวาในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายผักตบชวา

เตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 2 สายพันธุ์ได้แก่ *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 ที่มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งแยกได้จากผักตบชวาด้วยวิธี enrichment ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีผักตบชวาเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงแหล่งเดียว ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ลงในอาหารเหลว Nutrient broth (NB) ที่อุณหภูมิห้อง ( $34\pm 3$  องศาเซลเซียส) บนเครื่องเขย่าแบบ rotary shaker เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนกระทั่งมีความเข้มข้นของเซลล์  $10^6$  cfu/ml เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการทดลองต่อไป

### 2. การศึกษาชนิดของวัสดุและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวา

เตรียมผักตบชวาสดตัดให้เป็นพ่อนสั้นมีขนาดประมาณ 1 นิ้ว ตากในที่ร่มจนมีความชื้นประมาณ 60% ส่วนวัสดุอื่นๆ ได้แก่ ฟางข้าวและขี้วัวมีลักษณะแห้ง บรรจุวัสดุตามตำรับทดลองในแต่ละภาชนะ โดยแต่ละภาชนะจะมีน้ำหนักรวมของวัสดุหมัก 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้เท่ากับ 60% ในทุกตำรับทดลอง ออกแบบการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ Complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง โดยตำรับที่ 1 ผักตบชวา 100% ตำรับที่ 2 ผักตบชวา 60% และ ขี้วัว 40% ตำรับที่ 3 ผักตบชวา 80% และ ขี้วัว 20% ตำรับที่ 4 ผักตบชวา 60% ขี้วัว 30% และฟางข้าว 10% และตำรับที่ 5 ผักตบชวา 70% ขี้วัว 20% และฟางข้าว 10% ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 ชนิดละ 5 ml ลงในแต่ละตำรับทดลอง (คิดเป็น 10%) คลุกเคล้าหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้มีการกระจายทั่วถึง บ่มที่อุณหภูมิห้อง ( $34\pm 3$  องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 60 วัน

### 3. การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการย่อยสลายผักตบชวา

เก็บตัวอย่างวัสดุหมักที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน โดยการฝังโนที่รุ่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มม. นำไปวิเคราะห์ ค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่อง Electrical conductivity meter (ทัศนีย์, 2542) ของสารละลายปุ๋ยหมักที่สกัดจากปุ๋ยหมักอิมตัวด้วยน้ำ (saturated extract) ค่า pH วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (ทัศนีย์, 2542)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยหมัก ที่บดไว้แล้วอย่างละเอียด 0.5-2 กรัม ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย  $1N K_2Cr_2O_7$  ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร แกว่ง flask ไปรอบๆ เป็นเวลาประมาณ 1-2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 80 มิลลิลิตร หยด indicator ลงไป 0.05 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยน้ำยา ferrous sulfate จนกระทั่งสีของสารละลาย เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง คำนวณหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดโดยสูตรดังนี้ (ทัศนีย์, 2542) และสามารถนำหาเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักได้ (พัชรี, 2552)

Organic carbon (%) =  $[(0.3896 \times N \times \text{ml of } K_2Cr_2O_3(C-D)) / \text{Weight of sample (grams)}] \times C$

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์  $\times 1.72$

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งปุ๋ยหมัก 0.2 กรัม ที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. ลงใน micro – kjeldahl flask เติม digestion mixture ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปวางบน kjeldahl heater digest จนสารละลายสี ทิ้งไว้ให้เย็น จึงถ่ายลงใน volumetric flask ความจุ 50 มิลลิเมตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ดู aliquot ปริมาตร 20 มิลลิตร ลงใน distillation flask เติม 10 N NaOH 5 มิลลิลิตร กลั่นจนได้สารละลายประมาณ 30 มิลลิลิตร เก็บ NH<sub>3</sub> ที่กลั่นได้ใน สารละลาย boric acid indicator ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วย 0.025 N HCl (ทศนิยม, 2542)

Total N (%) =  $((A-B)C \times 1.4 \times 5) / D$

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) การประเมินค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอน และเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน จะขึ้นกับวิธีที่วิเคราะห์ ซึ่งจะมีผลต่อค่า C/N ratio ในการรายงานค่า C/N ratio จึงจำเป็นต้องระบุวิธีการวิเคราะห์ โดยสามารถคำนวณ C/N ratio ได้จากสูตรดังนี้ (พัชรี, 2552)

C/N ratio =  $C (\%) / N (\%)$

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II ((0.1 N HCl + 0.03 N NH<sub>4</sub>F (ทศนิยม, 2542)) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม เติมน้ำยาสกัด Bray II 50 มิลลิลิตร ปิดจุกยางเขย่า 60 วินาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรอง เก็บสารละลายใส่ขวดพลาสติก จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตรใส่ลง volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม 2% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 5 มิลลิลิตร Murphy's reagent 2 มิลลิลิตร และ 2.5% Ascorbic acid solution 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ทิ้งไว้ 5-10 นาที ทำการวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร โดยทำ standard ที่ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ppm ตามลำดับ คำนวณหาค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ดังสูตรต่อไปนี้

ให้ ratio ของ solution : soil = Y

P (mgL<sup>-1</sup>) ที่ได้ได้จาก standard curve = Z

P (mg kg<sup>-1</sup>) =  $Z \times Y \times \text{final vol. (ml)} / \text{Aliquot used (ml)}$

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งตัวอย่าง 5 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติมน้ำยาสกัด 1N NH<sub>4</sub>OAc pH 7 ปริมาตร 50 ml ปิดจุกยาง เขย่าด้วยเครื่อง 30 นาที แล้วกรองตัวอย่าง เก็บสารละลายตัวอย่างลงขวดพลาสติก นำสารละลายตัวอย่างวัดความเข้มข้นของ K ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยเปรียบเทียบกับ standard คำนวณหาค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ทศนิยม, 2542) ดังสูตรต่อไปนี้

Exch. K (ppm) =  $\text{ppm from curve} \times [(\text{final volume (ml)}) \times \text{Extractant (ml)}] / \text{Aliquot (ml)} \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$

## ผลและวิจารณ์

เชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 ซึ่งแยกจากผักตบชวาด้วยวิธีการ enrichment ได้ทำการคัดเลือกเบื้องต้นพบว่ามีประสิทธิภาพดีในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายลิกนินและเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในผักตบชวา จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายผักตบชวา ในการผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวาหรือปุ๋ยหมักแบบผสม (co-compost) โดยในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดเป็นหัวเชื้อเร่งการย่อยสลายผักตบชวาในสภาพจำลอง โดยใช้วัสดุต่างชนิดได้แก่ ผักตบชวา ชีวแห้ง และฟางข้าว ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



ออกแบบการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลา 60 วันโดยผลการทดลองปรากฏดังนี้

### ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM)

ผลการทดลองพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในกองปุ๋ยหมักผักตบชวา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกระยะดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าที่ระยะ 0 วัน มีค่าระหว่าง 24.71 ถึง 27.71% โดยตำรับที่ 3 มีค่ามากที่สุด 27.71% ไม่แตกต่างจากตำรับที่ 4 และ 5 ส่วนตำรับที่ 1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มต้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการหมักโดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะ 45 วัน โดยตำรับที่ 5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดในขณะที่ตำรับที่ 1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด (20.71 และ 13.9% ตามลำดับ) จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งที่ระยะ 60 วัน

### อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในกองปุ๋ยหมักผักตบชวา ที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกตำรับทดลองและในทุกระยะของการเก็บข้อมูล (ภาพที่ 2) โดย C/N ratio ของวัสดุหมักเริ่มต้น (0 วัน) มีค่าตั้งแต่ 109.07 ถึง 125.04 และ C:N ratio ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยตำรับทดลองที่ 1 มี C/N ratio ลดลงมากที่สุด และลดลงอย่างต่อเนื่อง มีค่าระหว่าง 63.70 ถึง 106.92 โดยตำรับที่ 5 มีค่ามากที่สุด ที่ระยะ 30 วัน พบว่าตำรับทดลองที่ 2 มีค่า C/N ratio ลดลงอย่างรวดเร็วไม่แตกต่างกับตำรับทดลองที่ 1 (42.85 และ 42.43 ตามลำดับ) ในขณะที่ตำรับทดลองที่ 4 และ 5 มีอัตราการลดลงของ C/N ratio น้อยที่สุด (79.26 และ 84.35 ตามลำดับ) และที่ระยะเวลา 45 วันของการหมัก พบว่าตำรับทดลองที่ 1 มีค่า C:N ratio ลดลงมากที่สุดมีค่า 19.55 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายและกลายเป็นปุ๋ยหมักโดยสมบูรณ์ ในขณะที่ตำรับที่ 2 ถึง 5 มี C/N ratio กว้างโดยมีค่ามากกว่า 20 (อยู่ในช่วง 26.07-45.35) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ยังมีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ โดยตำรับทดลองที่ 5 มีค่า C/N ratio กว้างที่สุดคือ 45.45 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ในตำรับทดลองที่ 1 คือผักตบชวาเพียงอย่างเดียว

เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวา เมื่อใช้ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 โดยกระบวนการหมักเกิดขึ้นสมบูรณ์ในระยะเวลา 45 วัน ในขณะที่ตำรับทดลองที่ 2-5 การย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์

### ค่าพีเอช (pH)

จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชของวัสดุหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในทุกระยะของการหมัก (ภาพที่ 3) โดยวัสดุหมักเริ่มต้นในทุกตำรับมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.50-6.80 โดยตำรับทดลองที่ 1 มีพีเอชเริ่มต้นสูงที่สุดคือ 6.80 และตำรับทดลองที่ 3 มีพีเอชต่ำสุดคือ 6.50 นอกจากนี้พบว่าค่าพีเอชในทุกตำรับทดลองมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการหมัก โดยที่ระยะ 15 วัน ตำรับที่ 4 มีค่าพีเอชสูงสุดเท่ากับ 7.2 ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองที่ 3 ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.15 ส่วนตำรับทดลองอื่นๆ มีค่าพีเอชต่ำกว่า 7.0 ที่ระยะ 30 วันพบว่า ตำรับทดลองที่ 4 และ 5 มีพีเอชเพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 7.30 ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับที่ 3 ซึ่งมีค่าพีเอช 7.27 ส่วนตำรับทดลองที่ 2 มีค่าพีเอชต่ำที่สุดคือ 6.85 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่ 1 ที่ระยะ 45 วัน พบว่าทุกตำรับทดลองมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นสูงกว่า 7.0 โดยตำรับทดลองที่ 5 มีพีเอชสูงสุด คือ 7.6 รองลงมาคือตำรับที่ 2 4 และ 3 โดยตำรับทดลองที่ 1 มีพีเอชต่ำสุดคือ 7.0 เป็นที่น่า

สังเกตว่าที่ระยะ 45 ต่ำรับทดลองที่ 1 มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของพีเอช พบว่ามีพีเอช 7.00 ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้เป็นปุ๋ยหมักเนื่องจากสลายตัวได้สมบูรณ์และมีค่าในช่วงเป็นกลางซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อพืช อย่างไรก็ตามที่ระยะ 60 วันพบว่าพีเอชของวัสดุหมักยังคงเพิ่มขึ้นในทุกต่ำรับทดลองและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

### ค่าการนำไฟฟ้า ( $E_c$ )

พบว่าค่าการนำไฟฟ้าที่ระยะ 0 วันของทุกต่ำรับไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยอยู่ในช่วง 6.91-7.11 dS/m จากนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นทุกต่ำรับทดลองโดยเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะ 45 วันของการหมัก จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะ 60 วัน โดยที่ระยะ 60 วันต่ำรับที่ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุดคือ 4.37 dS/m ในขณะที่ต่ำรับที่ 5 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ 5.87 dS/m ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักเกิดจากการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ซึ่งจะมีการปลดปล่อย mineral salts ส่งผลให้ค่า EC เพิ่มขึ้นในช่วงแรก (Huang et al., 2004; Cáceres et al., 2006) และหลังจากนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจน (Cameiro et al., 2013)

### ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)

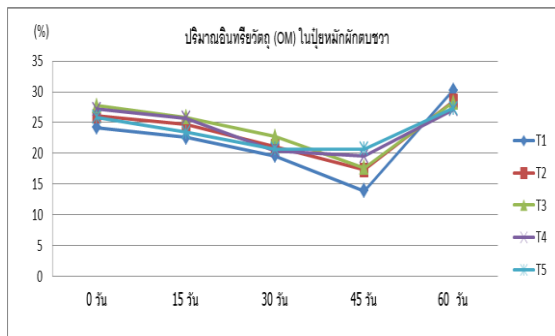
การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยหมักผักตบชวา ที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกระยะของการเก็บข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าที่ระยะ 0 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของทุกต่ำรับอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.7% โดยต่ำรับที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นสูงสุดไม่แตกต่างจากต่ำรับที่ 4 และ 5 ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการหมักความหลากหลายด้านชนิดจึงมีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นที่สูง อย่างไรก็ตามต่ำรับทดลองที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุดเนื่องจากมีผักตบชวาเป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียว ที่เวลา 15 30 45 และ 60 วันพบว่าทุกต่ำรับทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยต่ำรับทดลองที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในทุกระยะเมื่อเปรียบเทียบกับต่ำรับทดลองอื่นๆ โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในวันที่ 45 ของการหมักคือ 3.1% ส่วนต่ำรับทดลองที่ 2-5 มีปริมาณไนโตรเจนในช่วง 2.2-2.7 % และเป็นที่น่าสนใจว่าต่ำรับที่มีองค์ประกอบของวัสดุหมักหลายชนิดจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด ที่ระยะ 60 วันพบว่าทุกต่ำรับทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลง โดยต่ำรับทดลองที่ 1 ยังคงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด

### ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)

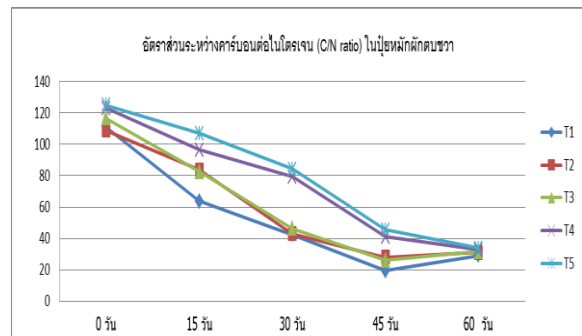
การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในปุ๋ยหมักผักตบชวา พบว่าวัสดุหมักเริ่มต้นที่ระยะ 0 วันมีความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยต่ำรับทดลองที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดเท่ากับ 25 mg/kg. ไม่แตกต่างกับต่ำรับที่ 4 และ 5 ในขณะที่ต่ำรับที่ 1 ซึ่งมีผักตบชวาเป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุดคือ 15 mg/kg. ที่ระยะ 15 วันปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกต่ำรับทดลองและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยต่ำรับที่ 2-5 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ต่ำรับทดลองที่ 1 ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุดที่ระยะ 30 วันทุกต่ำรับมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 30-33 mg/kg. โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าทุกต่ำรับทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดที่ระยะ 45 วัน โดยต่ำรับที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดไม่แตกต่างจากต่ำรับที่ 2 4 และ 5 โดยทั้ง 4 ต่ำรับมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 40-43 mg/kg. ในขณะที่ต่ำรับที่ 1 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุด ที่ระยะ 60 วันของการหมักพบว่าทุกต่ำรับมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างมากโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 6)

## โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

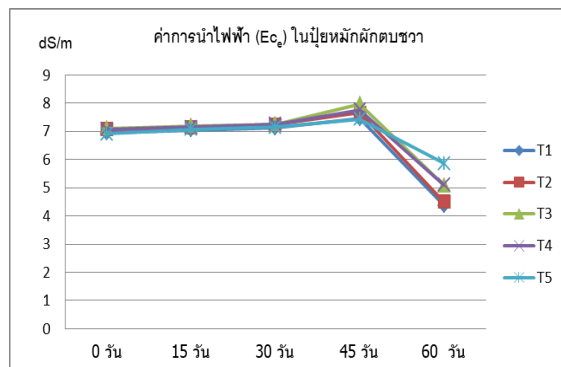
พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มลดลงทุกตำรับทดลองในทุกช่วงระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง ที่ระยะเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด โดยตำรับที่ 5 มีปริมาณสูงสุดไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับที่ 3 และ 4 ในขณะที่ตำรับที่ 1 มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงต่ำสุดที่ระยะ 60 วัน โดยตำรับที่ 5 มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุด 87 mg./kg. ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับอื่นๆ ส่วนตำรับที่ 1 มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำสุดคือ 33 mg./kg. (ภาพที่ 7) จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณอินทรีย์วัตถุ C/N ratio และค่าการนำไฟฟ้าจะลดลง ในขณะที่ pH และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น สารประกอบลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตปุ๋ยหมักจากชีวมวลของพืชซึ่งเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์เร่งการย่อยสลายของคัพระกอบของเซลล์พืชรวมไปถึงสารประกอบลิกโนเซลลูโลส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและทางเคมีเกิดเป็นสารที่มีความคงตัวสูงและมีความเหมาะสมที่จะใช้ยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Kausar et al. 2010, Amira et al. 2011)



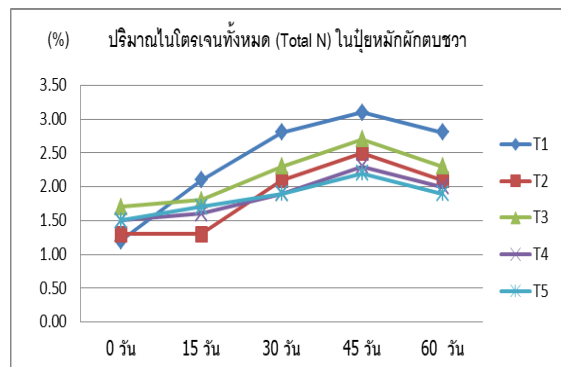
ภาพที่ 1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักผักตบชวา



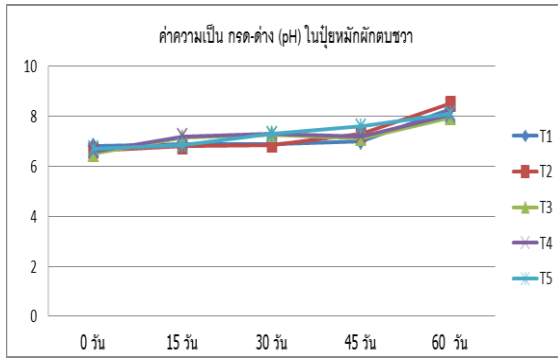
ภาพที่ 2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักผักตบชวา



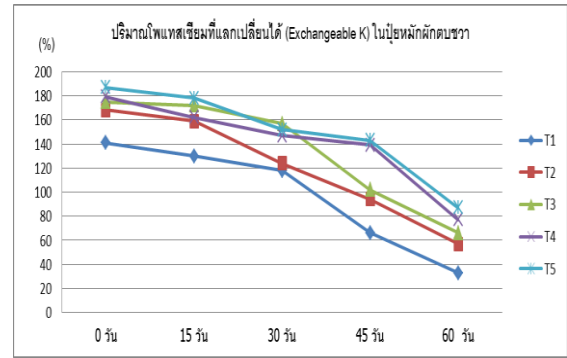
ภาพที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยหมักผักตบชวา



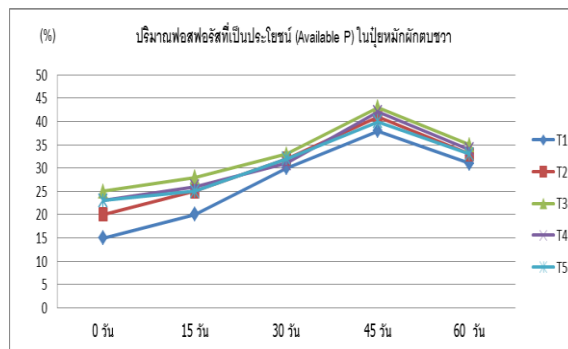
ภาพที่ 4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักผักตบชวา



ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรดต่างในปุ๋ยหมักผักตบชวา



ภาพที่ 6 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปุ๋ยหมักผักตบชวา



ภาพที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักผักตบชวา

ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินในรูปของหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เมื่อมีแหล่งพลังงานมากจะเร่งให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารประกอบลิกนินเซลลูโลสให้กลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็ว ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยหมักคุณภาพสูงควรมีการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการเร่งกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักได้ (JIANG et al., 2015b) แต่จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นหัวเชื้อนั้นจำเป็นต้องถูกคัดเลือกจากคุณสมบัติและชนิดของวัสดุที่ใช้การผลิตจึงจะสามารถเร่งการย่อยสลายได้ (VARGAS-GARCIA et al., 2010) ในการทดลองนี้ *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 ได้ทำการแยกจากผักตบชวาที่กำลังย่อยสลาย

การคัดเลือกจากประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนิน โดย *Bacillus* sp. Wh19 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีที่สุด และ *Bacillus* sp. Wh39 มีประสิทธิภาพดีในการผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายลิกนิน จึงนำมาใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสมในการเร่งการย่อยสลายผักตบชวา อย่างไรก็ตามพบว่าการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีการย่อยสลายอย่างจำเพาะเจาะจงอาจมีกิจกรรมที่ดีในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จำกัดอันจะเห็นได้จากการย่อยสลายผักตบชวาได้อย่างรวดเร็ว แต่ในตำรับที่มีการใช้วัสดุในการหมักที่มีความหลากหลายหรือมีความแตกต่างด้านโครงสร้างทางเคมี โดยตำรับที่มีมูลวัวและฟางข้าวเป็นส่วนประกอบพบว่าระยะเวลาการหมัก อัตราเร็วในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ การปลดปล่อยธาตุอาหารจะเกิดได้ช้ากว่า เนื่องจากหัวเชื้อจุลินทรีย์มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้อย่างจำกัดหรือผลิตเอนไซม์ได้ไม่หลากหลายชนิดเพียงพอที่เร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนขึ้น

## สรุปผลการทดลอง

หัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. Wh19 และ *Bacillus* sp. Wh39 มีความเหมาะสมในการใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสมเร่งการย่อยสลายผักตบชวา ในการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวา โดยการหมักโดยใช้ผักตบชวาเพียงอย่างเดียวมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยใช้ระยะเวลาการหมักนาน 45 วัน และส่งผลให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดถึง 3.1% ซึ่งสูงกว่าตัวรับอื่นๆ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 38 mg./kg. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 66 mg./kg.

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์ และสถานที่ทำวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

กลุ่มงานวิจัยพืช. 2550. โครงการกำจัดวัชพืชในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, จังหวัดนครศรีธรรมราช.

จามจุรี เกตุบัวขาว. 2555. การคัดแยกแอคติโนมัยซีทจากมูลสัตว์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุทางการเกษตรเบื้องต้น. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ทิพวรรณ แต่งสวน. 2553. การคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากมูลสุกร. สาขาวิชา เทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์และจรัสจันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชรี ธีรจินดาขาว. 2552. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้า, 2554

สมคิด ดิสถาพร. 2549. เกษตรอินทรีย์มาตรฐานสากล, กรุงเทพฯ

สุรพงศ์ คุณา. 2559. ผลของเชื้อราย่อยสลายและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก

ผักตบชวา วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ ปีที่ 3 ฉบับพิเศษ (III): M08/1-7, 2559

สุภาพร บัวชุม. 2559. การทำ ปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง. สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรเกษตรเขตร้อน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดนครศรีธรรมราช.

Kausar H, Sariah M, Saud HM, Alam MZ, Ismail MR (2010) Development of compatible lignocellulolytic fungal consortium for rapid composting of rice straw. Intl. Biodeter. Biodegrad. 64:594-600

Amira RD, Roshanida AR, Rosli MI, Zahrah MFSF, Anuar JM, Adha CMN (2011) Bioconversion of empty fruit bunches (EFB) and palm oil mill effluent (POME) into compost using *Trichoderma virens*. African J. Biotechnol. 10:18775-18780

JIANG, T.; LI, G.; TANG, Q.; MA, X.; WANG, G.; SCHUCHARDT, F. Effects of aeration method and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting of pig feces in pilot scale. The Journal of Environmental Sciences, Los Angeles, v.31, p. 124-132, 2015b

VARGAS-GARCIA, M. C.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; LÓPEZ, M. J.; MORENO, J. Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials. Waste Management, Elmsford, v. 30, p. 771-778, 2010.

# ฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

## Tyrosinase inhibitory activity of extracts from agricultural by-products

เพียงใจ เลิศศรี<sup>1</sup> และ ปราโมทย์ คูวิจิตรจารู<sup>1</sup>

Peangjai Lerdsri<sup>1</sup> and Pramote Khuwijitjaru<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของพอลิฟีนอลออกซิเดสที่เป็นสาเหตุหลักของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ โดยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดจากข้าวและข้าวโพด ได้แก่ รำข้าว, แกลบ, ฟาง, ต้นข้าวโพด, เปลือกฝักข้าวโพด, ชังข้าวโพดและไหมข้าวโพด ซึ่งสกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้สารตั้งต้นของเอนไซม์สองชนิดคือ L-DOPA และ L-tyrosine จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดของชังข้าวโพดมีฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุด คือร้อยละ 71.27/10 mg dry extract สำหรับสารตั้งต้น L-DOPA และร้อยละ 35.19/10 mg dry extract สำหรับสารตั้งต้น L-tyrosine

**คำสำคัญ :** เอนไซม์ไทโรซิเนส, โดพามีน, ไทโรซีน, การเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

### Abstract

Tyrosinase is an enzyme in the group of polyphenol oxidase which is the main cause of enzymatic browning in fruits and vegetables. The enzyme catalyzes oxidation of phenolic compounds in raw materials into dark color pigment. The objective of this research was to evaluate the tyrosinase inhibitory activity of extracts from by-products of rice and corn including rice bran, rice husk, rice straw, corn stalk, corn husk, corncob, and corn silk. All by-products were extracted with distilled water at 40 °C for 1h. Two substrates for tyrosinase namely L-DOPA and L-tyrosine were used. The results indicated that corncob extract showed the highest tyrosinase inhibitory activities of 71.27%/10 mg dry extract and 35.19%/10 mg dry extract for L-DOPA and L-tyrosine, respectively.

**Keywords :** Tyrosinase, L-DOPA, L-tyrosine, enzymatic browning

---

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning) ในผักและผลไม้ เกิดขึ้นเมื่อมีการฉีกขาดของเซลล์ เช่น การปอกเปลือกหรือการตัดแต่งเพื่อรอกกระบวนการแปรรูป โดยการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในกลุ่มพอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกประเภทโมโนฟีนอล (monophenol) และไดฟีนอล (diphenols) (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009) โดยเริ่มต้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในผักและผลไม้ เกิดเป็นสารอโร-ควิโนน (o-quinone) จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) ได้เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ที่ละลายน้ำได้น้อยซึ่งให้สีน้ำตาลเรียกว่าเมลานอยดีน (melanoidin) โดยปัจจัยในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอล, ค่าความเป็นกรดต่าง, อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจน (Martinez & Whitaker, 1995) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้เป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้ตัดแต่ง และนำไปสู่สาเหตุของอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง ปัจจุบันในท้องตลาดมีผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ซึ่งให้ผลดีแต่มีผลข้างเคียงต่อผู้บริโภคในบางกลุ่ม โดยองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) รายงานว่าประมาณร้อยละหนึ่งของคนในสหรัฐอเมริกาที่มีอาการแพ้สารกลุ่มนี้ และอีก 5% ของคนที่เป็นโรคหอบหืดจะเกิดการแพ้ได้ง่ายเมื่อได้รับสารกลุ่มนี้เช่นกัน นอกจากนี้ในบางครั้งยังก่อให้เกิดกลิ่นผิดปกติในผลิตภัณฑ์อาหารและไม่เป็นที่ยอมรับในบางตลาดอีกด้วย (Stoys & Miller, 2014) ดังนั้นสารสกัดจากธรรมชาติจึงเป็นที่ได้รับความสนใจมากขึ้นเพื่อนำมาใช้ในชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีสารประกอบฟีนอลบางชนิด ได้แก่ cinnamic acid, p-coumaric acid, และ ferulic acid ที่สามารถนำมาใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของมันฝรั่งและแอปเปิลบดได้โดยเข้าทำปฏิกิริยากับ PPO แทนที่สารประกอบฟีนอลที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (Sukhonthara, Kaewka, & Theerakulkait, 2016) ทั้งนี้จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถนำสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของข้าวและข้าวโพดมาสกัดหาสารที่สำคัญ เพื่อจะสามารถนำไปใช้ชะลอการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ต่อไป

เอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่มของพอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งได้ทั้งปฏิกิริยาไฮโดรซิเลชัน (hydroxylation) ของสารตั้งต้นที่เป็น monophenol และออกซิเดชัน (oxidation) ของสารตั้งต้นที่เป็น diphenol เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Loizzo, Tundis, & Menichini, 2012) ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ที่มีขายทางการค้าเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดสีน้ำตาล ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาผลการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในข้าวและข้าวโพด

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของไทยจากข้าวและข้าวโพดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ

## อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ มีดังนี้ รำข้าวอินทรีย์, แกลบอินทรีย์ และฟางข้าวอินทรีย์ จากข้าวพันธุ์ปิ่นเกษตร จากเกษตรจังหวัด นครปฐม ต้นข้าวโพด, เปลือกฝักข้าวโพด, ไหมข้าวโพด และซังข้าวโพด จากข้าวโพดแป็งอาหารสัตว์พันธุ์ 328 จากเกษตรจังหวัดพิจิตร จากนั้นนำวัตถุดิบไปล้างทำความสะอาด และอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 mm โดยใช้เครื่อง Hammer mill ก่อนนำตัวอย่างไปผ่านการสกัด

การสกัดตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร (กรณีต้นข้าวโพดใช้ ตัวอย่าง 5 กรัม ผสมน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร) และปั่นผสมด้วยเครื่องฮอโมจีไนเซอร์ (IKA รุ่น T 25 digital Ultra-Turrax , Germany) ที่ความเร็วรอบ 17,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที นำของผสมกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิภายในขวด 40 °C ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ กรองตัวอย่างผ่านผ้ากรองชนิดไนลอนที่มีความละเอียด 32 ไมโครเมตร ซ้อนอีกชั้นด้วยผ้าขาวบาง โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นนำกากที่กรองแล้วมาผสม กับน้ำกลั่นอีก 150 มิลลิลิตร และปั่นผสมด้วยเครื่องฮอโมจีไนเซอร์ที่ความเร็วรอบ 17,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปกรองเช่นเดียวกับข้อ 2 ซ้ำอีกครั้ง สารละลายที่กรองได้ นำไประเหยน้ำออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ความเร็วรอบ 75 rpm ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนสารละลายเหลือ 10 มิลลิลิตร (กรณีต้นข้าวโพด ระเหยตัวอย่างจนเหลือสารละลาย 5 มิลลิลิตร) หลังจากนั้นนำสารสกัดไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hettich รุ่น Universal 16, Germany) ที่ความเร็ว 8000 rpm เป็นเวลา 25 นาที จะได้สารละลายส่วนใสและนำไปใช้เพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ทำการสกัดตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสนั้นจะคิดเทียบกับ 10 mg dry extract โดยปริมาณ dry extract นั้นได้จากการนำสารสกัดส่วนใสไปหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากการทำแห้งด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ

ทดสอบความสามารถการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส เตรียมฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 6.8 ความเข้มข้น 40 mM หลังจากนั้นเตรียม L-tyrosine และ L-DOPA ความเข้มข้น 1.125 mM ด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 6.8 และปิเปต L-tyrosine 0.7 มิลลิลิตร หรือ L-DOPA 0.8 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง หลังจากนั้นปิเปตน้ำหรือสารสกัดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (โดยใช้น้ำเป็น Control) และผสมโดยใช้เครื่อง Vortex ให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมเอนไซม์ไทโรซิเนส (100 U/mL) (tyrosinase from mushroom, Sigma- Aldrich, USA) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร สำหรับ L-tyrosine หรือ 0.1 มิลลิลิตร สำหรับ L-DOPA และผสมให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสง 475 นาโนเมตร (L-tyrosine 15 นาที หรือ L-DOPA 5 นาที) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Genesys 10s spectrophotometer, USA ) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสูตรด้านล่าง (Liang, Wu, Qiu, Zhong, & Gao, 2014)

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[ \frac{(\text{absorbance of control} - \text{absorbance of the test sample})}{\text{absorbance of control}} \right] \times 100$$



การใช้สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 16.0 for Windows Evaluation Version ที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

## ผลและวิจารณ์

การทดสอบความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส พบว่าสีเริ่มต้นของสารสกัดฟางข้าว ต้นข้าวโพด และไหมข้าวโพด มีความเข้มมากเกินไป ซึ่งไม่สามารถนำมาทดสอบได้ จึงเหลือสารสกัดเพียง 4 ชนิดที่ไม่มีปัญหา เกี่ยวกับค่าสีเริ่มต้นของตัวอย่าง ได้แก่ รำข้าว แกลบ ชัง ข้าวโพด และเปลือกฝักข้าวโพด ดังภาพที่ 1

จากการนำสารสกัดที่ได้จาก แกลบ รำข้าว เปลือกฝักข้าวโพด และชังข้าวโพด ไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส โดยใช้สารตั้งต้นสองตัว คือ L-tyrosine และ L-DOPA เพื่อดูทั้งสองปฏิกิริยา คือ ไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) และออกซิเดชัน (oxidation) ของการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ผลการทดลองพบว่าชังข้าวโพดมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงถึง 71.27%/10 mg dry extract ในสารตั้งต้น L-DOPA และ 35.19%/10 mg dry extract ในสารตั้งต้น L-tyrosine แตกต่างกับสารสกัดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) สูงกว่าสารสกัดจากรำข้าวซึ่งเคยมีรายงานการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมาก่อน (Sukhonthara et al., 2016) ดังแสดงในรูปที่ 2 การที่สารสกัดจากข้าวและข้าวโพดมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในสารตั้งต้น L-DOPA มากกว่าในสารตั้งต้นที่เป็น L-tyrosine หมายความว่าสารสกัดมีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของสารตั้งต้นประเภทไดฟีนอล (diphenol) มากกว่าปฏิกิริยาไฮโดรซิเลชัน (hydroxylation) ของสารตั้งต้นประเภทโมโนฟีนอล (monophenol) จากงานวิจัยของ Vazquez-Olivo, López-Martínez, Contreras-Angulo, and Heredia (2019) ที่ได้ทำการสกัดชังข้าวโพดเพื่อดูสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญนั้น พบว่าองค์ประกอบที่น่าสนใจในสารสกัดชังข้าวโพดคือสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) นั่นคือ *p*-coumaric acid และ ferulic acid ซึ่งในสารทั้งสองมีรายงานว่าสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลตัดแต่งอีกด้วย (Sukhonthara et al., 2016) โดย *p*-coumaric acid ทำหน้าที่เหมือนสารตั้งต้น (substrate analog) ของไทโรซิน (tyrosine) ซึ่งสามารถยับยั้งได้ทั้งเอนไซม์ที่เป็นโมโนฟีนอลเลส (monophenolase) และไดฟีนอลเลส (diphenolase) ในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Qiu et al., 2009) ดังนั้นสารสกัดจากชังข้าวโพดจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้เพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลในฝักและผลไม้ตัดแต่ง

## สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสารสกัดจากชังข้าวโพด มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุดสำหรับทั้งสองสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำสารสกัดจากชังข้าวโพดมาใช้ในการยับยั้งการ

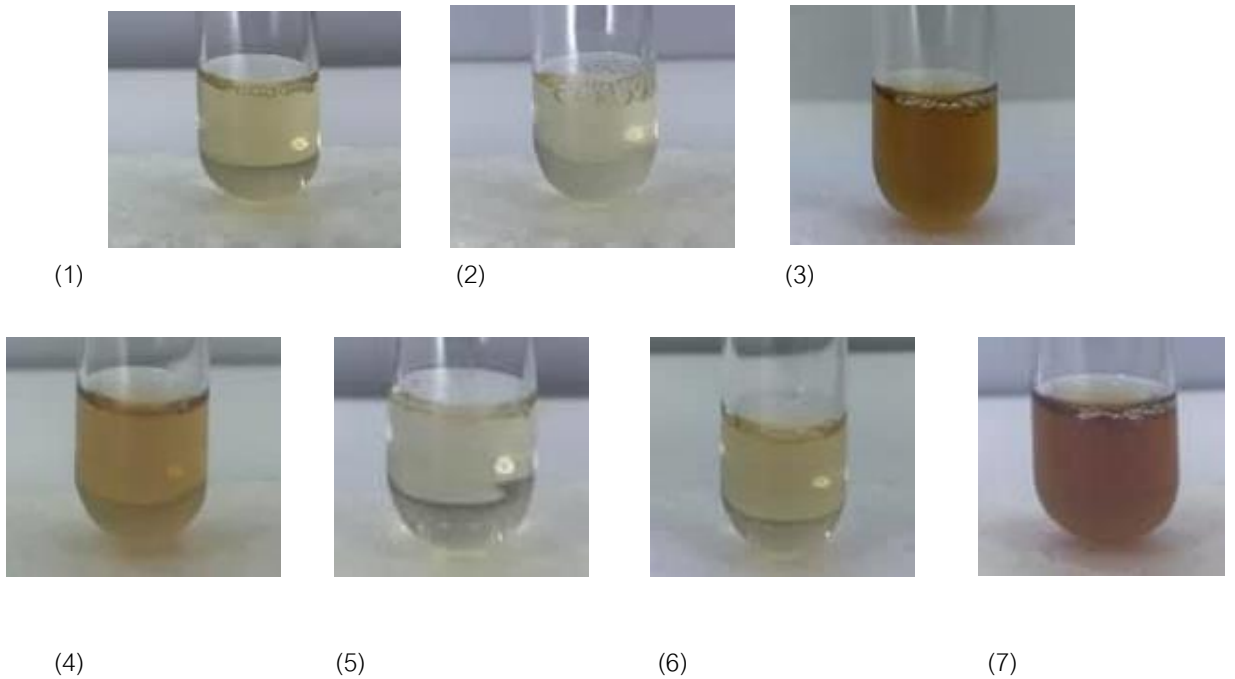
เกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในผักและผลไม้ ทั้งนี้จำเป็นต้องหาสภาวะของการสกัดที่เหมาะสมอีกด้วยเพื่อให้สามารถสกัดองค์ประกอบที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ออกมาได้มากที่สุด

## คำขอบคุณ

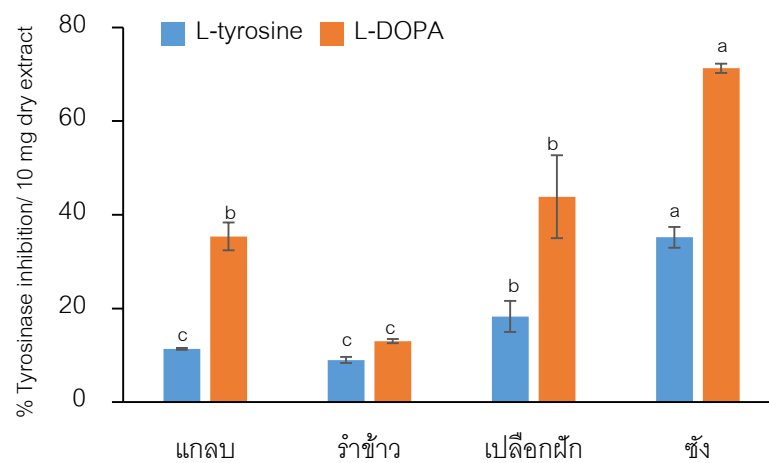
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยเรื่อง “การสกัดและฤทธิ์การต้านการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร” ได้รับทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2560 (SURDI 60/02/32.03) ผ่านสำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## เอกสารอ้างอิง

- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Liang, X., Wu, Y. P., Qiu, J. H., Zhong, K., & Gao, H. (2014). A potent antibrowning agent from pine needles of *Cedrus deodara*: 2R,3R-dihydromyricetin. *Journal of Food Science*, 79(9), 1643-1648.
- Loizzo, M. R., Tundis, R., & Menichini, F. (2012). Natural and synthetic tyrosinase inhibitors as antibrowning agents: an update. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 378-398.
- Martinez, M. V., & Whitaker, J. R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 195-200.
- Qiu, L., Chen, Q.-H., Zhuang, J.-X., Zhong, X., Zhou, J.-J., Guo, Y.-J., & Chen, Q.-X. (2009). Inhibitory effects of  $\alpha$ -cyano-4-hydroxycinnamic acid on the activity of mushroom tyrosinase. *Food Chemistry*, 112, 609-613.
- Stohs, S. J., & Miller, M. J. S. (2014). A case study involving allergic reactions to sulfur-containing compounds including, sulfite, taurine, acesulfame potassium and sulfonamides. *Food and Chemical Toxicology*, 63, 240-243.
- Sukhonthara, S., Kaewka, K., & Theerakulkait, C. (2016). Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree. *Food Chemistry*, 190, 922-927.
- Vazquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L., & Heredia, J. B. (2019). Antioxidant capacity of lignin and phenolic compounds from corn stover. *Waste and Biomass Valorization*, 10(1), 95-102.



ภาพที่ 1 สีของสารสกัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของข้าวและข้าวโพด (1) รำข้าว (2) แกลบ (3) ฟางข้าว (4) ต้นข้าวโพด (5) ชังข้าวโพด (6) เปลือกฝักข้าวโพด (7) ไหมข้าวโพด



ภาพที่ 2 ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดวัสดุเหลือทิ้งของข้าวและข้าวโพด (ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

## The treatment of gait rehabilitation in patients with spinal cord injury: A systematic review and direct meta-analysis

Tanyaporn Patathong<sup>1,2</sup>, Krongkaew Klaewkasikum<sup>1,2</sup>, Patarawan Woratanarat<sup>1,2</sup>, Ammarin Thakkinstian<sup>1</sup>, Thunyarat Anothaisintawee<sup>1,3</sup>, Sasivimol Rattanasiri<sup>1</sup>

Master of Science Program in Medical Epidemiology, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

### Abstract

**Introduction:** There is unclear evidence about the efficacy of gait rehabilitation to improve walking ability in incomplete spinal cord injury (SCI). We aimed to estimate the treatment effect of different interventions in terms of velocity, distance, and Walking Index Spinal Cord injury (WISC). **Method:** The MEDLINE and Scopus databases, along with previous systematic reviews and reference lists, were searched from an inception to December 2019. We recruited randomized controlled trials comparing any of the following interventions; conventional physical therapy (CPT), treadmill (TM), and robotic assist gait training (RAGT). The outcomes of interest either velocity, distance, or WISC were included. Data extraction and meta-analysis were done to estimate the treatment effects of different interventions (unstandardized mean difference; USMD) using random-effects or fixed-effects model according to the heterogeneity (Q test and  $I^2$ ). **Results:** From the identified 3,192 studies, 14 studies (515 participants) met the inclusion criteria. Mean age was 42.91 years with ASIA grade B to D. Comparing to CPT, RAGT group demonstrated a significant WISC improvement with a pooled USMD 3.28 (95% CI 0.12, 6.45,  $P=0.04$ ,  $I^2=88.58\%$ , 245 participants), while TM was non-significant difference. Subgroup analysis, acute-RAGT improved velocity 0.1 m/s (95% CI 0.05, 0.14,  $I^2=0\%$ ) and distance 64.75 m (95% CI 27.24, 102.27,  $I^2=54.63\%$ ) greater than CPT. The study quality was moderate, and no publication bias was detected. **Conclusion:** RAGT showed a significant improvement of WISC score when compared CPT-trained. However, it improves the velocity and distance of walking only in the acute phase of incomplete SCI patients.

**Keyword:** Incomplete, spinal cord, injury, gait, rehabilitation

<sup>1</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, 10440, Thailand

<sup>2</sup>Department of Orthopedic, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, 10440, Thailand

<sup>3</sup>Department of Family medicine, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, 10440, Thailand

## **Introduction**

Spinal cord injury (SCI) disrupts lower limb motor function and sensation. It severely impacts a person's lifestyle, overall health, and quality of life. In addition, It is a substantial economic burden on families and societies (Kang et al., 2017; Pickelsimer et al., 2010). The prevalence of SCI ranges around 440 to 526 per million people. There are two types of SCIs: Complete and Incomplete SCI. A complete SCI patient, over-ground gait training, has no clinical effect on the recovery of the patient, hence, maintaining the remaining ability of patients such as bed mobility or wheelchair training is essential (Waters et al., 1992). Whereas, an Incomplete SCI patient, gait rehabilitation strategies, is used to regain the maximum ability of functions, such as standing or walking (Field-Fote et al., 2005; Wirz et al., 2005)

Gait training helps the patient regain the ability to walk with an assistive device or orthotic as needed. Gait training interventions are classified into three main groups: 1) Conventional physical therapy (CPT) includes strengthening, mobility and ambulatory training and helps regain mobility and prevent secondary complications; 2) Treadmill (TM) is a gait training device among which body weight-supported treadmill training (BWSTT) which is one of the most outstanding techniques; 3) Orthotic gait training uses three types of orthotics devices to regain walking ability: mechanical orthotic, hybrid orthotic, and robotic assist gait training (RAGT) (Arazpour et al., 2016).

In the literature, there was insufficient evidence to conclude that anyone's approach is more effective than any other for improving the walking function in SCI patients (Lisa A Harvey et al., 2016; Mehrholz et al., 2012; ZHANG et al., 2009). Beside, inconclusive results might make the clinician or therapist use the inappropriate intervention and might waste the precious time of the rehabilitation process of the patient. This study included new studies which are not comprised in the past reviews.

## **Research Objective**

We aim to estimate the treatment effect of different interventions in terms of velocity, distance, and the Walking Index Spinal Cord injury (WISC)

## **Research Methodology**

A systematic review and meta-analysis was performed according to the PRISMA guidelines (Liberati et al., 2009) after registration in PROSPERO (ID: CRD42019145797). MEDLINE via PubMed, and SCOPUS databases were searched. The previous systematic reviews and reference lists of selected studies were also explored up to December 2019.

Studies were selected by the reviewer based on the title and abstract of the studies and re-checked by the co-reviewer. In case of indecision, full articles were reviewed. Randomized controlled trials (RCTs) were selected if conducted in incomplete SCI patients with the ASIA scale classification grade B, C, and D; comparing any pair of following interventions: conventional physical therapy (CPT), treadmill (TM), an orthotic (ORT) for gait training; with the outcome velocity, distance

or the walking index for spinal cord injury version I&II (WISC I& II). Studies with multiple publications, providing a similar treatment effect in the same outcome, insufficient data for pooling and published in languages which the reviewer cannot translate and interpret were excluded.

Data extraction independently extracted by 2 reviewers using a standardized data extraction form. Quality of the studies was independently assessed by 2 reviewers using the risk of bias using the revised Cochrane risk-of-bias tool for randomized trial (ROB2) (Sterne et al., 2019). Any disagreements in data were resolved by discussion with the adviser team

For statistical analysis, the fixed-effect model was used when low heterogeneity; otherwise random-effects model was used. Heterogeneity was assessed by forest plot, Cochrane's Q test, and Higgins I<sup>2</sup> statistic test (Cochrane's Q test p-value <0.1 or Higgins I<sup>2</sup>>25%). Continuous outcomes were pooled using the unstandardized mean difference (USMD) and its 95% confidence interval; each outcome measured using the same scale. Subgroup analyses were performed for variables identified as the source of heterogeneity in a meta-regression model. Publication bias was assessed by a funnel plot and Egger's test- and contour enhanced funnel if necessary. All analyses were performed using STATA version 15.0. Two-sided  $P < 0.05$  was considered statistically significant, except for heterogeneity where  $P < 0.1$  was used.

## Results

Fourteen studies were selected for our review from a total of 3,192 studies identified from MEDLINE and Scopus. All studies used the parallel RCT design except two studies which used the cross-over design

### Velocity Outcome

In TM vs CPT, 4 studies (Alexeeva et al., 2011; Dobkin et al., 2007; Lucareli et al., 2011; Yang et al., 2014) involving 136 patients (65 patients received TM, and 71 patients received CPT) gave a non-significant USMD (95% CI) of 0.03 (-0.14, 0.19), (I<sup>2</sup>=0%, p-value=0.686). Publication bias was absent. Likewise, for RAGT vs. CPT also, 5 studies (Alcobendas-Maestro et al., 2012; Chang et al., 2018; Esclarín-Ruz et al., 2014; Labruyère & van Hedel, 2014; Tang et al., 2014) involving 185 patients (92 patients received RAGT, and 93 patients received CPT) gave a non-significant pooled USMD (95% CI) of 0.03 (-0.07, 0.12) (I<sup>2</sup>=74.19, p-value=0.004). Nevertheless, sub-group analysis by time of injury and time of training gave a statistically significant USMD (95% CI) of 0.1 (0.05, 0.14) with no evidence of heterogeneity (I<sup>2</sup>=0%, p-value=0.764). Publication bias was absent

### Distance outcome

In TM vs CPT: 3 studies (Dobkin et al., 2007; Hornby et al., 2005; Lucareli et al., 2011) involving 114 patients (56 patients received TM, and 58 patients received CPT) gave a non-significant USMD (95% CI) of 75.87 (-85.22, 236.96) (I<sup>2</sup>=99.86%, p-

value<0.001) with no publication bias. For RAGT vs CPT, the 4 studies (Alcobendas-Maestro et al., 2012; Chang et al., 2018; Esclarín-Ruz et al., 2014; Hornby et al., 2005) involving 149 patients (75 patients received RAGT, and 74 patients received CPT) gave a non-significant USMD (95% CI) of 71.85 (-40.12, 183.83), ( $I^2=99.69%$ , p-value<0.001). Sub-group analysis by time of injury produced a statistically significant USMD (95% CI) of 64.75 m (27.24, 102.27) ( $I^2=54.63%$ , p-value= 0.138) with no publication bias.

### **WISC Outcome**

In TM vs. CPT: 3 studies (Dobkin et al., 2006; Senthilvelkumar et al., 2015; Yang et al., 2014) involving 79 patients (44 patients received TM, and 35 patients received CPT) gave a non-significant pooled USMD (95% CI) of -0.08(-0.93, 0.78) ( $I^2=0%$ , p-value=0.727). Publication bias was absent. For RAGT vs CPT, 5 studies (Alcobendas-Maestro et al., 2012; Esclarín-Ruz et al., 2014; Labruyère & van Hedel, 2014; Lin et al., 2016; Shin et al., 2014) involving 245 patients (122 patients received RAGT, and 123 patients received CPT) produced a significant USMD (95% CI) about 3.28(0.12, 6.45) ( $I^2=89.6%$ , p-value<0.001). Sensitivity analysis performed after excluding one study with ASIA score grade BCD gave a significant positive mean difference of WISC score 4.09(0.84,7.35) ( $I^2=87.99%$ , p-value<0.001). Publication bias was absent.

### **Discussion**

We conducted this review to estimate the treatment effect of different interventions for incomplete SCI patients. For velocity, RAGT improved velocity than CPT group without statistical significance. However, subgroup analysis in acute-phase patients with longer than the 1-month duration of RAGT had a significantly improved velocity of walking by 0.1 m/s compared with the CPT patients. Likewise, for the distance outcome, subgroup analysis demonstrated that acute-phase patients trained by RAGT covered 64.75 m longer walking distance compared with the CPT trained patients. For the WISC outcome, RAGT produced a significantly higher WISC score compared with the CPT in incomplete SCI patient.

The velocity among the acute phase patients who were trained by RAGT had a considerable improvement compared with the CPT trained patients - which was different from the previous study (Nam et al., 2017), which did not show a significant improvement of velocity. Meanwhile, the distance among the acute phase patients who were trained by RAGT also had a considerable improvement compared with the CPT trained patients, which was similar to the previous study (Nam et al., 2017). From the literature review, The slower walking velocity of SCI patients has been associated with increased duration of the double support phase of the gait cycle (Sinatra et al., 2000). Besides, the improvement in velocity has been found to be associated with improved balance and muscle strength (Alexeeva et al., 2011). In addition, RAGT provides controlled forces to the limb during the swing phase of gait

to produce an optimal training paradigm with either assistance or resistance program (Wu et al., 2011). This advantage might improve muscle strengthening and balance of the patient - and lead RAGT to be superior to CPT. Our analyses also showed a non-significant difference of velocity between TM trained patient and the CPT trained patients which was same with the previous study (Lisa A Harvey, 2016). Additionally, RAGT produces more improvement in WISC score than the CPT trained patients which was similar to Nam et al study in 2017. As RAGT provides controlled forces to the limb with various training programs, it may enhance the muscle strengthening of the patient. Also, RAGT has advantages such as longer duration of training, higher intensity of gait and, more physiological and reproducible gait pattern.

Our study was conducted following the PRISMA guidelines. We included recently published RCTs and also included non-English language studies. Our processes of data extraction and statistical analysis were robust. There were few limitations to our review. Most studies had methodologic shortcoming such as lack of concealing allocation method (selection bias) and blinded outcome assessor, which may affect the quality of the results. Most of the studies analysed were heterogenous; and performed shorter follow-ups after training, meaning the treatment effect in each intervention may be short. Lastly, the sample sizes of some of the included studies were rather small, as reflected by a wide 95% predictive interval.

Nowadays, there is a significant variation of preferences among therapists as which gait intervention to perform. RAGT was better than CPT training alone to improve the WISC score; however, it might not be effective in all types of incomplete SCI patients. RAGT might enhance the velocity and distance of walking only among acute phase incomplete SCI patients. The cost of RAGT is too expensive compared with other interventions, with the price of RAGT now in the range of 40,000-150,000 USD (Robotics, 2016). Hence, only few hospitals are facilitated with RAGT and are unfeasible for all populations. In future, if manufacturers can produce RAGT at a cheaper price, RAGT would be the ideal treatment for SCI patients.

## **Conclusion**

RAGT showed a significantly higher WISC score compared with the CPT training alone in incomplete SCI patients. However, RAGT might not be effective in all types of incomplete SCI patients by the result of sub-group analyses showed RAGT may improve the velocity and distance of walking only in the acute phase of incomplete SCI patients. Future meta-analysis studying gait training interventions, including more outcomes such as muscle strengthening and balance is recommended to support the conclusion.

## **Acknowledgments**

I would like to express my deepest sense of gratitude to advisors Assoc. Prof. Patarawan Woratanarat, Prof. Ammarin Thakkinstian, Assoc. Prof. Thunyarat Anothaisintawee and Assoc. Prof. Sasivimol Rattanasiri for their valuable guidance, constructive advices. I would also like to thank Ms. Krongkaew Klaewkasikum, who has been an exceptional co-reviewer, Dr. Chanika Angsanuntsukh for her grateful guidance and support.



## Reference

- Alcobendas-Maestro, M., Esclarín-Ruz, A., Casado-López, R. M., Muñoz-González, A., Pérez-Mateos, G., González-Valdizán, E., & Martín, J. L. R. (2012). Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion: randomized controlled trial. *Neurorehabilitation neural repair*, 26(9), 1058-1063.
- Alexeeva, N., Sames, C., Jacobs, P. L., Hobday, L., DiStasio, M. M., Mitchell, S. A., & Calancie, B. (2011). Comparison of training methods to improve walking in persons with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial. *J Spinal Cord Med*, 34(4), 362-379.
- Arazpour, M., Bani, M. A., Mousavi, M. E., Bahramizadeh, M., & Mardani, M. A. (2016). Orthoses for Spinal Cord Injury Patients. *Recovery of Motor Function Following Spinal Cord Injury*.
- Chang, S.-H., Afzal, T., Berliner, J., & Francisco, G. E. (2018). Exoskeleton-assisted gait training to improve gait in individuals with spinal cord injury: a pilot randomized study. *Pilot feasibility studies*, 4(1), 62.
- Dobkin, B., Apple, D., Barbeau, H., Basso, M., Behrman, A., Deforge, D., . . . Fugate, L. (2006). Weight-supported treadmill vs over-ground training for walking after acute incomplete SCI. *Neurology*, 66(4), 484-493.
- Dobkin, B., Barbeau, H., Deforge, D., Ditunno, J., Elashoff, R., Apple, D., . . . Harkema, S. (2007). The evolution of walking-related outcomes over the first 12 weeks of rehabilitation for incomplete traumatic spinal cord injury: the multicenter randomized Spinal Cord Injury Locomotor Trial. *Neurorehabilitation neural repair*, 21(1), 25-35.
- Esclarín-Ruz, A., Alcobendas-Maestro, M., Casado-Lopez, R., Perez-Mateos, G., Florido-Sanchez, M. A., Gonzalez-Valdizan, E., & Martin, J. L. R. (2014). A comparison of robotic walking therapy and conventional walking therapy in individuals with upper versus lower motor neuron lesions: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine rehabilitation*, 95(6), 1023-1031.
- Field-Fote, E. C., Lindley, S. D., & Sherman, A. L. (2005). Locomotor training approaches for individuals with spinal cord injury: a preliminary report of walking-related outcomes. *J Neurol Phys Ther*, 29(3), 127-137.
- Harvey, L. A. (2016). Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries. *Journal of physiotherapy*, 62(1), 4-11.
- Harvey, L. A., Glinsky, J., & Bowden, J. L. (2016). The effectiveness of 22 commonly administered physiotherapy interventions for people with spinal cord injury: a systematic review. *Spinal Cord*, 54(11), 914-923.
- Hornby, G., Campbell, D., Zemon, D., & Kahn, J. (2005). Clinical and quantitative evaluation of robotic-assisted treadmill walking to retrain ambulation after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 11(2), 1-17.
- Kang, Y., Ding, H., Zhou, H., Wei, Z., Liu, L., Pan, D., & Feng, S. (2017). Epidemiology of worldwide spinal cord injury: a literature review. *Neurorestorator*, 6, 1-9.
- Labruyère, R., & van Hedel, H. J. (2014). Strength training versus robot-assisted gait training after incomplete spinal cord injury: a randomized pilot study in

- patients depending on walking assistance. *Journal of neuroengineering rehabilitation*, 11(1), 4.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine*, 151(4), W-65-W-94.
- Lin, H., Zhang, T., & Chen, Q. (2016). Effect of robot-assisted gait training on walking ability in patients with incomplete spinal cord injury. *Acta Automatica Sinica*, 42(12), 1832-1838.
- Lucareli, P., Lima, M., Lima, F., De Almeida, J., Brech, G., & Greve, J. D. A. (2011). Gait analysis following treadmill training with body weight support versus conventional physical therapy: a prospective randomized controlled single blind study. *Spinal Cord*, 49(9), 1001-1007.
- Mehrholtz, J., Kugler, J., & Pohl, M. (2012). Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(11).
- Nam, K. Y., Kim, H. J., Kwon, B. S., Park, J.-W., Lee, H. J., & Yoo, A. (2017). Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of neuroengineering rehabilitation*, 14(1), 24.
- Pickelsimer, E., Shiroma, E. J., & Wilson, D. A. (2010). Statewide investigation of medically attended adverse health conditions of persons with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*, 33(3), 221-231.
- Robotics, S. (2016). Overview of robotic exoskeleton suits for limb movement assist. 3.
- Senthilvelkumar, T., Magimairaj, H., Fletcher, J., Tharion, G., & George, J. J. C. r. (2015). Comparison of body weight-supported treadmill training versus body weight-supported overground training in people with incomplete tetraplegia: a pilot randomized trial. 29(1), 42-49.
- Shin, J. C., Kim, J. Y., Park, H. K., & Kim, N. Y. (2014). Effect of robotic-assisted gait training in patients with incomplete spinal cord injury. *Ann Rehabil Med*, 38(6), 719.
- Sinatra, F., Callari, D., Viola, M., Longombardo, M., Patania, M., Litrico, L., . . . Research, L. (2000). Bovine seminal RNase induces apoptosis in normal proliferating lymphocytes. 30(4), 191-196.
- Sterne, J. A., Savović, J., Page, M. J., Elbers, R. G., Blencowe, N. S., Boutron, I., . . . Eldridge, S. M. (2019). RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *bmj*, 366.
- Tang, Q., Huang, Q., & Hu, C. (2014). Research on Design Theory and Compliant Control for Underactuated Lower-extremity Rehabilitation Robotic Systems. *Journal of physical therapy science*, 26(10), 1597-1599.
- Waters, R. L., Yakura, J. S., Adkins, R. H., & Sie, I. (1992). Recovery following complete paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*, 73(9), 784-789.
- Wirz, M., Zemon, D. H., Rupp, R., Scheel, A., Colombo, G., Dietz, V., & Hornby, T. G. (2005). Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(4), 672-680. doi:10.1016/j.apmr.2004.08.004

- Wu, M., Hornby, T. G., Landry, J. M., Roth, H., & Schmit, B. D. (2011). A cable-driven locomotor training system for restoration of gait in human SCI. *Gait posture*, 33(2), 256-260.
- Yang, J. F., Musselman, K. E., Livingstone, D., Brunton, K., Hendricks, G., Hill, D., & Gorassini, M. (2014). Repetitive mass practice or focused precise practice for retraining walking after incomplete spinal cord injury? A pilot randomized clinical trial. *Neurorehabilitation neural repair*, 28(4), 314-324.
- ZHANG, Y., JI, S., & PENG, X. (2009). Meta-analysis for efficacy of walking locomotor training on improving walking locomotion in chronic spinal cord injury. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*(2), 23.

# Prevention of Venous Thromboembolism in Gynecological Cancer Patients Undergoing Major Abdominopelvic Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis

Putsarat Insin MD.<sup>1</sup>, Kasidin Vitoopinyoparb MD.<sup>1</sup>, Kunlawat Thadanipon MD., M.Sc.<sup>1</sup>, Chuenkamon Charakorn MD., M.Sc.<sup>1</sup>, Ammarin Thakkinstian Ph.D.<sup>1</sup>  
Master of Science Program in Medical Epidemiology, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

## Abstract

Thromboprophylaxis has demonstrated an essential role in reducing disability and death from venous thromboembolism (VTE) and has been proposed in various guidelines. This study aimed to systematically review and assess the efficacy of all available VTE prophylactic methods in gynecological cancer patients who underwent major abdominopelvic surgery. We conducted a systematic literature review to identify all eligible randomized controlled trials (RCTs) by searching MEDLINE via PubMed and Scopus databases. The inclusion criteria were related to the population (gynecological cancer patients and surgery) and the intervention compared, including mechanical and pharmacological treatments. The meta-analyses of each treatment pair were performed with at least 3 studies. Fixed-effect model was used to pool the risk ratios (RR). Nineteen RCTs met the inclusion criteria and enrolled, including a total of 4,788 patients. Eighteen trials including 4,445 patients reported DVT while 16 trials including 4,501 patients reported PE. The result showed that antithrombins were associated with a decreased rate of DVT occurrence compared to unfractionated heparin (UH) (RR 0.30; 95% confidence interval 0.11-0.78). However, the rate of DVT was similar in patients treated with low-molecular-weight heparin (LMWH) compared to UH. Regarding the occurrence of PE, there was no significant difference between LMWH and UH. Although antithrombins were more effective than UH in preventing DVT in patients who had gynecological cancer surgery, their benefit on PE prevention of PE is still inconclusive due to limited evidence. Thus, future trials are still needed to obtain more robust results and clinical implications in this clinical setting.

**Keywords:** Systematic review; Meta-analysis; Venous thromboembolism; Gynecological cancer; Major abdominopelvic surgery

## Introduction

Venous thromboembolism (VTE), defined as either deep vein thrombosis (DVT) or pulmonary embolism (PE) or both, represent significant complications after major abdominopelvic surgery (Tapson, 2008). The estimated risk of VTE was 14-fold higher for patients with gynecological cancer than those without cancer and patients who underwent gynecological cancer surgery have developed PE as reported as 0.3 to 0.4% (Martino et al., 2006). Patients with gynecological cancer are at an increased risk because of additional risk factors including advanced age, increased body mass index (BMI), immobility, hormonal replacement therapy, venous obstruction due to compression by tumor, thrombin formation due to procoagulant effects of tumor cells, and treatment effects (i.e., long operative time, radiotherapy, and chemotherapy) (Khorana & Connolly, 2009; Prandoni, Falanga, &

<sup>1</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

Piccioli, 2005). However, many physicians still underuse preventive measures for VTE because of the perceived barrier that procoagulant effects from cancer may make VTE treatment less effective and increased risk for bleeding complications during anticoagulant therapy (Einstein et al., 2007; Khorana, 2007; Lyman et al., 2015).

Nowadays, there were only 2 systematic reviews that evaluated VTE prophylaxis in gynecological cancer patients (Einstein, Pritts, & Hartenbach, 2007; Rahn et al., 2011), which applied meta-analysis for the limited number of therapeutic methods or did not apply meta-analysis. Therefore, the efficacy of VTE prophylactic measures is still inconclusive. Thus, we conducted this systematic review and meta-analysis to comprehensively evaluate the efficacy of all available evidence regarding thromboprophylaxis in gynecological cancer patients undergoing major abdominopelvic surgery in order to confirm the benefit of VTE prophylaxis.

## **Objectives**

We aimed to pool the RRs of DVT and PE occurrence among all available VTE prophylactic methods in patients with gynecological cancer who underwent major abdominopelvic surgery.

## **Research methodology**

This study followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009). We performed a literature search in MEDLINE via PubMed and Scopus through September 30<sup>th</sup>, 2019. The search strategy included the population (gynecological cancer and surgery), intervention (VTE prophylactic methods), and outcome (DVT or PE). No language restrictions were applied. Reference lists of review articles were also explored and manually searched for other relevant studies. Two reviewers (P.I. and K.V.) performed study selection independently. Studies were considered potentially eligible for analysis if they: a) included at least 50% of patients with gynecological cancer who underwent major abdominopelvic surgery; b) were randomized clinical trials (RCTs) comparing 2 or more of the following interventions: graduated compression stockings (GCS), sequential compression device (SCD), unfractionated heparin (UH), low-molecular-weight heparin (LMWH), antithrombins, and combined treatment, against no treatment/usual care/placebo; c) had objective assessment of DVT or PE in all participants. Studies were excluded if they exclusively compared the same drug in different dosages or formulations.

For each study, the data were extracted, and the potential risks of bias were assessed independently by 2 reviewers (P.I. and K.V.) using a revised tool to assess Risk of Bias in randomized trials (RoB2) by the Cochrane Collaboration (Sterne et al., 2019). We resolved disagreements of study data extraction and risk of bias assessment between 2 reviewers by consensus or by discussion with a third reviewer (K.T.).

The meta-analysis of each treatment pair was performed by pooling risk ratios (RRs) from at least 3 studies reporting similar interventions and outcome definitions. Cochran's Q test and Higgins I<sup>2</sup> statistic were applied to assess heterogeneity. Fixed-effect model with the inverse-variance approach was used due to no evidence of heterogeneity (Cochran's Q test p-value > 0.10 and I<sup>2</sup> < 25%). Publication bias was also assessed using Egger's test and visual assessment of funnel plot.

Stata software package, version 16.1 (Stata Corp., College Station, TX, USA) was used to perform statistical analysis. A 2-sided test with a p-value of < 0.05 was considered to be statistically significant for all analyses.

## Results

The entire searching and screening process of the literature is shown in Figure 1. A total of 1,955 related articles were obtained through searching MEDLINE via PubMed, Scopus, and reference lists. After screening and excluded ineligible studies, the remaining 19 articles (Baykal, Al, Demirtas, & Ayhan, 2001; Bergqvist et al., 2002; Clarke-Pearson, Coleman, Synan, Hinshaw, & Creasman, 1983; Clarke-Pearson, Creasman, Coleman, Synan, & Hinshaw, 1984; Clarke-Pearson et al., 1990; Clarke-Pearson et al., 1993; Di Carlo et al., 1999; Dindelli, Guarnerio, Salari, & Ferrari, 1990; Ferrari, Dindelli, & Sellaroli, 1990; Fontanelli et al., 1992; Fricker et al., 1988; Maxwell, Synan, Dodge, Carroll, & Clarke-Pearson, 2001; Nagata et al., 2015; Samama et al., 1988; Turner, Cole, & Brooks, 1984; Urlep-Salinovic, Jelatancev, & Gorisek, 1993; Von Tempelhoff et al., 1997; Ward & Pradhan, 1998; Zheng, Gao, Yan, Gao, & Gao, 2014) were included in this review. They were published between 1983 and 2015, and involved a total of 4,788 participants. The included studies were conducted worldwide including the United States, Europe, Australia, and Asia. Nine VTE prophylactic methods were used as follows: no treatment (5 RCTs), GCS (2 RCTs), SCD (4 RCTs), UH (13 RCTs), LMWH (7 RCTs), antithrombins (4 RCTs), GCS plus LMWH (1 RCTs), SCD plus LMWH (1 RCT), and UHDHE (1 RCTs). Of these, the treatments included in the meta-analyses were UH (9 RCTs), LMWH (5 RCTs), and antithrombins (4 RCTs).

The risk of bias of individual studies was assessed and most studies (N = 18, 94.7%) of the included RCTs were scored as some concerns. Only 1 study (5.7%) was scored as low risk of bias, and none of the included RCTs was scored as high risk of bias for overall domains. The agreement between the 2 reviewers regarding the risk of bias assessment was good (93.8%, kappa: 0.84).

After extracting and exploring the data, there were 2 possible pairwise comparisons between 3 treatments on 2 outcomes. The most frequent direct comparison was LMWH versus UH (N = 5 studies), followed by antithrombins versus UH (N = 4 studies). The results of the meta-analysis for DVT and PE outcomes are presented in Table 1. Antithrombins, including dermatan sulfate (DS) or defibrotide (DF), were significantly better than UH in reducing the rate of DVT occurrence (pooled RR 0.30; 95% confidence interval 0.11-0.78), with no evidence of heterogeneity ( $I^2 = 0.00%$ , p-value = 0.705), while there was no difference in the DVT rates between patients receiving LMWH and UH. For PE outcome, the meta-analysis between LMWH and UH was performed and the pooled RR also suggested no difference in the PE rates between the 2 groups.

## Discussion

Based on our findings, the only meta-analysis showing significant results was antithrombin vs UH on DVT, where antithrombins showed a significant, 70% lower DVT occurrence than UH. Dermatan sulfate (DS) is a glycosaminoglycan that is effective on both free and fibrin-bound thrombin and inhibits thrombus formation whereas defibrotide (DF) is a drug characterized by antithrombotic and profibrinolytic activity. Both drugs have been found to be effective in the prevention of postoperative DVT in general and orthopedic surgery (Mozzi, Chiurazzi, Germiniani, & Pacini, 1986; Tufano et al., 2010). Although antithrombins seemed effective in reducing DVT occurrence, their effects, and adverse event (i.e., thrombocytopenia) were influenced by the individual's genetics, age, diet, inflammatory substances, nutrition, and disease status (Sobczak, Pitt, & Stewart, 2018). Personalized treatments taking into consideration these influences may also be considered and more trials are needed before incorporating these drugs in this clinical setting.

PE is the leading cause of mortality following gynecologic surgery with a mortality rate as high as 40% (Davis, 2001). Death from PE occurs rapidly as the majority of patients often die within 30 minutes following the first appearance symptoms. Even though the antithrombins were noticeably superior to UH in terms of efficacy in the prevention of DVT occurrence in our study, there is limited evidence of antithrombins on PE. Thus, more studies are needed to address the efficacy of these interventions.

There were some limitations in this review. Firstly, many of the studies were fairly old (only 5 studies were published after 2000). The patients' characteristics, VTE prophylactic methods, and modalities of cancer treatment may have changed over these periods and therefore may be quite different in more recent studies. Secondly, the number of included studies and the treatments were small. Therefore, the efficacy of VTE prevention of the other treatments, on which the meta-analyses could not be performed, were inconclusive.

### **Recommendations**

Although the antithrombins were effective in the prevention of DVT occurrence in gynecological cancer surgery compared to UH, there is still no evidence on its benefit in PE. Thus, larger future studies are still needed to obtain more robust results and clinical implications in terms of efficacy as well as risk-benefit balance in this clinical setting.

### **Acknowledgements**

This research investigation is a part of Putsarat Insin's training in the Master of Science Program in Medical Epidemiology (International Program) at the Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand. The authors wish to thank all the staff of the Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, for their great help and technical support in the administrative management of this research. All authors declare no conflict of interest.

### **References**

- Baykal, C., Al, A., Demirtas, E., Ayhan, A. (2001). Comparison of enoxaparin and standard heparin in gynaecologic oncologic surgery: a randomised prospective double-blind clinical study. *Eur J Gynaecol Oncol*, 22(2), 127-130.
- Bergqvist, D., Agnelli, G., Cohen, A. T., et al. (2002). Duration of prophylaxis against venous thromboembolism with enoxaparin after surgery for cancer. *N Engl J Med*, 346(13), 975-980.
- Clarke-Pearson, D. L., Coleman, R. E., Synan, I. S., Hinshaw, W., Creasman, W. T. (1983). Venous thromboembolism prophylaxis in gynecologic oncology: A prospective, controlled trial of low-dose heparin. *Am J Obstet Gynecol*, 145(5), 606-613.
- Clarke-Pearson, D. L., Creasman, W. T., Coleman, R. E., Synan, I. S., Hinshaw, W. M. (1984). Perioperative external pneumatic calf compression as thromboembolism prophylaxis in gynecologic oncology: Report of a randomized controlled trial. *Gynecol Oncol*, 18(2), 226-232.
- Clarke-Pearson, D. L., DeLong, E., Synan, I. S., Soper, J. T., Creasman, W. T., Coleman, R. E. (1990). A controlled trial of two low-dose heparin regimens for the prevention of postoperative deep vein thrombosis. *Obstet Gynecol*, 75(4), 684-689.
- Clarke-Pearson, D. L., Synan, I. S., Dodge, R., Soper, J. T., Berchuck, A., Coleman, R. E. (1993). A randomized trial of low-dose heparin and intermittent pneumatic calf

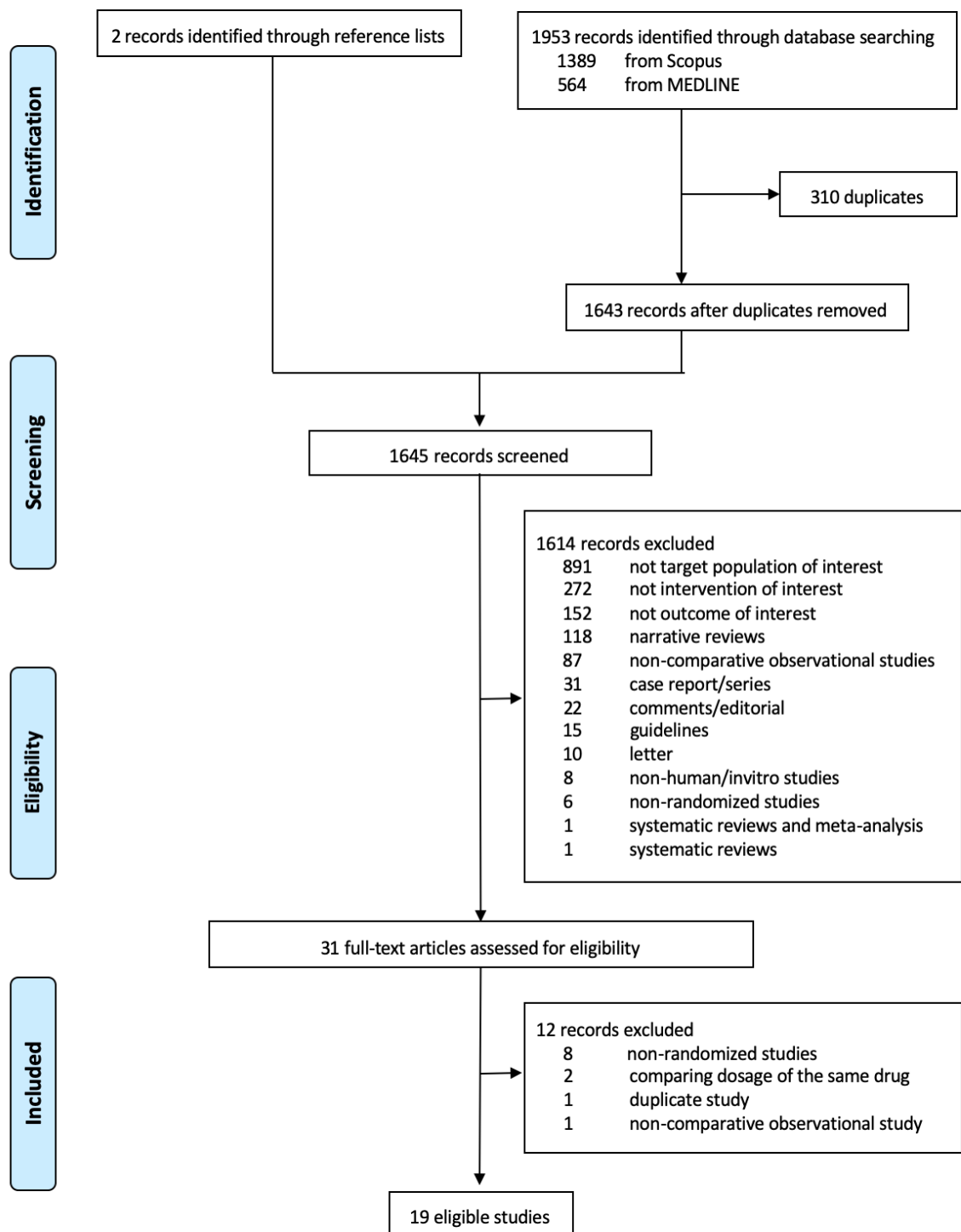
- compression for the prevention of deep venous thrombosis after gynecologic oncology surgery. *Am J Obstet Gynecol*, 168(4), 1146-1154.
- Davis, J. D. (2001). Prevention, diagnosis, and treatment of venous thromboembolic complications of gynecologic surgery. *Am J Obstet Gynecol*, 184(4), 759-775. doi:10.1067/mob.2001.110957
- Di Carlo, V., Agnelli, G., Prandoni, P., et al. (1999). Dermatan sulphate for the prevention of postoperative venous thromboembolism in patients with cancer. *Thrombosis and Haemostasis*, 82(1), 30-34.
- Dindelli, M., Guarnerio, P., Salari, P. C., Ferrari, A. (1990). [Defibrotide in the prevention of deep venous thrombosis in gynecologic surgery. A controlled study versus calcium heparin in 120 patients]. *Minerva Ginecol*, 42(3), 79-85.
- Einstein, M. H., Pritts, E. A., Hartenbach, E. M. (2007). Venous thromboembolism prevention in gynecologic cancer surgery: a systematic review. *Gynecol Oncol*, 105(3), 813-819.
- Ferrari, A., Dindelli, M., Sellaroli, C. M. (1990). Preventing postoperative deep venous thrombosis in gynecological surgery with defibrotide. *Int Surg*, 75(3), 184-188.
- Fontanelli, A., Falcini, F., Lippi, G., et al. (1992). Defibrotide versus calcium heparin in the prophylaxis of DVT in gynecological malignancy surgery. *Minerva Ginecologica*, 44(5), 251-255.
- Fricker, J. P., Vergnes, Y., Schach, R., et al. (1988). Low dose heparin versus low molecular weight heparin (Kabi 2165, Fragmin) in the prophylaxis of thromboembolic complications of abdominal oncological surgery. *Eur J Clin Invest*, 18(6), 561-567.
- Khorana, A. A. (2007). The NCCN Clinical Practice Guidelines on Venous Thromboembolic Disease: strategies for improving VTE prophylaxis in hospitalized cancer patients. *Oncologist*, 12(11), 1361-1370.
- Khorana, A. A., Connolly, G. C. (2009). Assessing risk of venous thromboembolism in the patient with cancer. *J Clin Oncol*, 27(29), 4839-4847.
- Lyman, G. H., Bohlke, K., Khorana, A. A., et al. (2015). Venous thromboembolism prophylaxis and treatment in patients with cancer: american society of clinical oncology clinical practice guideline update 2014. *J Clin Oncol*, 33(6), 654-656.
- Martino, M. A., Borges, E., Williamson, E., et al. (2006). Pulmonary embolism after major abdominal surgery in gynecologic oncology. *Obstet Gynecol*, 107(3), 666-671.
- Maxwell, G. L., Synan, I., Dodge, R., Carroll, B., Clarke-Pearson, D. L. (2001). Pneumatic compression versus low molecular weight heparin in gynecologic oncology surgery: A randomized trial. *Obstet Gynecol*, 98(6), 989-995.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *J Clin Epidemiol*, 62(10), 1006-1012.
- Mozzi, E., Chiurazzi, D., Germiniani, R., Pacini, F. (1986). Effectiveness of defibrotide for prophylaxis of deep venous thrombosis after general surgery: a double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Haemostasis*, 16 Suppl 1, 36-38.
- Nagata, C., Tanabe, H., Takakura, S., et al. (2015). Randomized controlled trial of enoxaparin versus intermittent pneumatic compression for venous thromboembolism prevention in Japanese surgical patients with gynecologic malignancy. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, 41(9), 1440-1448.
- Prandoni, P., Falanga, A., Piccioli, A. (2005). Cancer and venous thromboembolism. *Lancet Oncol*, 6(6), 401-410.



- Rahn, D. D., Mamik, M. M., Sanses, T. V., et al. (2011). Venous thromboembolism prophylaxis in gynecologic surgery: a systematic review. *Obstet Gynecol*, 118(5), 1111-1125.
- Samama, M., Bernard, P., Bonnardot, J. P., Combe-Tamzali, S., Lanson, Y., Tissot, E. (1988). Low molecular weight heparin compared with unfractionated heparin in prevention of postoperative thrombosis. *Br J Surg*, 75(2), 128-131.
- Sobczak, A. I. S., Pitt, S. J., Stewart, A. J. (2018). Glycosaminoglycan Neutralization in Coagulation Control. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 38(6), 1258-1270. doi:10.1161/atvbaha.118.311102
- Sterne, J. A. C., Savovic, J., Page, M. J., et al. (2019). RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *Bmj*, 366, 14898.
- Tapson, V. F. (2008). Acute pulmonary embolism. *N Engl J Med*, 358(10), 1037-1052.
- Tufano, A., Arturo, C., Cimino, E., et al. (2010). Mesoglycan: clinical evidences for use in vascular diseases. *Int J Vasc Med*, 2010, 390643.
- Turner, G. M., Cole, S. E., Brooks, J. H. (1984). The efficacy of graduated compression stockings in the prevention of deep vein thrombosis after major gynaecological surgery. *Br J Obstet Gynaecol*, 91(6), 588-591.
- Urlep-Salinovic, V., Jelatancev, B., Gorisek, B. (1993). Prevention of postoperative thromboembolism in gynaecological malignancy. *European Journal of Gynaecological Oncology*, 14(1), 63-67.
- Von Tempelhoff, G. F., Dietrich, M., Niemann, F., Schneider, D., Hommel, G., Heilmann, L. (1997). Blood coagulation and thrombosis in patients with ovarian malignancy. *Thrombosis and Haemostasis*, 77(3), 456-461.
- Ward, B., Pradhan, S. (1998). Comparison of low molecular weight heparin (Fragmin) with sodium heparin for prophylaxis against postoperative thrombosis in women undergoing major gynaecological surgery. *Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 38(1), 91-92.
- Zheng, H., Gao, Y., Yan, X., Gao, M., Gao, W. (2014). Prophylactic use of low molecular weight heparin in combination with graduated compression stockings in post-operative patients with gynecologic cancer. *Zhonghua zhong liu za zhi [Chinese journal of oncology]*, 36(1), 39-42.

**Table 1.** Results of meta-analyses for DVT and PE outcomes

Group; First author, year	RR (95%CI)	Weight (%)	Heterogeneity	
			p-value	I <sup>2</sup>
<b>a) DVT outcome</b>				
<b>LMWH vs UH (5 studies)</b>				
<b>Overall</b>				
Fricker JP, 1988	1.00 (0.02, 49.20)	1.20	0.457	0.00
Samama M, 1988	0.65 (0.33, 1.29)	38.75		
Von Tempelhoff GF, 1997	10.24 (0.58, 182.23)	2.19		
Ward B, 1998	0.35 (0.01, 8.45)	1.78		
Baykal C, 2001	1.17 (0.02, 57.69)	1.19		
<b>Pooled RR (fixed-effect)</b>	<b>0.74 (0.39, 1.40)</b>	<b>100.00</b>		
<b>Antithrombins vs UH (4 studies)</b>				
<b>Overall</b>				
			0.705	0.00
Dindelli M, 1990	1.00 (0.02, 48.52)	6.24		
Ferrari A, 1990	1.00 (0.02, 48.82)	6.22		
Fontanelli A, 1990	1.02 (0.02, 50.42)	6.20		
Di Carlo V, 1999	0.22 (0.08, 0.66)	81.33		
<b>Pooled RR (fixed-effect)</b>	<b>0.30 (0.11, 0.78)</b>	<b>100.00</b>		
<b>b) PE outcome</b>				
<b>LMWH vs UH (5 studies)</b>				
<b>Overall</b>				
			0.437	0.00
Fricker JP, 1988	0.20 (0.01, 4.04)	19.82		
Samama M, 1988	0.33 (0.01, 8.14)	17.51		
Von Tempelhoff GF, 1997	1.14 (0.02, 55.55)	11.84		
Ward B, 1998	5.18 (0.61, 44.09)	39.07		
Baykal C, 2001	1.17 (0.02, 57.69)	11.76		
<b>Pooled RR (fixed-effect)</b>	<b>1.18 (0.31, 4.39)</b>	<b>100.00</b>		



**Figure 1.** Systematic review flow diagram

## อิทธิพลของการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

The effect of freezing on the quality of osmo-air-dried mangoes

สุภาวดี สมคะเน<sup>1</sup> ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ<sup>1</sup> และบุศราภรณ์ มหาโยธี<sup>1</sup>

Supawadee Somkane<sup>1</sup> Pramote Khuwjitjaru<sup>1</sup> and Busarakorn Mahayothee<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาชิ้นมะม่วงด้วยวิธีแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำชิ้นมะม่วงสุกพันธุ์แก้วขมิ้น ขนาดยาว 6 ซม. กว้าง 4 ซม.หนา 1 ซม. แช่ในสารละลายที่มีแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 และกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นมะม่วงไปแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็ว และเก็บมะม่วงแช่เยือกแข็งส่วนหนึ่งไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 เดือน นำชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่แต่ละสภาวะไปแช่ในสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 35 องศาบริกซ์ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส ค่าสี คุณภาพทางเคมี ค่าปริมาณความชื้น และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล พบว่ามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากมะม่วงแช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษาไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน ให้ค่าความแข็ง (hardness) สูงที่สุด และค่าความสว่าง (L\*) น้อยที่สุด ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากชิ้นมะม่วงทุกสภาวะการแช่เยือกแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**คำสำคัญ :** มะม่วงอบแห้ง, กระบวนการออกซิเมติก, การแช่เยือกแข็ง, การเก็บรักษา

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakom University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## Abstract

The objective of this research was to study the effect of freezing process of mangoes on quality of osmotic air-dried mango. Mangoes cv. Kaew Kamin were peeled and cut into pieces of 6 x 4 x 1 cm, then soaked in a solution of 1% calcium chloride and 1% citric acid for 3 h. The mango samples were then frozen under slow and quick freezing conditions and some of frozen mangoes from each treatment were stored at -18 °C for 1 month. Mango from each freezing and storage condition was soaked in an osmotic solution with TSS of 35 Brix then dried using a conventional tray dryer at 60 °C for 20 h. Texture, color, moisture content, and browning index of the dried mango were evaluated. The result showed that dried mangoes prepared from slow freezing process storage at -18 °C for 1 month had the highest of hardness while the color of lightness (L\*) had the lowest ( $p < 0.05$ ). However, dried mango of all treatments had no significant impact on the browning index ( $p < 0.05$ )

**Keywords :** dried mango, osmotic dehydration, freezing, storage

## บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกมะม่วงอบแห้งเป็นอันดับ 3 ของโลก ในปี พ.ศ. 2561-2562 ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงอบแห้ง 4,296 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 1,005 ล้านบาท ซึ่งตลาดส่งออกหลักได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน และฟิลิปปินส์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561; กรมศุลกากร, 2561) มะม่วงเป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตสูงตามฤดูกาล จึงทำให้ช่วงในฤดูกาลผลผลิตมีราคาต่ำ ดังนั้นการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ประกอบการโดยค่ามาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งควรมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 15-18% ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหนอะติดมือ (Domingo และ Austria, 2017) ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมจะเก็บขึ้นมะม่วงที่ผ่านการตัดแต่งแล้วในสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกและสารประกอบซัลไฟต์ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาขึ้นมะม่วงไว้ผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งนอกฤดูกาลได้ แต่สารประกอบซัลไฟต์เป็นสารก่อโรคมะเร็งร้ายจึงไม่สามารถนำขึ้นมะม่วงมาผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่ปราศจากซัลเฟอร์ได้ การแช่เยือกแข็ง เป็นกรรมวิธีการแปรรูปอาหาร เพื่อถนอมอาหารด้วยการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่า  $-18^{\circ}\text{C}$  น้ำในอาหารจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ซึ่งเป็นกรรมวิธีการถนอมอาหารที่คงความสดและรักษาคุณภาพอาหารได้ดี (Sirijariyawat และ Charoenrein, 2012) มีรายงานว่ามะม่วงที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็วด้วย air blast และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณความชื้นต่ำ (Antonia Marin และคณะ, 1992) ดังนั้นการแช่เยือกแข็งมะม่วงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาขึ้นมะม่วง จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาเก็บรักษาขึ้นมะม่วงสดสำหรับผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งสูตรที่ปราศจากการเติมซัลเฟอร์สำหรับการผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งนอกฤดูกาล

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน ต่อคุณภาพของมะม่วงแช่อบแห้ง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. วัตถุประสงค์

มะม่วงสดที่ใช้ในการศึกษาคือ มะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น โดยซื้อจากสวนเนตรวิมล จังหวัดฉะเชิงเทรา คัดเลือกมะม่วงดิบแก่ที่ผ่านการทดสอบความบริบูรณ์ด้วยวิธีการลอย-จมน้ำ หลังจากนั้นมาทดสอบจมน้ำเกลือ โดยเลือกมะม่วงที่จมน้ำ และลอยในน้ำเกลือ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 น้ำหนักของมะม่วงต่อผลมีค่าในช่วง  $460.84 \pm 21.46$  กรัม มาทำการบ่มสุกแบบธรรมชาติ บ่มจนกระทั่งสีของเนื้อมะม่วงเป็นสีเหลือง ไม่มีส่วนที่เป็นสีเขียว โดยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) อยู่ในช่วง 18.6 – 19.6 องศาบริกซ์ ลักษณะภายนอกไม่มีรอยช้ำ เน่าหรือไม่มีตำหนิ จากนั้นจึงนำไปใช้ในการเตรียมชิ้นผลไม้แช่อบแห้งในขั้นตอนต่อไป โดยการตัดชิ้นมะม่วงให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้มีความกว้าง 4 เซนติเมตร ความยาว 6 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร

### 2. ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง

มะม่วงแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพมะม่วงอบแห้ง เตรียมชิ้นมะม่วงแช่ในสารละลายที่มี  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 1 และกรดซิตริกร้อยละ 1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (อัตราส่วนชิ้นมะม่วง:สารละลาย 1:2 w/v) เมื่อครบเวลาทำการสะเด็ดน้ำ 30 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นมะม่วงสดไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ตัวอย่างควบคุม) มาทำการชั่งน้ำหนักและนำไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 35 องศาบริกซ์ จนเข้าสู่สมดุล สำหรับตัวอย่างแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (QF) และแช่เยือกแข็งแบบช้า (SF) เตรียมโดยนำตัวอย่างชิ้นมะม่วงไปทำการแช่เยือกแข็งจนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของชิ้นมะม่วงมีอุณหภูมิต่ำกว่า  $-18^\circ\text{C}$  นำไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลทรายต่อน้ำตาลฟรุกโตส เป็นอัตราส่วนร้อยละ 80 ต่อร้อยละ 20 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 35 องศาบริกซ์ เช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้เก็บรักษาตัวอย่างแช่เยือกแข็งทั้งสองแบบเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยนำตัวอย่างใส่ในถุงออลูมิเนียมฟอยล์และเก็บรักษาที่ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ  $-18^\circ\text{C}$  หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 35 องศาบริกซ์ จนเข้าสู่สมดุล แล้วทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่ำ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและด้านเคมี

### 3. การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

#### ค่าสี (Color measurement)

ทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้ระบบ CIE  $L^*, a^*, b^*$  ด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab) (รุ่น ColorFlex EZ, USA) โดยค่า  $L^*$  คือความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0-100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว,  $a^*$  คือสีแดง-เขียว โดย  $+a^*$

หมายถึงทิศของสีแดง และ  $-a^*$  หมายถึงทิศของสีเขียว,  $b^*$  คือสีเหลือง-น้ำเงิน โดย  $+b^*$  หมายถึงทิศของสีเหลือง และ  $-b^*$  หมายถึงทิศของสีน้ำเงิน

### เนื้อสัมผัส

ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XT.PLUS, Stable Micro Systems, UK) โดยจะทำการวัดที่ตำแหน่งตรงกลางของตัวอย่าง วิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

#### 4. การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

##### ปริมาณความชื้น (moisture content)

ซึ่งด้วยอุณหภูมิเนียม และตั้งตัวอย่างที่ปั่นแล้วประมาณ 3-5 กรัม พร้อมบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความชื้นด้วยคูลบมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (AOAC, 2000) ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

##### วัดค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (ดัดแปลงจากวิธีของ Baloch และคณะ, 1973)

การวัดค่าการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งโดยการหั่นมะม่วงเป็นชิ้นเล็กๆ และทำการปั่นให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักมะม่วง 3 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติม 2% acetic acid 30 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เวลานาน 10 นาที ปั่นละเอียดด้วยเครื่องโฮมจีไนซ์ หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 8000 rpm นาน 15 นาที และวัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในมะม่วง อาศัยการดูดกลืนแสงของสารสกัด วัดที่ค่าดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

## ผลและวิจารณ์

การทดลองศึกษาอิทธิพลของการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาชิ้นมะม่วงแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-18$  องศาเซลเซียส หลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ต่อคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง พบว่ามะม่วงอบแห้งที่ได้จากมะม่วงแช่เยือกแข็งแบบช้า หลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือนมีค่าความแข็ง (hardness) สูงที่สุด เท่ากับ  $311.49 \pm 310.91$  g รองลงมาคือมะม่วงที่แช่เยือกแบบช้า (SF) มะม่วงที่แช่เยือกแบบเร็ว หลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มะม่วงที่แช่เยือกแบบเร็ว (QF) และชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (Control) ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้า ทำให้เกิดการโตของผลึกน้ำแข็งอย่างช้าๆ ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ (Chung และคณะ, 2013) ทำให้เกิดช่องว่างภายในระหว่างเซลล์และเกิดการสูญเสียภายในโครงสร้างของเนื้อเยื่อมีลักษณะฉีกขาด มีรูปร่างเปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้เกิดรูพรุนภายในเซลล์ (Floury และคณะ, 2008) ซึ่งส่งผลให้ในระหว่างการอบแห้งชิ้นมะม่วงมีการสูญเสียน้ำมากกว่าเนื่องจากน้ำสามารถเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของตัวอย่างมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว และชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง โดยส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นของชิ้นมะม่วงอบแห้งที่เตรียมจากการแช่เยือกแข็งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ดังตารางที่ 1 จึงส่งผลให้ชิ้นมะม่วงมีลักษณะแห้งและแข็ง ซึ่งการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแข็ง

ของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมต่างกันจะได้ทำการศึกษาต่อไปเพื่อหาค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับผลต่อค่าสี พบว่ามีค่า  $L^*$  หรือความสว่างของสีด้านติดเปลือก เท่ากับ  $49.19 \pm 3.88$  และด้านติดเมล็ดเท่ากับ  $48.71 \pm 4.36$  ดังตารางที่ 2 ซึ่งส่งผลให้มะม่วงมีสีเข้ม ส่วนผลต่อค่าสีเหลืองไม่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าขึ้นมะม่วงมีสีเหลืองที่ใกล้เคียงกัน ขึ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งแบบช้า หลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน เมื่อนำมาผลิตเป็นมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งจะมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าขึ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งแบบเร็ว อย่างไรก็ตามค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) รายงานว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่าส่งผลให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า (Chassagne-Berces และคณะ, 2010)

## สรุป

ขึ้นมะม่วงอบแห้งที่แช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน เมื่อนำมาผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งตามสูตรและกระบวนการที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าความแข็งสูงสุด แสดงว่าขึ้นมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งมีลักษณะที่แข็งกว่าขึ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งแบบเร็ว และขึ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าส่งผลให้ในระหว่างการอบแห้งขึ้นมะม่วงมีการสูญเสียน้ำมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว จึงส่งผลให้ขึ้นมะม่วงมีลักษณะแห้งและแข็ง อย่างไรก็ตามยังต้องมีการศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับของผู้บริโภคต่อความแข็งของขึ้นมะม่วงต่อไป เพื่อหาสภาวะการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมในการผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่ผู้บริโภคยอมรับ



## เอกสารอ้างอิง

- Antonia Marin, M., Cano, P., & Fuster, C. (1992). Freezing preservation of four Spanish mango cultivars (*Mangifera indica* L.): chemical and biochemical aspects. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 194(6), 566-569.
- Chassagne-Berces, S., Fonseca, F., Citeau, M., & Marin, M. (2010). Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1441-1449.
- Chung, H.-S., Kim, D.-S., Kim, H.-S., Lee, Y.-G., & Seong, J.-H. (2013). Effect of freezing pretreatment on the quality of juice extracted from *Prunus mume* fruit by osmosis with sucrose. *LWT - Food Science and Technology*, 54(1), 30-34.
- Domingo, C. J., & Austria, V. (2017). Preparation and Consumer Acceptance of Indian Mango Leather and Osmo-Dehydrated Indian Mango. 5, 123-127.
- Floury, J., Le Bail, A., & Pham, Q. T. (2008). A three-dimensional numerical simulation of the osmotic dehydration of mango and effect of freezing on the mass transfer rates. *Journal of Food Engineering*, 85(1), 1-11.
- Koca, N., Burdurlu, H. S., & Karadeniz, F. (2007). Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 449-455.
- Sirijariyawat, A., & Charoenrein, S. (2012). Freezing characteristics and texture variation after freezing and thawing of four fruit types. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34, 517-523.

**ตารางที่ 1** คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและค่าความชื้นของมะม่วงแช่เยือกอบแห้งที่เตรียมจากมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ตัวอย่างควบคุม) แช่เยือกแข็งแบบช้า, แช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษา 1 เดือน, แช่เยือกแข็งแบบเร็ว และแช่เยือกแข็งแบบเร็วหลังเก็บรักษา 1 เดือน

ตัวอย่าง	Hardness (g)	Moisture content (%)
ควบคุม	98.26± 44.72 <sup>a</sup>	17.15± 0.72 <sup>ab</sup>
แช่เยือกแข็งแบบช้า	233.38± 101.37 <sup>ab</sup>	15.93± 0.48 <sup>a</sup>
หลังเก็บรักษา 1 เดือน	311.49± 310.91 <sup>b</sup>	16.50± 1.63 <sup>a</sup>
แช่เยือกแข็งแบบเร็ว	120.13± 69.91 <sup>a</sup>	16.43± 0.71 <sup>a</sup>
หลังเก็บรักษา 1 เดือน	166.80± 52.29 <sup>ab</sup>	18.53± 0.70 <sup>b</sup>

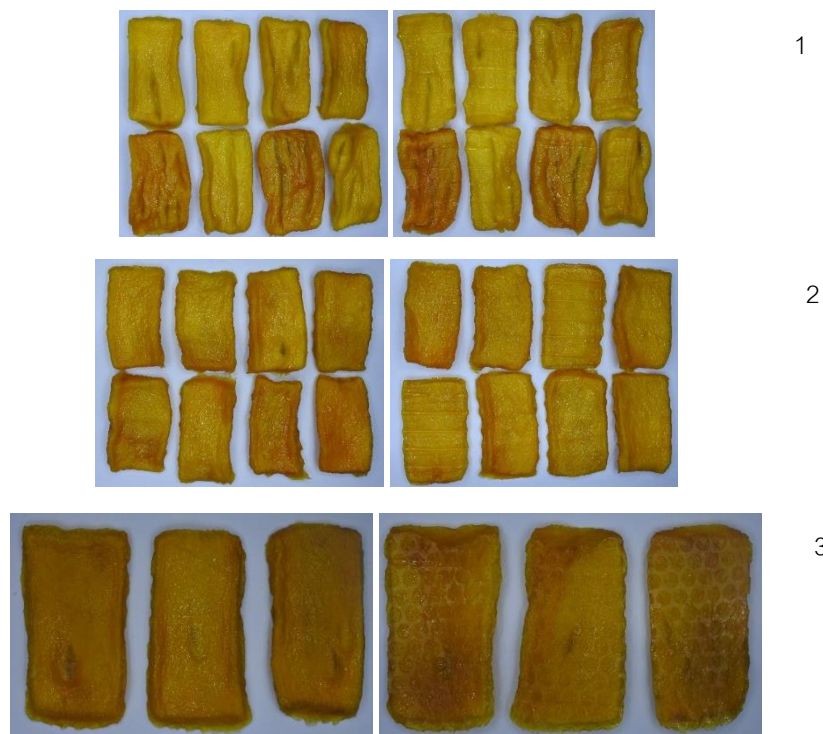
หมายเหตุ : a และ b แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

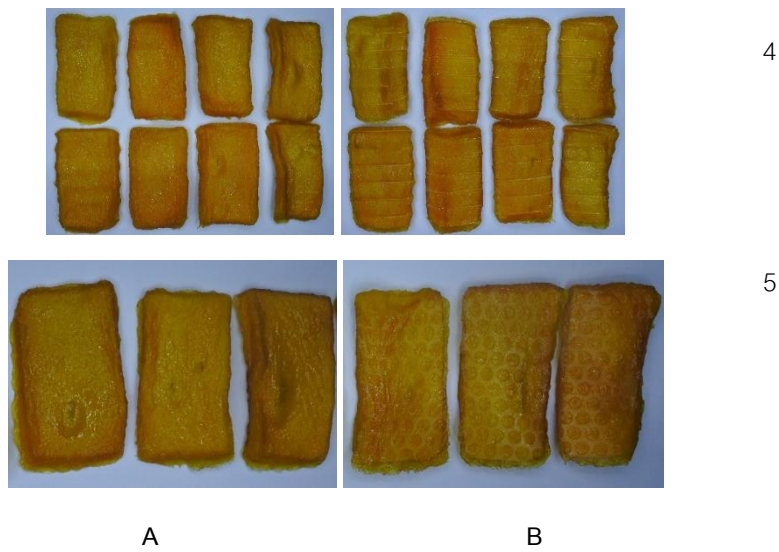
ตารางที่ 2 ค่าสีของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ตัวอย่างควบคุม) แช่เยือกแข็งแบบช้า, แช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษา 1 เดือน, แช่เยือกแข็งแบบเร็ว และแช่เยือกแข็งแบบเร็วหลังเก็บรักษา 1 เดือน

ตัวอย่าง	ค่าสีด้านที่ติดเปลือก			ค่าสีด้านที่ติดเมล็ด		
	L*	a*	b* <sup>(ns)</sup>	L*	a*	b*
ควบคุม	54.73± 4.55 <sup>b</sup>	21.65± 1.32 <sup>bc</sup>	55.30± 6.21	47.58±3.42 <sup>abc</sup>	20.09± 1.79 <sup>ab</sup>	49.00±5.43 <sup>ab</sup>
แช่เยือกแข็งแบบช้า	51.55± 2.92 <sup>ab</sup>	22.61± 1.95 <sup>c</sup>	54.96± 7.59	46.97±4.12 <sup>c</sup>	22.02±1.82 <sup>c</sup>	47.87±6.26 <sup>ab</sup>
หลังเก็บรักษา 1เดือน	49.19±3.88 <sup>a</sup>	20.64±1.72 <sup>b</sup>	53.94±8.25	48.71±4.36 <sup>bc</sup>	21.69±2.04 <sup>bc</sup>	52.41±8.10 <sup>bc</sup>
แช่เยือกแข็งแบบเร็ว	52.34±4.50 <sup>ab</sup>	22.06± 1.70 <sup>a</sup>	53.79± 7.15	43.80±4.25 <sup>a</sup>	21.13±1.56 <sup>abc</sup>	44.48± 5.64 <sup>a</sup>
หลังเก็บรักษา 1เดือน	52.52±4.42 <sup>ab</sup>	18.71±2.34 <sup>bc</sup>	55.47±6.98	51.59±4.77 <sup>b</sup>	19.66±1.28 <sup>a</sup>	57.37±7.71 <sup>c</sup>

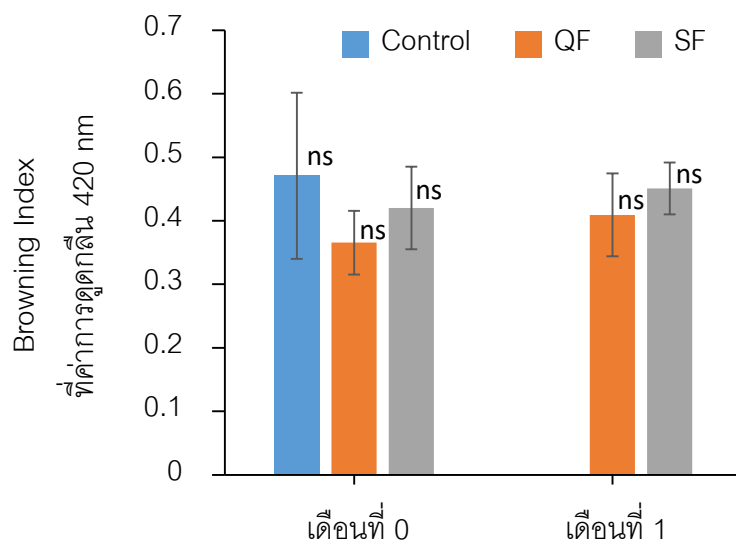
หมายเหตุ : a และ b แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ns แสดงค่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งของแต่ละตัวอย่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05





ภาพที่ 1 แสดงถึงลักษณะของมะม่วงแช่อีมอบแห้งด้านติดเปลือก (A) และด้านติดเมล็ด (B) ของมะม่วงแช่อีมอบแห้งที่เตรียมจากมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ตัวอย่างควบคุม) (1) แช่เยือกแข็งแบบช้า (2), แช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษา 1 เดือน (3), แช่เยือกแข็งแบบเร็ว (4) และแช่เยือกแข็งแบบเร็วหลังเก็บรักษา 1 เดือน (5)



ภาพที่ 2 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจากค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 420 nm ของมะม่วงแช่อีมอบแห้งที่เตรียมจากมะม่วงที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ตัวอย่างควบคุม) แช่เยือกแข็งแบบช้า, แช่เยือกแข็งแบบช้าหลังเก็บรักษา 1 เดือน, แช่เยือกแข็งแบบเร็ว และแช่เยือกแข็งแบบเร็วหลังเก็บรักษา 1 เดือน

(ns แสดงค่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

## **Efficacy and safety of H1-antihistamines in chronic spontaneous urticaria: A systematic review and network meta-analysis**

Dian Faradiba, Kunlawat Thadanipon, MD, MSc, Atiporn Ingsathit, MD, PhD and Ammarin Thakkinstian, PhD.

Master of Science Program in Medical Epidemiology, Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University.

### **Abstract**

Many types of H1-antihistamines have been used in treatment of chronic spontaneous urticaria. Many new trials have been conducted since the previous systematic reviews. A systematic review of randomized controlled trials was conducted to compare the efficacy and safety among H1-antihistamines. Studies were retrieved from several sources (i.e., MEDLINE, Scopus, Embase, Web of Science, Open Grey, ProQuest, Cochrane CENTRAL, WHO-ICTRP, CTRI, UKCTG and SANCTR). Network meta-analysis was applied to estimate relative treatment effects and rank the treatments. Loratadine was ranked as the best treatment in terms of investigator's global response but ranked much lower in adverse events. High-dose fexofenadine ranked best in terms of adverse events and second-best treatment in terms of investigator's global response. No single treatment was the best in both aspects. It is advisable to choose the treatment with good symptoms suppression and tolerable side-effects while also taking into account the cost and availability.

**Keywords:** Chronic urticaria; Efficacy; Safety; Systematic review; Network meta-analysis.

### **Introduction**

Urticaria is a condition characterized by the development of wheals along with itching symptoms. Patients are diagnosed with chronic spontaneous urticaria (CSU) when they have urticarial symptoms on  $\geq 2$  days/week for  $\geq 6$  weeks (Zuberbier et al., 2018). The most affected aspects of health-related quality of life were physical discomfort, emotional well-being and daily activities (Maurer et al., 2017).

There have been 2 systematic reviews and meta-analysis on H1-antihistamines in CSU (Guillen-Aguinaga et al., 2016; Sharma et al., 2014). However, they only applied pairwise meta-analysis which could not make comparisons among all available treatments. Additionally, some treatments (i.e., olopatadine and bilastine) have not been included in the previous systematic reviews.

### **Objectives**

- 1) To rank the treatments by the probability of having highest efficacy.
- 2) To rank the treatments by the probability of having lowest adverse events.

### **Research Methodology**

Studies were identified from MEDLINE via PubMed, Scopus, Embase, Open Grey, Web of Science and ProQuest, Cochrane Central Register of Controlled Clinical Trials (CENTRAL), World Health Organization (WHO)'s International Clinical Trials

Registries Platform (ICTRP), The United Kingdom Clinical Trials Gateway (UKCTG), South African National Clinical Trials Register (SANCTR), references of selected original articles and references of previous systematic reviews. Randomized controlled trials (RCTs) were eligible if they included adult patients with CSU, compared any H1-antihistamine with placebo, no medication or another active treatment and reported investigator's global response or adverse events as an outcome. Studies were excluded if the full-text article was not available or there were insufficient data for pooling. Selected studies were assessed by using The Revised Cochrane Risk-of-bias tool for Randomized Trials (RoB 2.0) by the Cochrane Collaboration (Sterne et al., 2019)

Two-stage network meta-analysis (NMA) was applied to estimate the risk ratios (RRs) between the treatments (White, 2015). The probability of being the best treatment was estimated and ranked by the surface under the cumulative ranking curve (SUCRA). Publication bias was assessed by comparison-adjusted funnel plot. Consistency assumption of NMA was assessed by the design-by-treatment interaction model (Higgins et al., 2003; Jackson et al., 2016). The recommended dose of each antihistamine was regarded as the standard dose, while doses higher than the recommended dose were regarded as high dose. The analysis was performed by using Stata software version 16.1 (StataCorp. 2019. Stata Statistical Software: Release 16. College Station, TX: StataCorp LLC). P-value < 0.05 was considered statistically significant.

## Results

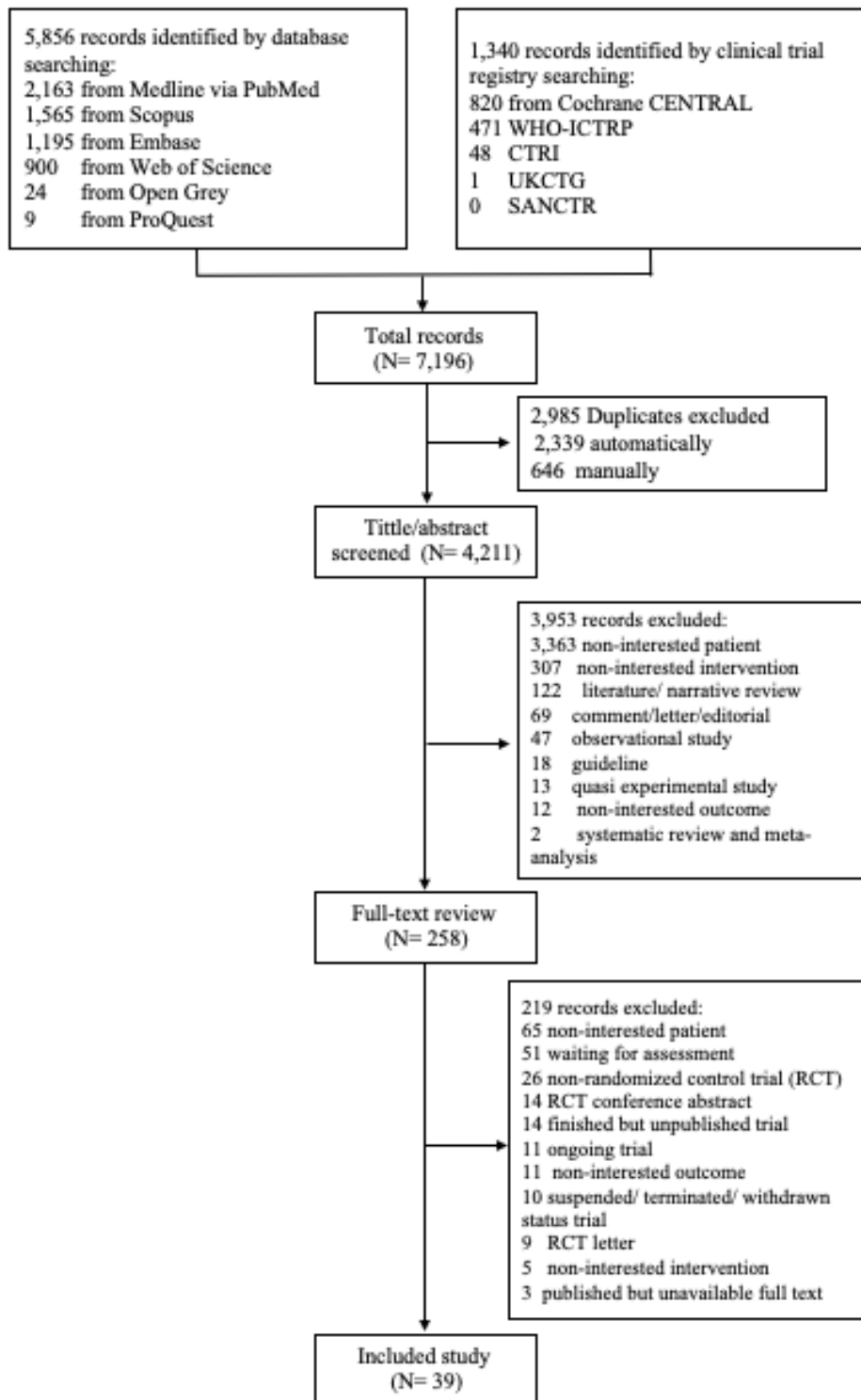
From the literature search and study selection, 39 eligible RCTs (Anuradha et al., 2010; Bernstein & Bernstein, 1986; Breneman et al., 1995; Breneman, 1996; Brostoff et al., 1996; Cerio & Lessof, 1984; Dakhale et al., 2014; Dakhale et al., 2016; Degonda et al., 2002; Dubertret et al., 1999; Finn et al., 1999; Fox et al., 1986; Gimenez-Arnau et al., 2007; Grant et al., 1988; Grob et al., 2008; Hamerlinck et al., 1994; Handa et al., 2004; Hide et al., 2019; Hide et al., 2017; Johnson et al., 2014; Kailasam & Mathews, 1987; Kalivas et al., 1990; Kaplan et al., 2005; Kapp & Pichler, 2006; Mahawar et al., 2014; Makino et al., 2012; Monroe et al., 2003; Nelson et al., 2000; Nettis et al., 2006; Ortonne et al., 2007; Paul et al., 1998; Peyri et al., 1991; Potter et al., 2009; Ring et al., 2001; Shareeah, 1992; Staevska et al., 2014; Tanizaki et al., 2015; Weller et al., 2013; Zuberbier et al., 2010) were included in the NMA. The process of study selection and reasons for exclusion are presented in the Figure.

The results of NMA are shown in the Table. For the investigator's global response outcome, 13 RCTs (Bernstein & Bernstein, 1986; Breneman et al., 1995; Fox et al., 1986; Gimenez-Arnau et al., 2007; Grob et al., 2008; Hamerlinck et al., 1994; Hide et al., 2019; Hide et al., 2017; Kailasam & Mathews, 1987; Kaplan et al., 2005; Ortonne et al., 2007; Peyri et al., 1991; Shareeah, 1992) involving 2052 patients were included in the NMA. The 5 highest ranking treatments were loratadine, astemizole, bilastine, cetirizine and terfenadine, respectively. There was no evidence of inconsistency from the design-by-treatment interaction model (p-value = 0.087) or publication bias from the comparison-adjusted funnel plot.

For adverse events outcome, all 39 RCTs involving 6772 patients were included in the NMA. The 5 top-ranking treatments with lowest risk for adverse events were high-dose fexofenadine, standard-dose fexofenadine, placebo, high-dose levocetirizine

and ebastine. There was no evidence of inconsistency (p-value = 0.898) or publication bias.

**Figure: Systematic review flow diagram.**



**Table: Ranking of treatments according to results from NMA**

Rank	Investigator's global response		Adverse events	
	Treatment	SUCRA	Treatment	SUCRA
1	Loratadine	83.3	High-dose fexofenadine	80.2
2	Astemizole	68.1	Standard-dose fexofenadine	78.6
3	Bilastine	66.3	Placebo	73.7
4	Cetirizine	56.5	High-dose levocetirizine	69.1
5	Terfenadine	54.2	Ebastine	67.6
6	Chlorpheniramine	49.8	Astemizole	63.2
7	High-dose rupatadine	49.7	Standard-dose desloratadine	57.5
8	Standard-dose fexofenadine	47.8	Loratadine	54.7
9	Standard-dose desloratadine	46.5	High-dose desloratadine	54.6
10	Standard-dose rupatadine	40.5	High-dose levocetirizine plus hydroxyzine	52.5
11	Ebastine	32.9	Chlorpheniramine	51.7
12	Placebo	4.4	Bilastine	50.5
13			Standard-dose levocetirizine	45.0
14			Standard-dose rupatadine	43.6
15			Terfenadine	42.9
16			Mizolastine	39.5
17			Standard-dose olopatadine	36.6
18			High-dose rupatadine	36.5
19			Cetirizine	24.5
20			High-dose olopatadine	19.8
21			Hydroxyzine	7.7

## Discussion

For the efficacy as assessed by investigator's global response, all treatments were superior to placebo. Loratadine ranked highest in terms of investigator's global response but much lower (8<sup>th</sup>) in terms of adverse events. However, both standard and increased doses of this treatment up to fourfold did not seem to impose a significant risk of serious adverse events (arrhythmia) (Cataldi et al., 2019).

In terms of safety, placebo was associated with lower adverse events than most antihistamines, except for fexofenadine, at both standard and high doses. However, standard-dose fexofenadine ranked 8<sup>th</sup> in the efficacy outcome while there were no RCTs evaluating high-dose fexofenadine on this outcome to be included in NMA. Therefore, further studies are suggested to assess its efficacy in this aspect.

Small numbers of trials and patients in some treatment comparisons as well as high risk of bias in some trials were the limitations of our study.

## Conclusions

There is no single treatment which is the best in both efficacy and safety. Both loratadine and fexofenadine had tolerable side effects, with no report of serious adverse events. Fexofenadine seemed to have acceptable balance between efficacy and safety. Locally available treatment providing good symptoms control and well-tolerated side

effects should be considered the best option to treat CSU, but the cost should also be considered.

### Acknowledgements

Financial support for Dian Faradiba was provided by Mahidol University Postgraduate Scholarship 2018.

### References

- Anuradha, P., Maiti, R., Jyothirmai, J., Mujeebuddin, O., Anuradha, M. (2010). Loratadine versus levocetirizine in chronic idiopathic urticaria: A comparative study of efficacy and safety. *Indian J Pharmacol*, 42(1), 12-16.
- Bernstein, I. L., Bernstein, D. I. (1986). Efficacy and safety of astemizole, a long-acting and nonsedating H1 antagonist for the treatment of chronic idiopathic urticaria. *J Allergy Clin Immunol*, 77(1 Pt 1), 37-42.
- Breneman, D., Bronsky, E. A., Bruce, S., et al. (1995). Cetirizine and astemizole therapy for chronic idiopathic urticaria: a double-blind, placebo-controlled, comparative trial. *J Am Acad Dermatol*, 33(2 Pt 1), 192-198.
- Breneman, D. L. (1996). Cetirizine versus hydroxyzine and placebo in chronic idiopathic urticaria. *Ann Pharmacother*, 30(10), 1075-1079.
- Brostoff, J., Fitzharris, P., Dunmore, C., Theron, M., Blondin, P. (1996). Efficacy of mizolastine, a new antihistamine, compared with placebo in the treatment of chronic idiopathic urticaria. *Allergy*, 51(5), 320-325.
- Cataldi, M., Maurer, M., Tagliatalata, M., Church, M. K. (2019). Cardiac safety of second-generation H1 -antihistamines when up dosed in chronic spontaneous urticaria. *Clin Exp Allergy*, 49(12), 1615-1623.
- Cerio, R., Lessof, M. H. (1984). Treatment of chronic idiopathic urticaria with terfenadine. *Clin Allergy*, 14(2), 139-141.
- Dakhale, G. N., Shinde, A. T., Mahatme, M. S., et al. (2014). Clinical effectiveness and safety of cetirizine versus rupatadine in chronic spontaneous urticaria: a randomized, double-blind, 6-week trial. *Int J Dermatol*, 53(5), 643-649.
- Dakhale, G. N., Wankhede, S. S., Mahatme, M. S., Hiware, S. K., Mishra, D. B., Dudhgaonkar, S. S. (2016). Comparison of Efficacy, Safety and Cost-effectiveness of Rupatadine and Olopatadine in Patients of Chronic Spontaneous Urticaria: A Randomized, Double-blind, Comparative, Parallel Group Trial. *Indian J Dermatol*, 61(1), 63-69.
- Degonda, M., Pichler, W. J., Bircher, A., Helbling, A. (2002). [Chronic idiopathic urticaria: effectiveness of fexofenadine. A double-blind, placebo controlled study with 21 patients]. *Praxis (Bern 1994)*, 91(15), 637-643.
- Dubertret, L., Murrieta Aguttes, M., Tonet, J. (1999). Efficacy and safety of mizolastine 10 mg in a placebo-controlled comparison with loratadine in chronic idiopathic urticaria: results of the MILOR Study. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 12(1), 16-24.
- Finn, A. F., Jr., Kaplan, A. P., Fretwell, R., Qu, R., Long, J. (1999). A double-blind, placebo-controlled trial of fexofenadine HCl in the treatment of chronic idiopathic urticaria. *J Allergy Clin Immunol*, 104(5), 1071-1078.



- Fox, R. W., Lockey, R. F., Bukantz, S. C., Serbousek, D. (1986). The treatment of mild to severe chronic idiopathic urticaria with astemizole: double-blind and open trials. *J Allergy Clin Immunol*, 78(6), 1159-1166.
- Gimenez-Arnau, A., Pujol, R. M., Ianosi, S., et al. (2007). Rupatadine in the treatment of chronic idiopathic urticaria: a double-blind, randomized, placebo-controlled multicentre study. *Allergy*, 62(5), 539-546.
- Grant, J. A., Bernstein, D. I., Buckley, C. E., et al. (1988). Double-blind comparison of terfenadine, chlorpheniramine, and placebo in the treatment of chronic idiopathic urticaria. *J Allergy Clin Immunol*, 81(3), 574-579.
- Grob, J. J., Auquier, P., Dreyfus, I., Ortonne, J. P. (2008). Quality of life in adults with chronic idiopathic urticaria receiving desloratadine: a randomized, double-blind, multicentre, placebo-controlled study. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 22(1), 87-93.
- Guillen-Aguinaga, S., Jauregui Presa, I., Aguinaga-Ontoso, E., Guillen-Grima, F., Ferrer, M. (2016). Updosing nonsedating antihistamines in patients with chronic spontaneous urticaria: a systematic review and meta-analysis. *Br J Dermatol*, 175(6), 1153-1165.
- Hamerlinck, F. F. V., Boyden, B., Oei, H. D., et al. (1994). A double-blind comparative study of loratadine and astemizole in chronic idiopathic urticaria. *J Dermatolog Treat*, 5(4), 199-202.
- Handa, S., Dogra, S., Kumar, B. (2004). Comparative efficacy of cetirizine and fexofenadine in the treatment of chronic idiopathic urticaria. *J Dermatolog Treat*, 15(1), 55-57.
- Hide, M., Suzuki, T., Tanaka, A., Aoki, H. (2019). Efficacy and safety of rupatadine in Japanese adult and adolescent patients with chronic spontaneous urticaria: A double-blind, randomized, multicenter, placebo-controlled clinical trial. *Allergol Int*, 68(1), 59-67.
- Hide, M., Yagami, A., Togawa, M., Saito, A., Furue, M. (2017). Efficacy and safety of bilastine in Japanese patients with chronic spontaneous urticaria: A multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group phase II/III study. *Allergol Int*, 66(2), 317-325.
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ (Clinical research ed.)*, 327(7414), 557-560.
- Jackson, D., Boddington, P., White, I. R. (2016). The design-by-treatment interaction model: a unifying framework for modelling loop inconsistency in network meta-analysis. *Res Synth Methods*, 7(3), 329-332.
- Johnson, M., Kwatra, G., Badyal, D. K., Thomas, E. A. (2014). Levocetirizine and rupatadine in chronic idiopathic urticaria. *Int J Dermatol*, 54(10), 1199-1204.
- Kailasam, V., Mathews, K. P. (1987). Controlled clinical assessment of astemizole in the treatment of chronic idiopathic urticaria and angioedema. *J Am Acad Dermatol*, 16(4), 797-804.
- Kalivas, J., Breneman, D., Tharp, M., Bruce, S., Bigby, M. (1990). Urticaria: clinical efficacy of cetirizine in comparison with hydroxyzine and placebo. *J Allergy Clin Immunol*, 86(6 Pt 2), 1014-1018.
- Kaplan, A. P., Spector, S. L., Meeves, S., Liao, Y., Varghese, S. T., Georges, G. (2005). Once-daily fexofenadine treatment for chronic idiopathic urticaria: a

- multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 94(6), 662-669.
- Kapp, A., Pichler, W. J. (2006). Levocetirizine is an effective treatment in patients suffering from chronic idiopathic urticaria: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel, multicenter study. *Int J Dermatol*, 45(4), 469-474.
- Mahawar, D., Aseri, M., Mathur, S., Gaur, S., Sankhla, S., Dass, B. (2014). A prospective study of comparison of efficacy and safety between levocetirizine and olopatadine in chronic idiopathic urticaria. *Indian Allergy Asthma Immunol*, 28.
- Makino, T., Takegami, Y., Rehman, M. U., et al. (2012). Maintenance of remission with low-dose olopatadine hydrochloride for itch in well-controlled chronic urticaria. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, 5, 141-146.
- Maurer, M., Abuzakouk, M., Berard, F., et al. (2017). The burden of chronic spontaneous urticaria is substantial: Real-world evidence from ASSURE-CSU. *Allergy*, 72(12), 2005-2016.
- Monroe, E., Finn, A., Patel, P., Guerrero, R., Ratner, P., Bernstein, D. (2003). Efficacy and safety of desloratadine 5 mg once daily in the treatment of chronic idiopathic urticaria: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *J Am Acad Dermatol*, 48(4), 535-541.
- Nelson, H. S., Reynolds, R., Mason, J. (2000). Fexofenadine HCl is safe and effective for treatment of chronic idiopathic urticaria. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 84(5), 517-522.
- Nettis, E., Colanardi, M. C., Barra, L., Ferrannini, A., Vacca, A., Tursi, A. (2006). Levocetirizine in the treatment of chronic idiopathic urticaria: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Br J Dermatol*, 154(3), 533-538.
- Ortonne, J. P., Grob, J. J., Auquier, P., Dreyfus, I. (2007). Efficacy and safety of desloratadine in adults with chronic idiopathic urticaria: a randomized, double-blind, placebo-controlled, multicenter trial. *Am J Clin Dermatol*, 8(1), 37-42.
- Paul, E., Berth Jones, J., Ortonne, J. P., Stern, M. (1998). Fexofenadine hydrochloride in the treatment of chronic idiopathic urticaria: a placebo-controlled, parallel-group, dose-ranging study. *J. Dermatol. Treat.*, 9(3), 143-149.
- Peyri, J., Vidal, J., Marron, J., et al. (1991). Ebastine in chronic urticaria: A double-blind placebo-controlled study. *J. Dermatol. Treat.*, 2(2), 51-53.
- Potter, P. C., Kapp, A., Maurer, M., et al. (2009). Comparison of the efficacy of levocetirizine 5 mg and desloratadine 5 mg in chronic idiopathic urticaria patients. *Allergy*, 64(4), 596-604.
- Ring, J., Hein, R., Gauger, A., Bronsky, E., Miller, B. (2001). Once-daily desloratadine improves the signs and symptoms of chronic idiopathic urticaria: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Int J Dermatol*, 40(1), 72-76.
- Shareeah, A. (1992). Comparative efficacy of loratadine and terfenadine in the treatment of chronic idiopathic urticaria. *Int J Dermatol*, 31(5), 355-356.
- Sharma, M., Bennett, C., Cohen, S. N., Carter, B. (2014). H1-antihistamines for chronic spontaneous urticaria. *Cochrane Database Syst Rev*(11), Cd006137.
- Staevska, M., Gugutkova, M., Lazarova, C., et al. (2014). Night-time sedating H1 - antihistamine increases daytime somnolence but not treatment efficacy in chronic spontaneous urticaria: a randomized controlled trial. *Br J Dermatol*, 171(1), 148-154.

- Sterne, J. A. C., Savović, J., Page, M. J., et al. (2019). RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 366, 14898.
- Tanizaki, H., Yamamoto, Y., Nakamizo, S., Otsuka, A., Miyachi, Y., Kabashima, K. (2015). Comparison of the efficacy of olopatadine and fexofenadine in chronic idiopathic urticaria patients: a crossover study. *Pharmacology*, 95(1-2), 32-35.
- Weller, K., Ardelean, E., Scholz, E., Martus, P., Zuberbier, T., Maurer, M. (2013). Can on-demand non-sedating antihistamines improve urticaria symptoms? A double-blind, randomized, single-dose study. *Acta Derm Venereol*, 93(2), 168-174.
- White, I. R. (2015). Network Meta-analysis. *Stata J*, 15(4), 951-985.
- Zuberbier, T., Aberer, W., Asero, R., et al. (2018). The EAACI/GA(2)LEN/EDF/WAO guideline for the definition, classification, diagnosis and management of urticaria. *Allergy*, 73(7), 1393-1414.
- Zuberbier, T., Oanta, A., Bogacka, E., et al. (2010). Comparison of the efficacy and safety of bilastine 20 mg vs levocetirizine 5 mg for the treatment of chronic idiopathic urticaria: a multi-centre, double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Allergy*, 65(4), 516-528.

# การออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการทำเหมืองแร่

## Design and Development of Decision Support Systems for Improvement in Mining Process

โมฬีมาศ บุปผาชาติ<sup>1</sup> ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล<sup>2</sup> และจุฑา พิษิตลำเค็ญ<sup>3</sup>  
Moleemas Bubbachart<sup>1</sup> Ailada Treerattrakoon<sup>2</sup> and Juta Pichitlamken<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจของกระบวนการทำเหมืองแร่โดยใช้ทฤษฎีแผนภูมิต้นไม้และพัฒนาระบบโดยใช้เครื่องมือชุดคำสั่ง Bootstrap Front-End Framework ระบบจะส่งข้อความเตือนไปยังผู้บริหารหากประสิทธิภาพในการทำงานรายวันน้อยกว่าแผนงาน ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะช่วยผู้บริหารค้นหาสาเหตุและวิธีการแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว และสามารถช่วยในการวางแผนบริหารงานต่อไปได้ จากการทดสอบการใช้งานระบบพบว่าเวลารวมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาก่อนใช้ระบบ 120 นาที และหลังการใช้ระบบ 19 นาที ลดลง 101 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 84.17 ของระบบเดิม

**คำสำคัญ :** แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, บุกสแตรปฟรอนท์เอนเฟรมเวิร์ค

### Abstract

The objective of this research was to design and develop a decision support system for mining process by using decision tree theory and developing a system by using Bootstrap Front-End Framework set tools. If the daily work efficiency is less than the plan, the system will send a warning message to the management level. The decision support system helps the executives quickly find causes and solutions and manage plan. For the system usability testing, it was indicated that before using the system, the total time spent troubleshooting was 120 minutes and after using the system, the total time was 19 minutes reduced by 101 minutes or 84.17 percent.

**Keyword :** Decision Tree, Diagnose Problems, Bootstrap Front-End Framework

---

<sup>1</sup> ภาควิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Engineering Management, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>2,3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

## บทนำ

จากบริษัทที่ศึกษาได้ดำเนินธุรกิจการทำเหมืองแร่ โดยในกระบวนการทำเหมืองแร่มีการใช้เครื่องจักรกลหลากหลายประเภท พื้นที่การทำงานมีลักษณะเป็นบริเวณกว้าง การสื่อสารค่อนข้างยากลำบาก ต้องมีวางแผนการทำงานอย่างรอบคอบรัดกุมและต้องทำงานแข่งขันทันทีกับเวลาเพื่อให้ได้ผลงานตามแผนงานที่วางไว้ ในปัจจุบันหากเกิดปัญหาหน้างานขึ้นทางผู้บริหารไม่สามารถรับรู้และค้นหาสาเหตุที่ทำให้งานเกิดปัญหาได้อย่างทันท่วงที ทำให้วิธีการแก้ไขปัญหาล่าช้าไม่ทันต่อสถานการณ์อาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจเหมืองแร่ได้ ทางบริษัทที่ศึกษาจึงได้ปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยการออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อค้นหาสาเหตุการทำงานและวิธีการแก้ไขที่แท้จริง โดยให้ผู้บริหารดำเนินการตัดสินใจด้วยตัวเองและใช้วางแผนการบริหารงานต่อไป

## วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับกระบวนการทำเหมืองแร่ ใช้ค้นหาสาเหตุและสนับสนุนการตัดสินใจให้แก่ผู้บริหารหากพบว่าผลผลิตรายวันน้อยกว่าแผนการทำงานที่วางไว้

## อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและชุดคำสั่ง Bootstrap Font-End Framework ผู้วิจัยแบ่งวิธีการออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย และนำไปออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

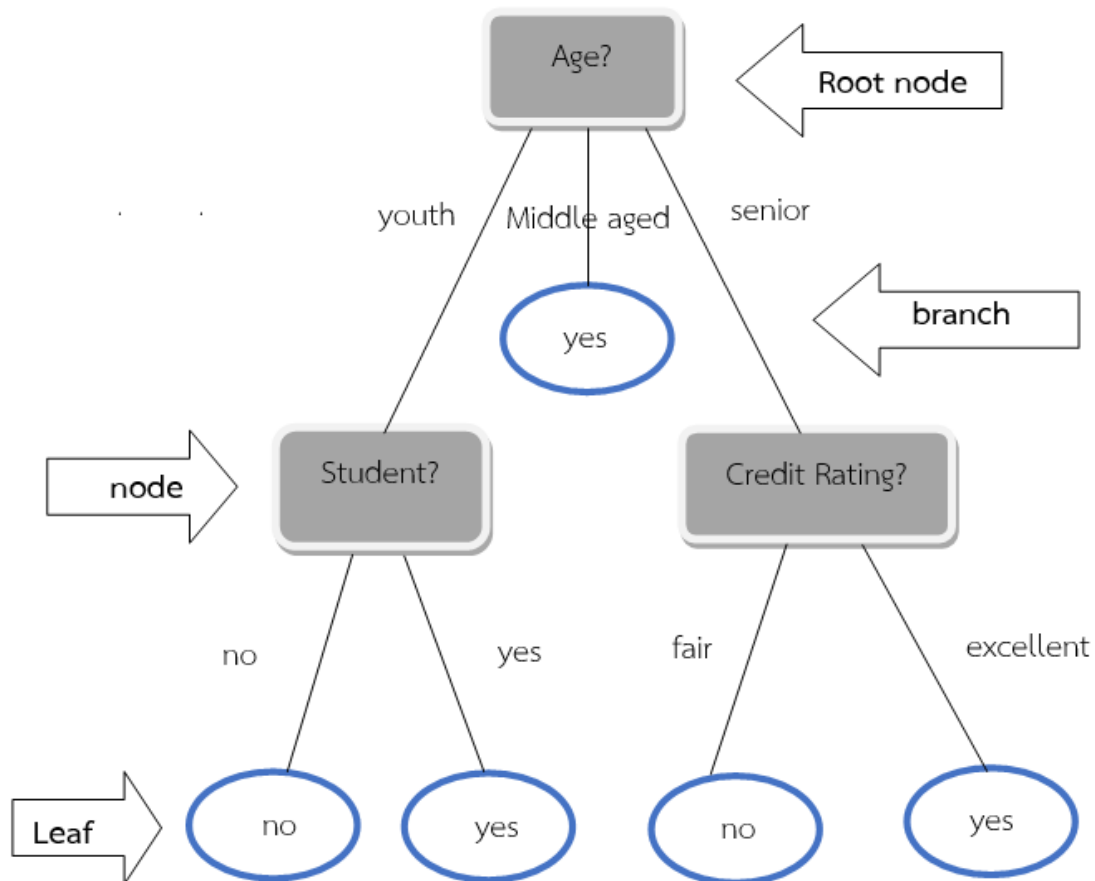
ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางของการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

ชินพัฒน (2553) ได้นำทฤษฎีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) มาช่วยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขและลำดับการกระทำตั้งแต่เงื่อนไขแรกจนถึงเงื่อนไขสุดท้าย โดยมีโครงสร้างข้อมูลชนิดเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) ใช้สนับสนุนการตัดสินใจซึ่งจะมีลักษณะคล้ายต้นไม้จริงกลับหัวที่มีโหนดราก (Root Node) อยู่ด้านบนสุด ภายในต้นไม้ประกอบด้วยโหนด (Node) ซึ่งแต่ละโหนดจะมีคุณลักษณะ (Attribute) เป็นตัวทดสอบ กิ่งของต้นไม้ (Branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ถูกเลือกทดสอบ และใบ (Leaf) ซึ่งเป็นสิ่งที่อยู่ล่างสุดของต้นไม้ตัดสินใจแสดงถึงกลุ่มของข้อมูล (Class) เป็นคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนาย และการวิเคราะห์ตัดสินใจโดยแผนภูมิต้นไม้ทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจเลือกเงื่อนไขที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว แสดงดังภาพที่ 1

นาศยาและคณะ (2561) ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการบริหารจัดการงานซ่อมระบบเครือข่ายและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ด้วย Bootstrap Front-End Framework กรณีศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทราชตรีวิทยาราช โดยได้นำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูลการซ่อมอย่างเป็นระบบโดยเลือก MySQL ในการจัดการฐานข้อมูล เลือกให้ภาษา PHP เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม และใช้ Bootstrap Front-End Framework ในการดีไซน์การออกแบบเว็บไซต์ให้รองรับการแสดงผลในทุกอุปกรณ์

ภาสสิริ (2558) ได้นำเสนอการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับช่วยวิเคราะห์สาเหตุการชำรุดและวิธีการซ่อม (บำรุงเครื่องวัดทางไฟฟ้าโดยจำแนกอาการชำรุดมาสร้างโดยใช้แผนภูมิต้นไม้ และออกแบบหลักเกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะการชำรุดพร้อมคำแนะนำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบของผู้เชี่ยวชาญมีความถูกต้องเป็นไปตามแผนภูมิต้นไม้จำนวน 18 เครื่องจากทั้งหมด 20 เครื่อง คิดเป็นร้อยละ 90 จากการทดลองของระบบ

ศิษฏา (2560) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบวินิจฉัยปัญหาของเครื่องจักรจากข้อความแจ้งเตือนของระบบควบคุม โดยออกแบบลักษณะจากการซ่อมของผู้เชี่ยวชาญและผู้ผลิตเครื่องจักร ใช้แผนภูมิต้นไม้เพื่อการตัดสินใจเป็นโมเดล พบว่าระบบมีความถูกต้องและสอดคล้องกับแผนภูมิต้นไม้จากจำนวนข้อความแจ้งเตือน 47 ข้อความของระบบควบคุม สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุสอดคล้องกับกระบวนการแก้ไขปัญหาของผู้เชี่ยวชาญได้อย่างเป็นระบบ



ภาพที่ 1 แผนผังต้นไม้ตัดสินใจ

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลมาออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้ทฤษฎีแผนภูมิต้นไม้ซึ่งเป็นเทคนิคทางเลือกในการตัดสินใจ จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าสาเหตุที่ทำให้ผลงานรายวันน้อยกว่าแผนงาน มี 2 ปัจจัยหลัก โดยแต่ละปัจจัยมีสาเหตุดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สาเหตุที่ทำให้ผลงานรายวันน้อยกว่าแผนงาน

ปัจจัย	สาเหตุหลัก	รายละเอียด
ภายนอก	ภัยธรรมชาติ	1.เกิดจากแผ่นดินไหว 2.เกิดจากพายุฝนตกหนัก 3.เกิดจากน้ำป่าไหลหลาก 4.เกิดจากดินถล่ม
	สภาพธรณีวิทยา	1.เกิดจากวัตถุที่ทำการขุดชน 2.เกิดจากสภาพโครงสร้างบ่อเหมือง
ภายใน	เครื่องจักร	1.เกิดจากเครื่องจักรชำรุดก่อนรอบระยะเวลาการบำรุงรักษา 2.เกิดจากเครื่องจักรชำรุดเกินรอบระยะเวลาการบำรุงรักษา
	การวางแผนงาน	1.เกิดจากแผนของเจ้าของงานไม่สอดคล้องกับความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร

1.1 ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบัน สาเหตุที่ผ่านมาพบว่าหากผลงานรายวันน้อยกว่าแผนงานที่กำหนด ทีมวิศวกรควบคุมงานต้องรอให้ทางผู้บริหารประเมินสถานการณ์และเรียกทุกฝ่ายเข้าประชุมเพื่อรับทราบแนวทางแก้ไขปัญหา อาจทำให้ระบบหรือเครื่องจักรหยุดรอนาน ส่งผลให้เสียเวลาในการทำงานและไม่สามารถค้นหาสาเหตุและวิธีการแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบ

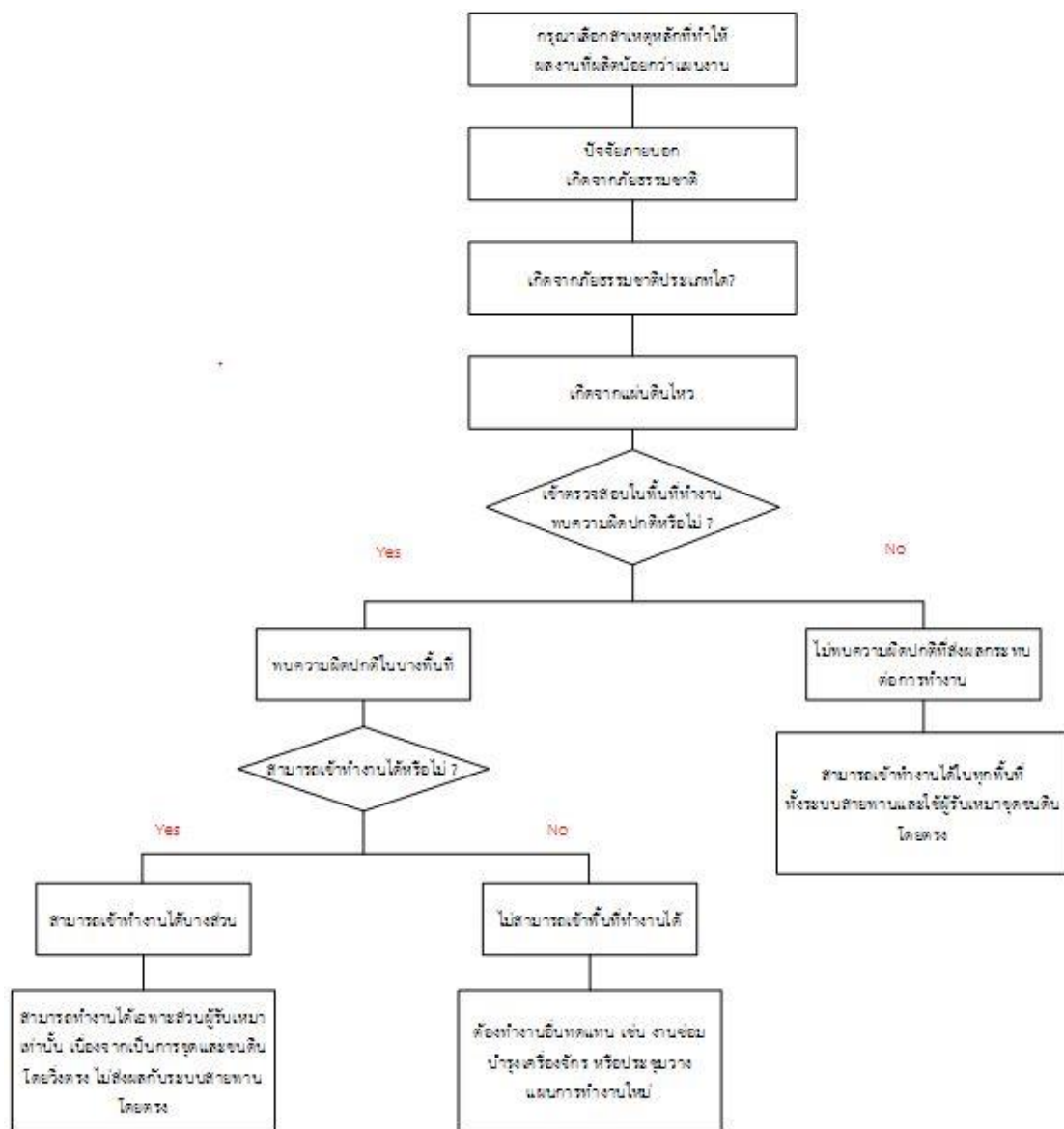
1.2 จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานและความต้องการของผู้ใช้งานในปัจจุบัน ผู้วิจัยสามารถสรุปความเป็นไปได้ของระบบที่จะพัฒนาขึ้นมาใหม่ คือ การออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยระบบจะส่งข้อความเตือนไปยังผู้บริหารทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หากประสิทธิภาพในการทำงานน้อยกว่าแผนงานรายวัน เพื่อให้ผู้บริหารทำการเลือกทางเลือกในการตัดสินใจด้วยตนเองตามลำดับแผนภูมิต้นไม้ ระบบจะช่วยให้ผู้บริหารค้นหาสาเหตุและวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว และสามารถช่วยในการวางแผนบริหารงานต่อไปได้

1.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับเลือกใช้เทคโนโลยีมาใช้พัฒนาระบบ ทำการออกแบบระบบโดยใช้ทฤษฎีแผนภูมิต้นไม้เพื่อการตัดสินใจ (Decision Tree) และพัฒนาระบบวินิจฉัยปัญหาโดยใช้ชุดคำสั่ง Bootstrap Front-End Framework ในการเขียนกระบวนการทำงานทั้งหมดที่ใช้ในการตัดสินใจ เนื่องจากเป็นคำสั่งสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

1.4 ทำการทดสอบระบบโดยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น ผู้บริหารหรือวิศวกรที่คุมหน้างาน ให้ระบบแสดงผลพร้อมอย่างถูกต้อง หากผลลัพธ์ยังมีข้อผิดพลาดให้ทำการแก้ไขอีกครั้ง และหากได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแล้วทำการสรุปการดำเนินงานต่อไป

## 2. ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้ทฤษฎีแผนภูมิต้นไม้ พิจารณาจากปัญหาที่พบในหน้างานอยู่เป็นประจำ เช่น การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยแบ่งตามปัจจัยภายนอกที่เกิดจากภัยธรรมชาติ การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยแบ่งตามปัจจัยภายในที่เกิดจากเครื่องจักร เป็นต้น โดยตัวอย่างการออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจตามปัจจัยภายนอกสาเหตุเกิดจากแผ่นดินไหวแสดงดังภาพที่ 2



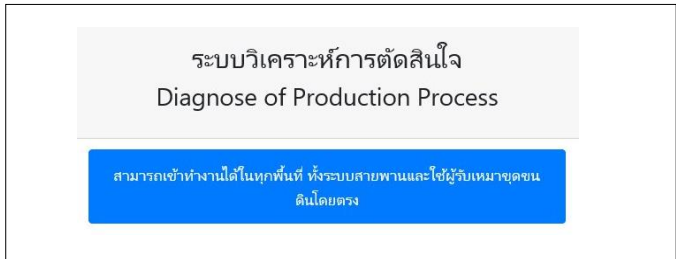
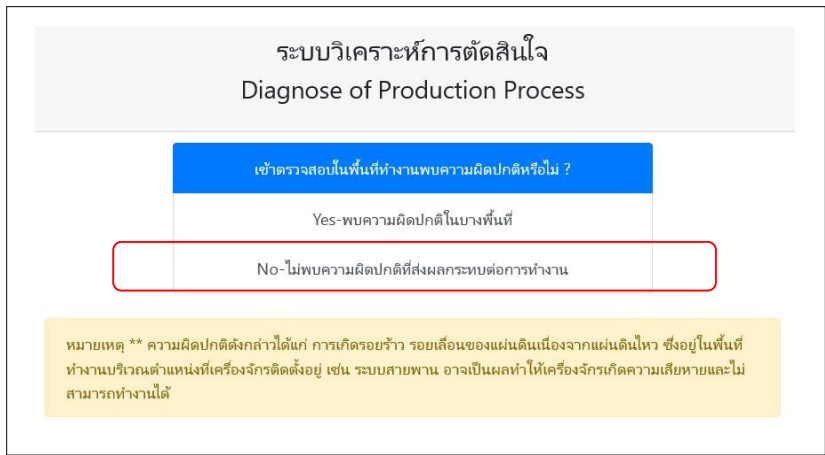
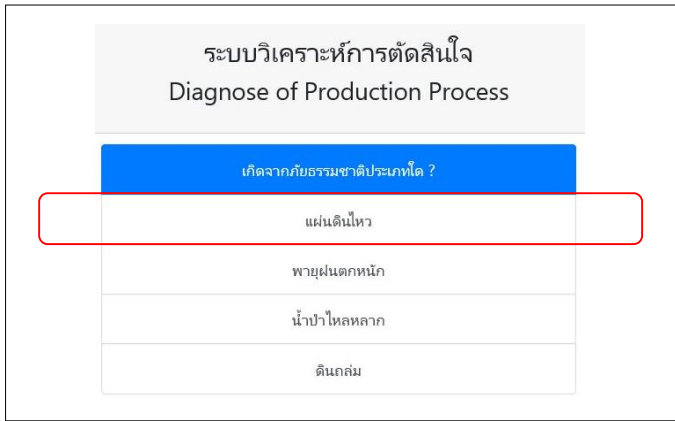
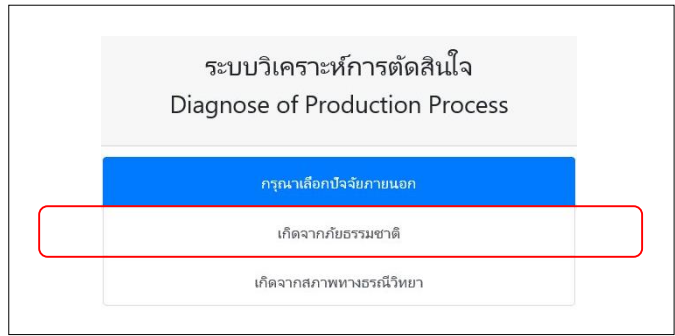
หมายเหตุ \*\* ความผิดปกติดังกล่าวได้แก่ การเกิดรอยร้าว รอยเลื่อนของแผ่นดินเนื่องมาจากแผ่นดินไหว ซึ่งอยู่ในพื้นที่ทำงานบริเวณ  
ตำแหน่งที่เครื่องจักรติดตั้งอยู่ เช่น ระบบสาขา อาจเป็นผลทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายและไม่สามารถทำงานได้

ภาพที่ 2 ตัวอย่างออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยแบ่งตามปัจจัยภายนอกสาเหตุเกิดจากแผ่นดินไหว

### 3. พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษา JavaScript ร่วมกับ HTML และใช้ชุดคำสั่งจาก Bootstrap Front-End Framework ในการพัฒนาระบบเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่าย สามารถเรียนรู้ได้ง่าย มีความสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งผู้บริหารต้องทำการเลือกทางเลือกในการตัดสินใจด้วยตนเองตามลำดับแผนภูมิต้นไม้ สามารถแสดงหน้าจอระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้ดังภาพที่ 3





### ภาพที่ 3 แสดงหน้าจอรระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

#### 4. ทดสอบและแก้ไขระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ผู้วิจัยได้เขียนชุดคำสั่งเปรียบเทียบกับกระบวนการออกแบบทางเลือกของระบบในรูปแบบแผนภูมิต้นไม้เพื่อทำการทดสอบและตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าหากทำการทดสอบไม่ผ่านต้องทำการแก้ไขชุดคำสั่งใหม่อีกครั้งเพื่อให้ระบบสามารถประมวลผลได้

### ผลและวิจารณ์

ทำการทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยผู้บริหาร 2 คน ทำให้ได้เวลาในการแก้ไขปัญหาเฉลี่ยโดยมีข้อมูลดังตารางที่ 2 และสามารถเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาก่อนและหลังใช้ระบบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เวลาเฉลี่ยหลังใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยผู้บริหาร

ลำดับ	สาเหตุหลัก	เวลาเฉลี่ยหลังใช้ระบบช่วย (นาที)		
		ผู้บริหารที่ 1	ผู้บริหารที่ 2	เวลาเฉลี่ย
1	จากภัยธรรมชาติ	4	6	5
2	จากสภาพทางธรณีวิทยา	6	5.5	5.75
3	จากเครื่องจักร	5	4.5	4.75
4	จากการวางแผน	3	4	3.5
เฉลี่ยรวม				4.75

ตารางที่ 3 เวลาเฉลี่ยก่อนใช้และหลังใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ลำดับ	สาเหตุหลัก	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา (นาที)		เวลาที่ลดลง (นาที)
		ก่อนใช้ระบบ	หลังใช้ระบบ	
1	จากภัยธรรมชาติ	30	5	25
2	จากสภาพทางธรณีวิทยา	20	5.75	14.25
3	จากเครื่องจักร	30	4.75	25.25
4	จากการวางแผน	40	3.5	36.5
รวม		120	19	101
เฉลี่ย		84.17%		

## สรุป

จากการทดสอบการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับกระบวนการทำเหมืองแร่ ผู้บริหารสามารถค้นหาสาเหตุและวิธีการของการแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบและมีความรวดเร็วทันต่อสถานการณ์ โดยเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาก่อนใช้ระบบรวม 120 นาที และหลังการใช้ระบบใช้เวลา 19 นาที โดยลดลง 101 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 84.17 ของระบบเดิม

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่สนับสนุนข้อมูลและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

ชินพัฒน แก้วชินพร .2553. การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและการจัดกลุ่ม.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ,คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นาดตยา ขุนทอง .ปราณี มณีรัตน์ และ ศุภฤกษ์ ชูธงชัย ,2561 .การพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการบริหารจัดการงานซ่อมระบบเครือข่ายและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ด้วยบุทสแตรป ฟอนท์เอ็น เฟรมเวิร์คกรณีศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยศรี , ปทุม

ภาสิริ พัวพันธ์ .2558 .การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญระบบการซ่อมบำรุงเครื่องวัดทางไฟฟ้า กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .

ศิษฏา ภูสุวรรณ์ .2560 .การพัฒนาระบบวินิจฉัยปัญหาของเครื่องจักรจากข้อความแจ้งเตือนของระบบควบคุมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .

## ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุแคโทดชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่สามารถควบคุมรูปร่างได้ในตัวทำละลายโดยวิธีโซลโวเทอร์มอลสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

Electrochemical performance of morphology-controllable  $\text{LiFePO}_4$  cathode material in a binary solvent by solvothermal method for lithium ion batteries.

สุจีรา พลุกษชาติ<sup>1</sup> พงษ์สิทธิ์ กระเบา<sup>1</sup> ศราวุธ บ้องหา<sup>2</sup> และ นงลักษณ์ มีทอง<sup>1,2\*</sup>

Sujeera Pleuksachat<sup>1</sup>, Phongsit Krabao<sup>1</sup>, Sarawut Pongha<sup>2</sup>, and Nonglak Meethong<sup>1,2\*</sup>

### บทคัดย่อ

วัสดุลิเทียมไอรอนฟอสเฟต ( $\text{LiFePO}_4$ ; LFP) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุขั้วบวกในเชิงพาณิชย์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เนื่องจากมีช่วงการทำงานของความต่างศักย์ที่เหมาะสม (3.4 V vs.  $\text{Li}^+/\text{Li}$ ) มีค่าความจุไฟฟ้าทางทฤษฎีที่สูง ( $170 \text{ mAh g}^{-1}$ ) ราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเสถียรที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตาม LFP ยังคงมีค่าความนำไฟฟ้าที่ต่ำ และมีการแพร่ในหนึ่งมิติในแนวแกน b ซ้ำ ซึ่งขนาดและรูปร่างมีอิทธิพลโดยตรง ในงานวิจัยนี้ วัสดุ LFP ที่สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาคได้ ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล ให้มีลักษณะเป็นทรงกลมเป็นแผ่น และเป็นแท่ง ในตัวทำละลายระหว่างเอทิลีนไกลคอล (EG) และน้ำ (DI) โดยขนาดและรูปร่างสามารถควบคุมได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้งสอง นอกจากนี้จากการศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุ LFP ที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันด้วยเทคนิคการอัดและคายประจุ (Galvanostatic charge-discharge cycling) พบว่า วัสดุ LFP ที่มีอนุภาคทรงกลมสามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะสูงที่สุดถึง  $158 \text{ mAh g}^{-1}$  ที่อัตรากระแส 0.1C และยังสามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าถึง 80% ของค่าการคายประจุเริ่มต้นหลังจากอัดคายประจุแล้ว 1,000 รอบ ที่อัตรากระแส 1C ดังนั้น จึงเป็นการยืนยันได้ว่ารูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

**คำสำคัญ :** แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน วัสดุขั้วแคโทด  $\text{LiFePO}_4$

<sup>1</sup> สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

<sup>2</sup> สถาบันวิจัยและนวัตกรรมวัสดุนาโนเพื่อพลังงาน (IN-RIE) เครือข่ายร่วมวิจัยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ-มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

Institute of Nanomaterials Research and Innovation for Energy (IN-RIE), NANOTEC-KKU RNN on Nanomaterials Research and Innovation for Energy, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

## Abstract

Lithium iron phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ; LFP) is the commercialized cathode material for lithium ion batteries (LIBs) because of its suitable operating voltage (3.4 V vs.  $\text{Li}^+/\text{Li}$ ), high theoretical capacity ( $170 \text{ mAh g}^{-1}$ ), low cost, environmental benignity, and thermal stability. However, LFP inherently shows poor electrical conductivity and slow one-dimensional Li-ion diffusion along the b-axis. The particle size and shape have a direct influence on these electrochemical properties. In this work, LFP particles, plates, and rods were synthesized by a solvothermal method in a binary solvent of ethylene glycol (EG) and water (DI). The morphology and size of LFP can be selectively controlled by varying the volume ratio of the binary solvent. The electrochemical properties of the different LFP morphologies were investigated using galvanostatic charge-discharge cycling method. The LFP particles exhibit higher specific discharge capacity ( $\sim 158 \text{ mAh g}^{-1}$  at 0.1C) than the other LFP morphologies. Moreover, this material also maintains 80% of the initial discharge capacity after 1,000 cycles at 1C. It confirms that the different morphologies have a large impact on electrochemical performance of lithium-ion batteries.

**Keywords:** Li-ion batteries, Cathode materials,  $\text{LiFePO}_4$

## บทนำ

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานหลักในปัจจุบันของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องถ่ายรูป คอมพิวเตอร์พกพา อุปกรณ์การแพทย์ รถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูงทั้งเชิงปริมาตร (Volumetric energy density) และเชิงมวล (Gravimetric energy density) มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีอัตราการคายประจุด้วยตัวเอง (self-discharge rate) ต่ำ มีการบำรุงรักษา น้อย และมีรูปร่างหลากหลายตามรูปแบบการใช้งาน [1] จึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วโลกเพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนให้ดียิ่งขึ้น โดยปัจจัยหลักในการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนอยู่ที่วัสดุที่นำมาทำขั้วไฟฟ้า โดยเฉพาะวัสดุที่นำมาทำเป็นขั้วแคโทด เนื่องจากวัสดุแคโทดมีบทบาทสำคัญต่อความจุพลังงาน (Energy capacity) และราคาของแบตเตอรี่ [2] โดยในอดีตวัสดุลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ( $\text{LiCoO}_2$ ; LCO) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุขั้วแคโทดมากที่สุดในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยที่สารประกอบโคบอลต์มีความเสถียรทางความร้อนและโครงสร้างต่ำ ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้า [3] ดังนั้นนักวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุจึงพยายามพัฒนาวัสดุใหม่ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกที่จะนำมาใช้ทำขั้วแคโทดแทน LCO ในปี 1997 Goodenough et al. ได้ค้นพบวัสดุลิเทียมไอออนฟอสเฟต ( $\text{LiFePO}_4$ ; LFP) ซึ่งเป็นวัสดุแคโทดที่น่าสนใจสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เนื่องจากมีช่วงการทำงานของความต่างศักย์ที่เหมาะสม (3.4 V vs.  $\text{Li}^+/\text{Li}$ ) มีค่าความจุไฟฟ้าทางทฤษฎีสูง ( $170 \text{ mAh g}^{-1}$ ) ราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเสถียรที่อุณหภูมิสูง [4] อย่างไรก็ตาม LFP ยังคงประสบกับปัญหาจากความนำไฟฟ้าต่ำ (low electronic conductivity) และการเคลื่อนที่ของลิเทียมไอออน (Li-ions) เคลื่อนที่ได้ช้าเพราะลิเทียมไอออนของสาร LFP มีการเคลื่อนที่ได้เพียง 1 มิติในแนวแกน b ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งานที่มีกำลังไฟสูงๆ ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ดังนั้นการสังเคราะห์และการดัดแปลงวัสดุต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเอาชนะข้อจำกัดของการขนส่งทั้งไอออนิกและอิเล็กตรอนิกส์ของวัสดุ LFP โดย

การเคลือบสารตัวนำไฟฟ้า เช่น คาร์บอน ลงบนผิวของอนุภาค [5] และการเจือสาร LFP ด้วยไอออนของธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจาก +2 ถึง +5 [6] ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ปรับปรุงการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวและในอนุภาคบัลค์ของ LFP ตามลำดับ และวิธีการทั่วไปอีกหนึ่งในการปรับปรุงการนำไฟฟ้าทั้งไอออนิกและอิเล็กทริกของวัสดุ LFP คือ การสังเคราะห์สารให้ได้ขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตร ซึ่งไม่เพียงช่วยลดระยะทางในการแพร่ของอิเล็กตรอนและลิเทียมไอออนเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย [7] Jamnik et al. [8] ได้รายงานไว้ว่า วัสดุที่นำมาทำขั้วในระดับนาโนนอกจากลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่เข้า-ออกในโครงสร้างในรูปแบบเดิมแล้วยังกักเก็บลิเทียมไอออนบริเวณพื้นผิวได้ด้วย ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงความจุจำเพาะของวัสดุ LFP ได้ และยังมีส่วนลดขนาดอนุภาคเล็ก ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีของพื้นผิวก็ยิ่งสูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาผลของรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันของวัสดุ LFP ต่อสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยจะสังเคราะห์วัสดุ LFP ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอลที่อัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างเอทิลีนไกลคอล (EG) และน้ำ (DI) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้รูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ โดยการใช้นิเทศพื้นฐานทั้งการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคแบบจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคการอัด-คายประจุ (Galvanostatic charge-discharge cycling) ซึ่งในการทำความเข้าใจผลของรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันจะเป็นตัวช่วยสำคัญในการออกแบบวัสดุให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์วัสดุ LFP ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่าง EG: DI เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดของวัสดุที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาผลของรูปร่างและขนาดต่อสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุ LFP

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุ LFP

วัสดุ LFP ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล โดยใช้เงื่อนไขอัตราส่วนของสารตั้งต้น Li: Fe: PO<sub>4</sub> เท่ากับ 2.7: 1: 1 ความเข้มข้นของสารละลาย 0.25 โมลาร์ โดยขั้นตอนแรก ละลาย LiOH·H<sub>2</sub>O (98%; Sigma-Aldrich) ในน้ำ DI (สารละลาย A) และละลายสาร FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (99.50%; QREC) และกลูโคส (99.5%; Sigma-Aldrich) ใน EG (สารละลาย B) โดยนำสารละลายทั้งสองไปสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 60 นาที จนละลายเข้ากันดี จากนั้นหยด H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (85%; Ajax Finechem) ลงในสารละลาย B แล้วคนให้เข้ากันประมาณ 10-15 นาที (สารละลาย C) จากนั้นผสมสารละลาย A และ C ในกระบอกเทปลอน พร้อมกับคนให้เข้ากันประมาณ 3-5 นาที ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน แล้วลือคด้วยแท่นเลด และอบที่อุณหภูมิ 185 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากที่ถูกอุณหภูมิเย็นลง นำสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ล้างด้วยน้ำ DI หลายๆ รอบ จนมีค่า pH เป็นกลาง กรองด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) นำตะกอนที่ได้อบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเคลือบด้วยคาร์บอนเพื่อเพิ่มความนำไฟฟ้าให้กับวัสดุ สามารถแบ่งได้เป็นสองขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก นำสารที่แห้งแล้วไปบดละเอียด และนำไปคอมโพสิตด้วยคาร์บอนที่ได้จากซูโครส (99.5%; Sigma-Aldrich) โดย

คิดเปอร์เซ็นต์ของซูโครสที่ผสมเข้าไป 5% ของคาร์บอน โดยใช้ DI และเครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการผสมซูโครสกับ สารประกอบ ใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที จากนั้นทำการระเหยน้ำออกด้วยเครื่อง Freeze dry จนแห้ง และนำไปเผา โดยใช้เวลาเผาอุณหภูมิสูงแบบท้อ ซึ่งแบ่งช่วงในการเผา คือ ที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ 500 °C ใช้เวลา 6 ชั่วโมง จะได้วัสดุคอมโพสิต LFP/C

## 2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลของวัสดุ LFP

### 2.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึก และลักษณะพื้นฐาน

ศึกษาโครงสร้างผลึกของวัสดุ LFP ที่เตรียมได้ด้วย XRD โดยใช้ค่าที่มุม 2 $\theta$  ระหว่าง 10-80 องศา ที่ ความยาวคลื่น 1.54 Å และลักษณะพื้นฐาน ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของอนุภาคสามารถศึกษาได้จาก SEM

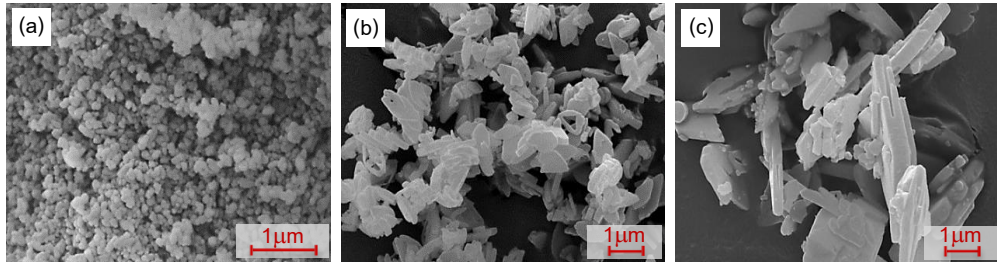
### 2.2 วิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมี

คุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุ LFP ถูกทดสอบด้วยเทคนิคการอัด-คายประจุ โดยการประกอบเซลล์ แบตเตอรี่ชนิดกระดุม ภายในตู้ควบคุมความดันและบรรยากาศ (Glove box) ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ขั้ว แคโทด (วัสดุ LFP/C) ขั้วแอโนด (โลหะลิเทียม) อิเล็กโทรไลต์ (LiPF<sub>6</sub>) และตัวกั้น (Celgard 2400) ในการเตรียม ขั้วไฟฟ้าโดยการนำวัสดุ LFP/C มาเป็นขั้วแคโทด ประกอบด้วย LFP/C บดให้เป็นผงละเอียด ผงของคาร์บอนตัวนำ (Conductive carbon black; Super P) และตัวเชื่อมประสาน (Binder) โดยใช้สารละลาย N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) และ Kynar (Polyvinylidene difluoride; PVDF) โดยใช้สัดส่วนของ LFP/C: Super P: Kynar เป็น 80: 10: 10 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเหยียงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำสารที่ผสมดีแล้วมาเคลือบลงบนแผ่น อะลูมิเนียม แล้วนำไปอบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศา เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อแห้งนำมาตัดเป็นเซลล์ วงกลม แล้วนำไปประกอบเซลล์แบตเตอรี่ชนิดกระดุม เพื่อนำไปใช้ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าเคมี ด้วยเทคนิคการอัด- คายประจุ ที่แรงดันไฟฟ้า 2.0-4.2 V และอัดประจุที่อัตรากระแสต่างกันคือ C/10 C/5 C/2 1C 2C 5C และ 10C ตามลำดับ (C/n เมื่อ n คือจำนวนชั่วโมงในการอัดประจุ หรือคายประจุ)

## ผลและวิจารณ์

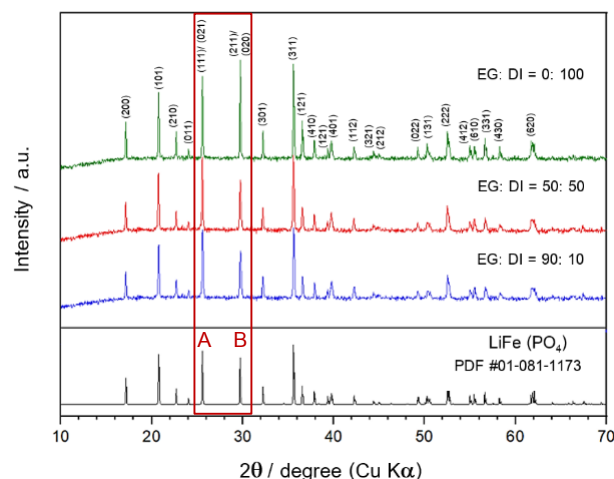
ภาพที่ 1 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุ LFP ที่เตรียมด้วยวิธี โซลโวลเทอรัมอล โดยใช้เงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI ต่างกัน ซึ่งจากภาพถ่าย SEM จะเห็นว่าลักษณะ พื้นฐานของวัสดุ LFP ขึ้นกับอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI จากภาพที่ 1(a) แสดงลักษณะพื้นฐานของวัสดุ LFP ที่อัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI = 90: 10 ซึ่งมีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลม และเกาะกลุ่มกัน มีขนาดอนุภาค ประมาณ 80-200 nm ภาพที่ 1(b) ที่อัตราส่วน EG: DI = 50: 50 มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาดความกว้างประมาณ 400- 650 nm ความยาวประมาณ 900-1,500 nm และความหนาประมาณ 150-250 nm และ 1(c) ที่อัตราส่วน EG: DI = 0: 100 มีลักษณะเป็นแท่งขนาดใหญ่ ขนาดความยาวประมาณ 1,200-3,500 nm และความหนาประมาณ 250-700 nm จะเห็นได้ว่า เมื่อลดสารละลาย EG ลงยิ่งทำให้วัสดุ LFP มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของสารละลาย EG (1) สารละลาย EG ช่วยป้องกันการออกซิเดชันของ Fe<sup>2+</sup> ไปเป็น Fe<sup>3+</sup> ระหว่างกระบวนการเกิดปฏิกิริยา และยังช่วยให้ มั่นใจในความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (2) สารละลาย EG มีความหนืดสูงกว่าน้ำ DI ซึ่งสามารถชะลออัตราการแพร่ ของไอออนและป้องกันการเกิดอนุภาคขนาดใหญ่ได้ (3) โมเลกุลของ EG มีสายโซ่พันธะไฮโดรเจนที่ยาว (EG เป็น สารละลายอินทรีย์ที่มีขั้วของกลุ่ม -OH) ที่ซึ่งอาจเป็นตัวดักจับไอออนบวกในส่วนผสมของปฏิกิริยา และช่วยในการก่อ

ตัว (Nucleate) และการเติบโต (Grow) ของ LFP ในอนุภาคให้มีลักษณะพื้นฐานเฉพาะตัว (4) EG ไม่ได้เป็นเพียงสารละลายเท่านั้น แต่ยังเป็นแบบในการเติบโตของผลึก LFP ด้วย เนื่องจากมีความสามารถพิเศษในการจับธาตุที่มีประจุบวกได้ (Chelating ability) [9] ดังนั้น EG จึงมีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมรูปร่างและขนาดของอนุภาคระหว่างกระบวนการไซลโวเทอร์มอล ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาการแพร่ของไอออน และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยตรง



**ภาพที่ 1** ภาพถ่าย SEM ของวัสดุ LFP ที่เตรียมด้วยวิธีไซลโวเทอร์มอล โดยใช้เงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย (a) EG: DI = 90: 10 (b) EG: DI = 50: 50 (c) EG: DI = 0: 100

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของวัสดุ LFP ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไซลโวเทอร์มอลด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) แสดงดังภาพที่ 2 พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุ LFP ของทุกเงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย (EG: DI = 90: 10, 50: 50, 0: 100) สอดคล้องกับข้อมูลในฐานระบบโครงสร้างไอลิวัน  $\text{LiFePO}_4$  (PDF#01-081-1173) ที่มีหน่วยเซลล์แบบออร์โธโรมบิก ในหมู่สมมาตรสามมิติ Pnma (Pnma Space group) โดยมีค่าคงที่ของหน่วยเซลล์  $a = 10.332 \text{ \AA}$   $b = 6.010 \text{ \AA}$  และ  $c = 4.692 \text{ \AA}$  ปริมาตรของเซลล์ (Volume of cell) เท่ากับ  $291.35 \text{ \AA}^3$  จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ดังกล่าวไม่ปรากฏฟิทของสิ่งเจือปนอื่น แสดงให้เห็นว่าสามารถสังเคราะห์วัสดุ LFP บริสุทธิ์ได้ด้วยวิธีไซลโวเทอร์มอลที่มีอัตราส่วนของตัวทำละลาย (EG: DI) ที่แตกต่างกันได้



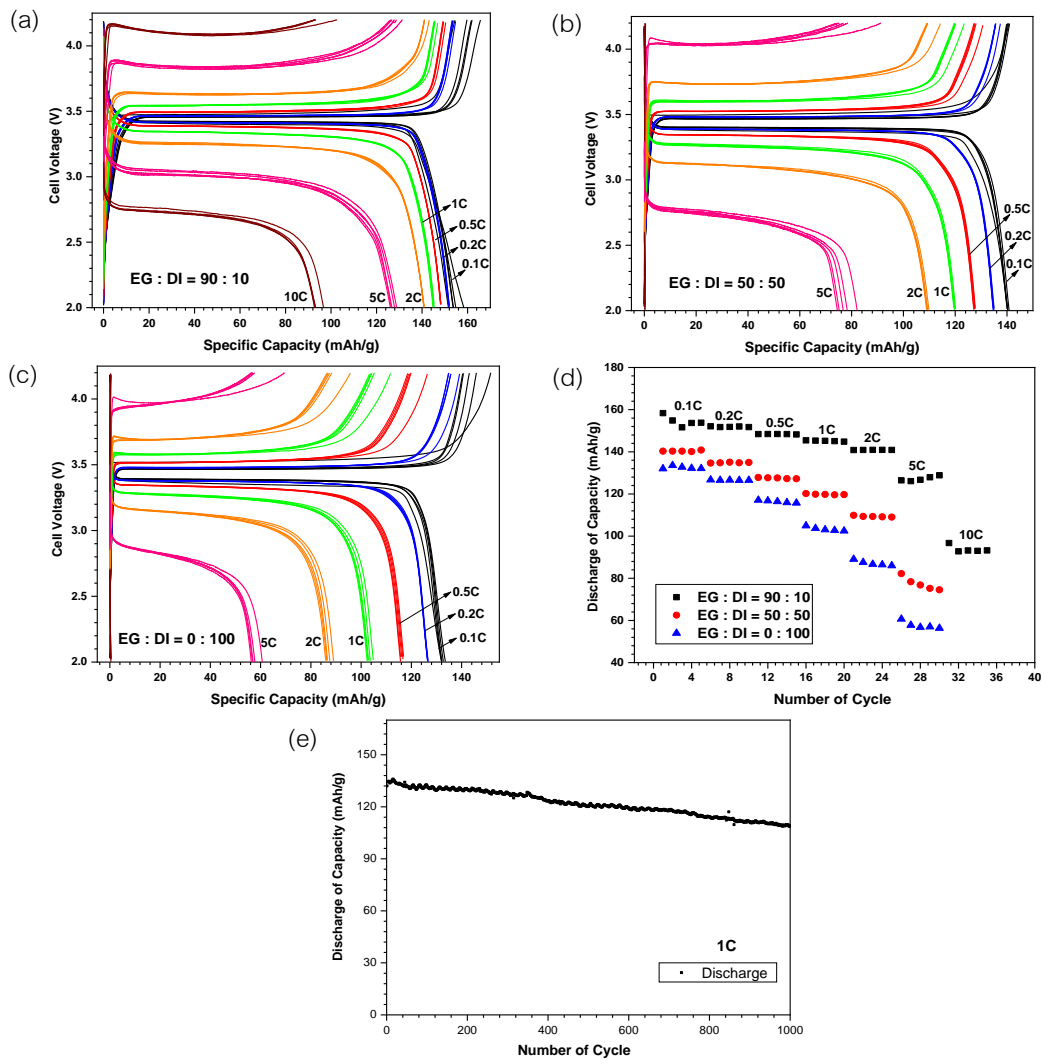
**ภาพที่ 2** รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย (EG: DI) ของวัสดุ LFP



จากภาพที่ 2 สามารถคำนวณขนาดของผลึก (Crystallite size) ด้วยสมการของเชอเลอร์ (Scherer's equation) และการวิเคราะห์ความเข้มสัมพัทธ์ (Relative intensity) ได้ จากการคำนวณโดยใช้สมการของเชอเลอร์ พบว่าที่อัตราส่วน EG: DI= 90: 10 ให้ขนาดผลึกเฉลี่ยที่เล็กที่สุด ประมาณ 35 nm รองลงมาคือ EG: DI= 50: 50 ประมาณ 60 nm และ EG: DI= 0: 100 ประมาณ 150 nm โดยที่ขนาดของผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราส่วนของ EG ลง ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นดังแสดงด้วยภาพถ่าย SEM และจากการวิเคราะห์ความเข้มสัมพัทธ์ จะเห็นได้ชัดเจน ที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ 25.5 และ 29.7 องศา ซึ่งเป็นผลจากการเลี้ยวเบนจากระนาบ (111)/(021) และ (211)/(020) ตามลำดับ มีอัตราส่วนของความเข้มที่เปลี่ยนไปขึ้นกับอัตราส่วนของ EG: DI จากภาพถ่าย SEM จะเห็นรูปร่างที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจนเมื่ออัตราส่วนของ EG: DI เปลี่ยน ซึ่งที่อัตราส่วนของพีค A และ B ของภาพที่ 2 ในกรอบสีแดง มีอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ดังนั้นอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปของพีค A และ B จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงรูปร่างที่แตกต่างกันของภาพถ่าย SEM ได้ อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของพีคดังกล่าวยังไม่สามารถบอกได้อย่างแม่นยำ ต้องทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM)

จากภาพที่ 3 แสดงสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุ LFP ด้วยเทคนิคการอัดและคายประจุ จากภาพที่ 3(a-c) แสดงสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของเงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI = 90: 10 50: 50 และ 0: 100 ตามลำดับ ที่อัตรากระแส 0.1C 0.2C 0.5C 1C 2C 5C และ 10C จากภาพจะเห็นว่า ที่ 0.1C อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 (นาโนทรงกลม) ให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะมากที่สุดถึง  $158 \text{ mAh g}^{-1}$  รองลงมาคืออัตราส่วน EG: DI = 50: 50 (นาโนแผ่น)  $141 \text{ mAh g}^{-1}$  และ EG: DI = 0: 100 (นาโนแท่ง)  $133 \text{ mAh g}^{-1}$  และอัตราส่วน EG: DI = 90: 10 (นาโนทรงกลม) ยังสามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะมากที่สุดในทุกๆ อัตรากระแส และเป็นเพียงเงื่อนไขเดียวที่สามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะที่อัตรากระแส 10C ซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้าถึง  $96 \text{ mAh g}^{-1}$  ภาพที่ 3(d) แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าในขณะการคายประจุของแต่ละเงื่อนไขกับจำนวนรอบในอัตรากระแสต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ที่อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 (นาโนทรงกลม) สามารถให้ค่าความจุไฟฟ้ามากกว่าเงื่อนไขอื่นๆ เนื่องจากที่อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 มีอนุภาคเป็นทรงกลม ขนาด 80-200 nm และมีระยะการแพร่ของไอออนในแนวแกน b ได้แก่รัศมีของทรงกลม [10] เพียง 40-100 nm ซึ่งเป็นระยะการแพร่ที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน EG: DI = 50: 50 และ 0: 100 ที่มีลักษณะเป็นแผ่นและเป็นแท่ง ตามลำดับ โดยระยะการแพร่ของไอออนในแนวแกน b คือความหนาของอนุภาค [11] ผลการศึกษาอายุการใช้งานที่ยาวนาน ถูกแสดงโดยภาพที่ 3e ซึ่งแสดงผลการทดสอบถึง 1,000 รอบ ที่อัตรากระแส 1C ของเงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI = 90: 10 (นาโนทรงกลม) ซึ่งยังสามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าถึง 80% ของค่าการคายประจุเริ่มต้น โดยปกติแล้ว งานวิจัยอื่นจะทำการทดสอบกันในช่วง 100-400 รอบเท่านั้น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า วัสดุนี้มี Cycling stability ที่ดีและใช้งานได้ยาวนานจริง

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า LFP ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอลโดยใช้ตัวทำละลายระหว่าง EG: DI = 90: 10 สามารถให้ค่าความจุที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Miao et al. [9] ที่ใช้วิธีสังเคราะห์ และตัวทำละลายชนิดเดียวกัน แต่อัตราส่วนตัวทำละลายต่างกัน โดย Miao et al. [9] ได้ใช้อัตราส่วนของ EG: DI = 20: 80 (แผ่น) 40: 60 (ขนมเปียกปูน) และ 60: 40 (แท่ง) พบว่า LFP ที่ใช้อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 ในงานวิจัยนี้สามารถให้ค่าความจุสูงกว่าในทุกๆ อัตราส่วนของ Miao et al. [9] ที่อัตรากระแสเดียวกัน และจากผลการทดลองของ Yang et al. [12] ที่สังเคราะห์วัสดุ LFP รูปร่างทรงกลมกลวง ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล ขนาดประมาณ 100 nm และเคลือบด้วยคาร์บอนหนา  $\sim 3.5 \mu\text{m}$  สามารถให้ค่าความจุ  $158 \text{ mAh g}^{-1}$  ที่ 0.1 C เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนในการสังเคราะห์ของ Yang et al. [12] ยังมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่า แต่ Nan et al. [11] สามารถสังเคราะห์วัสดุ



**ภาพที่ 3** การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของ LFP ที่ใช้เงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI (a) 90: 10 (b) 50: 50 (c) 0: 100 (d) กราฟเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าในขณะการคายประจุของแต่ละเงื่อนไขกับจำนวนรอบในอัตรากระแสต่างกัน และ (e) กราฟค่าความจุไฟฟ้าในขณะการคายประจุใน 1,000 รอบการใช้งานที่อัตรากระแส 1C ของเงื่อนไขอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI = 90: 10

LFP รูปร่างแผ่น ความหนา 30 nm (ระยะการแพร่ของไอออน) ด้วยวิธีไฮลิวเทอร์มอลที่ใช้เฉพาะตัวทำละลาย EG สามารถให้ค่าความจุที่สูงมากถึง  $165 \text{ mAh g}^{-1}$  ที่ 0.1 C ซึ่งให้ค่าความจุที่มากกว่า LFP ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจาก Nan et al. [11] สามารถสังเคราะห์ LFP ที่ให้ขนาดที่เล็กกว่า แต่ Nan et al. [11] ไม่ได้มีการรายงานการทดสอบอายุการใช้งานของวัสดุนี้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในงานวิจัยนี้ สิ่งที่น่าสนใจใหม่ คือ วัสดุ LFP ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮลิวเทอร์มอลที่อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมในระดับนาโน สามารถให้ค่าความจุที่สูงเทียบเท่ากับงานวิจัยอื่น และสิ่งสำคัญคือสามารถให้อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าที่เคยมีการรายงานมาก่อนหน้านี้

## สรุป

วัสดุ LFP บริสุทธิ์ที่ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของอัตราส่วนของตัวทำละลาย EG: DI ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล สามารถให้รูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน เมื่อลดสารละลาย EG จะทำให้วัสดุ LFP มีรูปร่างและขนาดที่ใหญ่ขึ้น รวมทั้งยังส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วย ที่อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 LFP มีอนุภาคทรงกลม ขนาด 80-200 nm ให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงที่สุดถึง  $158 \text{ mAh g}^{-1}$  ที่ 0.1C สามารถให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดในทุกๆ อัตรากระแส และสามารถอัดและคายประจุที่อัตรากระแสสูง 1C ได้ถึงกว่า 1,000 รอบ ดังนั้น การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล ที่อัตราส่วน EG: DI = 90: 10 จึงเป็นตัวเลือกในการควบคุมรูปร่างและขนาดของ LFP เพื่อเป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุแคโทดสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนการทำวิจัยจากสถาบันวิจัยและนวัตกรรมวัสดุนาโนเพื่อพลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทุนโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

## อ้างอิง

1. Etacheri V, Marom R, Elazari R, Salitra G, Aurbach D. (2011). Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3243-3262.
2. Deng Y, Yang C, Zou K, Qin X, Zhao Z, Chen G. (2017). Recent advances of Mn-Rich  $\text{LiFe}_{1-y}\text{Mn}_y\text{PO}_4$  ( $0.5 \leq y < 1.0$ ) cathode materials for high energy density lithium ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 7(13), 1-29.
3. Dahn JR, Fuller EW, Obrovac M, Sacken UV. (1994). Thermal stability of  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$ ,  $\text{Li}_x\text{NiO}_2$  and  $\lambda\text{-MnO}_2$  and consequences for the safety of Li-ion cells. *Solid State Ionics*, 69(3-4), 265-270.
4. Padhi AK, Nanjundaswamy KS, Goodenough JB. (1997). Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries. *Journal of the electrochemical society*, 144(4), 1188-1194.
5. Huang YH, Park KS, Goodenough JB. (2006). Improving lithium batteries by tethering carbon-coated  $\text{LiFePO}_4$  to polypyrrole. *J. Electrochem. Soc.*, 153, A2282-A2286.
6. Wang ZH, Yuan LX, Wu M, Sun D, Huang YH. (2011). Effects of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  co-doping on electrochemical performance in  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ . *Electrochimica Acta.*, 56(24), 8477-8483.
7. Yamada A, Chung SC, Hinokuma K. (2001). Optimized  $\text{LiFePO}_4$  for lithium battery cathodes. *J. Electrochem. Soc.*, 144, A224-A229.
8. Jamnik J, Maier J. (2003). Nanocrystallinity effects in lithium battery materials-Aspects of nano-ionics. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 5, 5215-5220.
9. Miao W, Wang ZH, Yuan LX, Zhang WX, Hu XL, Huang YH. (2012). Morphology-controllable solvothermal synthesis of nanoscale  $\text{LiFePO}_4$  in a binary solvent. *Chin Sci Bull*, 57, 4170-4175.
10. Bi Z, Zhang X, He W, Min D, Zhang W. (2013). Recent advances in  $\text{LiFePO}_4$  nanoparticles with different morphology for high-performance lithium-ion batteries. *RSC Adv.*, 3, 19744-19751.
11. Nan C, Lu J, Chen C, Peng Q, Li Y. (2011). Solvothermal synthesis of lithium iron phosphate nanoplates. *J. Mater. Chem.*, 21, 9994-9996.
12. Yang S, Hu M, Xi L, Ma R, Dong Y, Chung CY. (2013). Solvothermal Synthesis of Monodisperse  $\text{LiFePO}_4$  Micro Hollow Spheres as High Performance Cathode Material for Lithium Ion Batteries. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5, 8961-8967.

# ระบบควบคุมการจ่ายน้ำเติมปุ๋ยอัตโนมัติและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC

## An Automatic Control System for Fertilizer Filling, Temperature and Humidity Using PLC

สุรศักดิ์ คามะปะโน และ บุญเลิศ สือเฉย

Surasak Kamapani and Boonlert Suechey

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายน้ำเติมปุ๋ยอัตโนมัติและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC ในการควบคุมระบบทั้งหมด โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้ ระบบรดน้ำใส่ปุ๋ยอัตโนมัติ การทำงานจะยึดตามเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนด สามารถตั้งได้ที่ไทม์เมอร์ บริเวณตู้ควบคุมการทำงาน ระบบควบคุมอุณหภูมิในส่วนนี้จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ จับได้ว่าภายในบริเวณปลูกมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้มีการสเปร์ย์เพื่อลดอุณหภูมิควบคู่ไปกับการระบายอากาศออกสู่ภายนอก แต่เมื่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตรวจจับได้ว่าภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้หลอดติดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในบริเวณปลูก ระบบระบายอากาศและเติมอากาศ ในระบบนี้ จะมีการทำงานโดยอัตโนมัติ หลังจากระบบสั่งให้รดน้ำเสร็จ และทำการเติมอากาศเข้าภายในบริเวณปลูกหลังจากระบายอากาศออกเรียบร้อยแล้ว การทำงานของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในขอบเขต 25-35 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ระบบทั้ง 3 ระบบสามารถทำงานตอบสนองตามความต้องการของผู้จัดทำได้เป็นอย่างดี ลดกำลังคนที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และสามารถลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการที่นำหลักการทำงานของระบบไปใช้ในระยะเวลา

**คำสำคัญ :** ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบรดน้ำอัตโนมัติ พีแอลซี

### Abstract

This research presents the development of automatic water spray and fertilizer control temperature and humidity control systems using by PLC to control all systems. Which will be divided into 3 parts as follows. Automatic watering system with fertilizer. The work is based on the time specified by the user. Can be set at the timer in the control cabinet area temperature control system in this section, water is used as an intermediary to reduce the temperature inside the house. Which the working principle is when the temperature sensor caught that the planted area has temperatures higher than specified the system will order the spray to reduce the temperature while also ventilating the outside. But when the temperature sensor detects that the interior of the house is below the specified temperature. The system will order the tubes to increase the temperature within the planting area. Ventilation and aeration systems in this system, it will work automatically. After the system has ordered watering and to fill the air inside. The planting area

---

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพฯ 10160 ประเทศไทย

Department of Electrical Engineering, Graduate Study, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Bangkok 10160, Thailand

after the ventilation has been completed. System operation is efficient able to control the temperature in the scope 25-35 degrees, Humidity control more 95 percent. Systems can work to meet the needs of the organizer as well. Reduce the manpower used in operations and can reduce the expenses of farmers or those who apply the system's principles for long-term use.

**Keywords :** Temperature and Humidity Control System , Automatic Water Spray, PLC

## 1. บทนำ

การเกษตรมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตมาบรรพ์ โดยมนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายจากพืช สัตว์ ในชีวิตประจำวัน โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปัจจัย 4 คือ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค โดยมนุษย์รู้จักเก็บเกี่ยวผลผลิตทางเกษตร นำไปประกอบอาหารรับประทาน สร้างความเจริญเติบโตแก่ร่างกาย นำส่วนต่าง ๆ ของพืชเส้นใยไปผลิตสิ่งทอหรือใช้หนังสัตว์ทำเครื่องนุ่งห่ม ปลูกป่าเพื่อนำไม้ไปเป็นอุปกรณ์การก่อสร้าง สร้างที่พักอาศัย อาคารสถานที่ ทำเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ต่าง ๆ และปลูกพืชสมุนไพร เพื่อนำไปใช้เป็นยารักษาโรค ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งสิ้น

ซึ่งในปัจจุบันในยุคของเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในภาคของการเกษตรมากยิ่งขึ้น เริ่มตั้งแต่กระบวนการปลูกจนถึงกระบวนการการเก็บเกี่ยว เกษตรกรหรือผู้ประกอบการได้นำเทคโนโลยี หรือเครื่องทุ่นแรงมาใช้เช่น รถไถนึ่ง ขั็บ รถไถหว่านเมล็ดหว่านปุ๋ย หรือแม้กระทั่งรถเกี่ยวสำหรับเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อลดต้นทุน ประหยัดเวลาในกระบวนการผลิตออกไปจำหน่ายหรือบริโภคเป็นอาหาร ตลอดจนการนำสารเคมีต่าง ๆ มาใช้ในการเร่งผลผลิตซึ่งเป็นการส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยตรง

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาหาข้อมูลและต้องการนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคเกษตรกรรม ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก จึงได้ทำการพัฒนาระบบจ่ายน้ำเติมปุ๋ยอัตโนมัติและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการปลูกของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการ ซึ่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ผู้จัดทำได้พัฒนาต่ออยอดนั้น จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ได้นำไปใช้ทั้งในส่วนของการลดต้นทุนการผลิต คุณภาพของผลผลิตที่ได้รับ ตลอดจนระบบที่มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบจ่ายน้ำเติมปุ๋ยอัตโนมัติและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC

### 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.2.1 ควบคุมการรดน้ำได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน
- 1.2.2 ควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส
- 1.2.3 ควบคุมความชื้นได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์
- 1.2.4 สามารถระบายอากาศและเติมอากาศได้ตามเวลาที่กำหนด

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้อดี ข้อเสียของการควบคุมด้วย PLC

ข้อดีของการควบคุมด้วย PLC มีความยืดหยุ่นสูง ใช้ในการควบคุมระบบต่าง ๆ ได้รวดเร็วและง่ายมีความสามารถด้านคำนวณจึงใช้กับงานที่ซับซ้อนได้ อุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือสูงและมีอายุการใช้งานยาวนานเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานได้ง่าย ต้นทุนต่ำสำหรับระบบที่ซับซ้อน แต่ต้องใช้เวลามากเกินในการต่อสายไฟยากในการทดแทนด้วยระบบใหม่ เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น อาจใช้เวลาในการแก้ไขปัญหาานาน และต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ



รูปที่ 1 PLC ที่นำมาใช้ควบคุมระบบของ Mitsubishi รุ่น Fx3u-32M

### 2.2 หลักการทำงานของตัวควบคุมอุณหภูมิ

มีหลักการทำงานเบื้องต้น คือ การวัดค่าสัญญาณอินพุตเข้ามา จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ แล้วประมวลผลในส่วนของ Processing เมื่อได้ค่าแล้ว ก็ส่งไปยังส่วนของเอาต์พุต เพื่อที่จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมที่มีขนาดใหญ่ต่อไป

การวัดอุณหภูมิ (Temperature measurement)

อุณหภูมิเป็นค่าการวัดพื้นฐานหรือพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ต้องทำการวัดค่า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในระบบการควบคุมให้เป็นไปตามความต้องการ คำว่า อุณหภูมิ (Temperature) และความร้อน (Heat) มีความหมายใกล้เคียงกันมาก แต่อุณหภูมิจะหมายถึงระดับของความร้อน (Degree of Heat) คือ อุณหภูมิเป็นตัวแทนของความร้อน ส่วนความร้อนหมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อน (Quantity of Heat Energy) หน่วยวัดอุณหภูมิ (Temperature Scale unit) หน่วยวัดอุณหภูมิมียุคหลายแบบที่นิยมใช้กัน คือ หน่วยเซลเซียส (Celsius) นิยมใช้กันทั่วไปมาก , หน่วยฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) , และหน่วยเคลวิน (Kelvin) ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานสากลสัญลักษณ์ที่ใช้ °C , °F , K (ไม่ต้องมี °) ความชื้น ในสภาวะอากาศที่อยู่รอบตัวเรา เราสัมผัสกับอากาศที่มีปริมาณไอน้ำอยู่ในอากาศ ในบริเวณที่อากาศมีความชื้นมาก นั้นหมายความว่าอากาศมีปริมาณไอน้ำปะปนอยู่มาก เช่นเดียวกันว่า ถ้าในบริเวณที่มีความชื้นน้อย หมายความว่าอากาศบริเวณนั้นมีไอน้ำปะปนอยู่น้อย ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

## 3. วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 ศึกษาข้อมูล

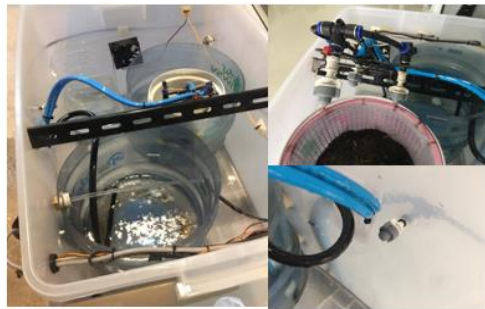
หัวข้อนี้จะเป็นขั้นตอน และ วิธีดำเนินงานในการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติควบคู่กับการคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งได้นำข้อมูลจากการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ประกอบการดำเนินงาน ตลอดจนถึงวิธีการทำงานของเครื่องและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เข้าใจเสียก่อน เพื่อที่จะทำการสร้างระบบให้ออกมามีประสิทธิภาพสูงสุด

### 3.2 ออกแบบระบบ

ในการออกแบบผู้จัดทำได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระบบควบคุมการลดอุณหภูมิ ระบบระบายอากาศและเติมอากาศ

#### 3.2.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิ

ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบขึ้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ดังนี้ หลอดไฟ บั๊มน้ำ สปริงเกอร์ เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ ไทม์เมอร์ ตัวควบคุม ซึ่งมีหลักการทำงานคือเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิพบว่า ภายในพื้นที่ปลูกมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช ระบบจะสั่งการให้มีการฉีดพ่นน้ำอย่างอัตโนมัติ เพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงแล้วหยุดการทำงานอัตโนมัติ และหากตรวจพบว่าภายในพื้นที่ปลูกมีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ระบบจะสั่งให้หลอดไฟทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิตามค่าที่เหมาะสมแล้วจึงหยุดการทำงานอัตโนมัติ ถกว่าค่าที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช ระบบจะสั่งการให้หลอดไฟติดอย่างอัตโนมัติ ทำให้เกิดความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนดแล้ว หยุดการทำงานอัตโนมัติ



รูปที่ 2 การติดตั้งระบบรดน้ำอัตโนมัติ พร้อมระบบสเปรย์ละอองน้ำเพื่อลดอุณหภูมิในพื้นที่ปลูก

#### 3.2.3 ระบบระบายอากาศและเติมอากาศ

ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบขึ้น เพื่อควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ปลูก ดังนี้ พัดลมดูดอากาศ เซนเซอร์ตรวจจับค่าอากาศ ไทม์เมอร์ ตัวควบคุม ซึ่งมีหลักการทำงานคือเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับพบว่า ภายในพื้นที่ปลูกมีออกซิเจนต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช ระบบจะสั่งการให้พัดลมดูดอากาศทำงานอย่างอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้สูงขึ้น เมื่อออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนดแล้ว ระบบหยุดการทำงานอัตโนมัติ



รูปที่ 3 ติดตั้งพัดลมสำหรับดูดอากาศ และระบายอากาศ

### 3.3 จัดทำระบบและสร้างชุดคำสั่ง PLC

3.3.1 ส่วนของการรดน้ำ-ใส่ปุ๋ย อัตโนมัติได้เลือกใช้ไทม์เมอร์ แบบตั้งเวลาได้มาควบคุมการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่า เครื่องจะรดน้ำใส่ปุ๋ยในเวลาใดบ้าง



รูปที่ 4 Timer สำหรับตั้งเวลาใส่ปุ๋ย และรดน้ำ

3.3.2 ส่วนของการเติมอากาศ ระบายอากาศอัตโนมัติได้ติดตั้งพัดลม 2 ตัว สำหรับทำหน้าที่ดูดอากาศ 1 ตัว และระบายอากาศออกอีก 1 ตัว ในการเริ่มทำงานจะทำงานอัตโนมัติหลังจากรดน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.3.3 ส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติได้ติดตั้งหลอดไฟ และสปริงเกอร์รอบถังอีก 1 ชุด สำหรับฉีดพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิโดยรอบถัง



รูปที่ 5 ชั้นงานและขนาดของชั้นงาน

### 3.4 อุปกรณ์

3.4.1. PLC ที่มี HMI ี่ใช้ของ Mitsubishi รุ่น Fx3u-32M

3.4.2. Relay ยี่ห้อ OMRON รุ่น G6B-1114P -FD-US-P6B 24 VDC 4 ตัว

3.4.3. OMRON Capacitive Proximity Sensor Switch รุ่น E2K-C25ME1-8 2 ตัว

3.4.4. Timer แบบตั้งเวลา 2 ชุด

3.4.5. FUJI Auto Breaker รุ่น SA32C

3.4.6. MEAN WELL Switching Power Supply รุ่น T-100D 50/60Hz.

3.4.7. Solenoid ยี่ห้อ SAZN Model 2W-160-10 24VDC 4 ชุด

3.4.8. Pump Model FL 4200 12 VDC 2 ชุด

3.4.9. หลอดไฟกันน้ำ 12 V.

3.4.10. สปริงเกอร์พร้อมสาย 6 ชุด

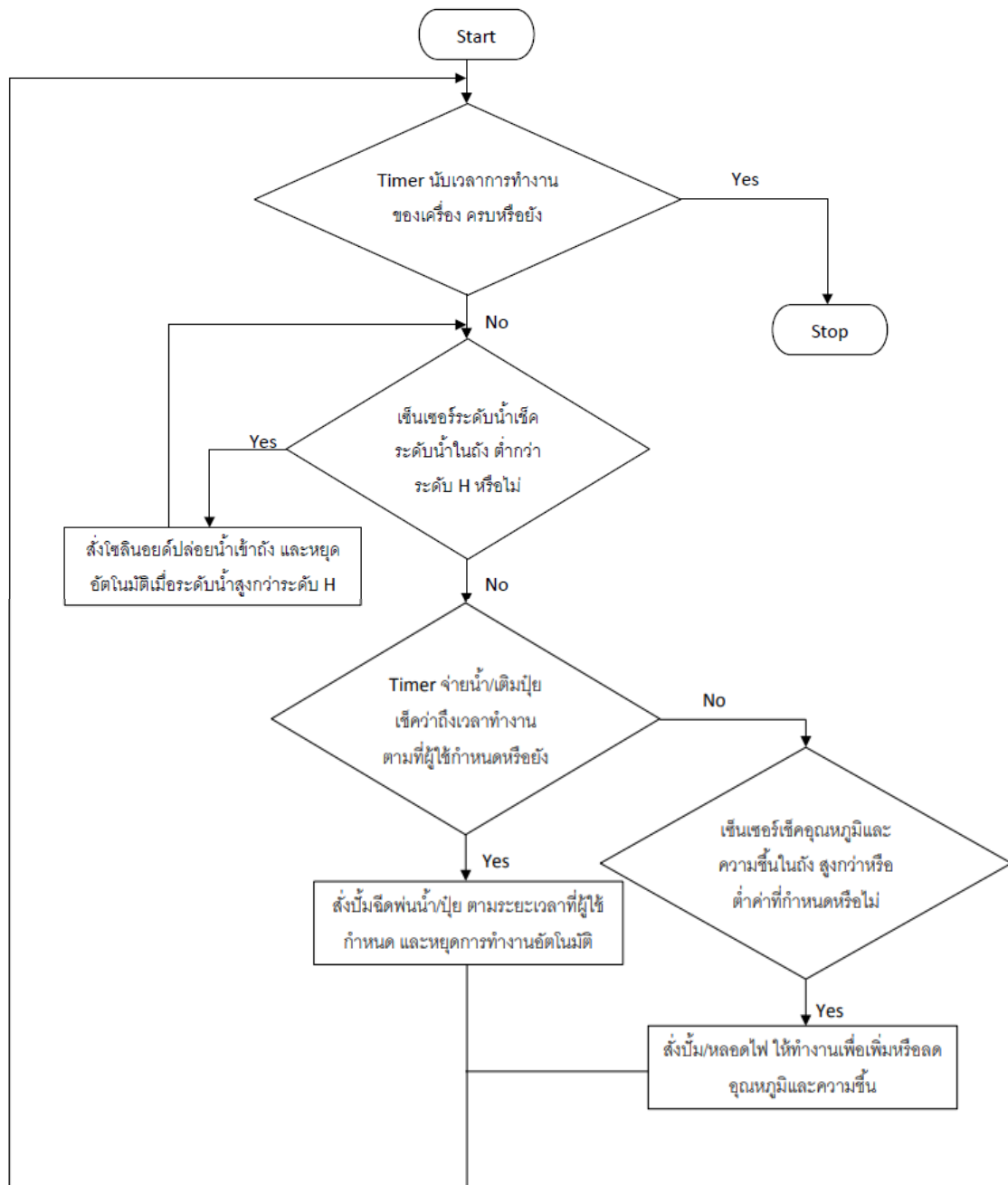


3.4.11.พัคดลม 2 ชุด

3.4.13 digital humidity sensor

3.4.12. Temperature Sensor

3.4.14 Omron Timer H5CX



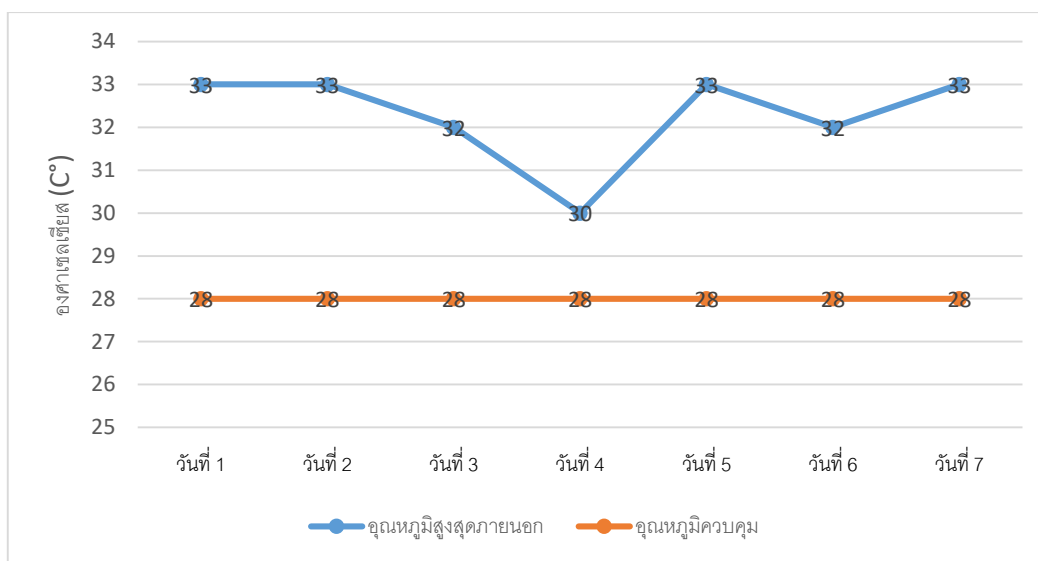
รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของระบบรดน้ำ

#### 4. ผลการทดลอง

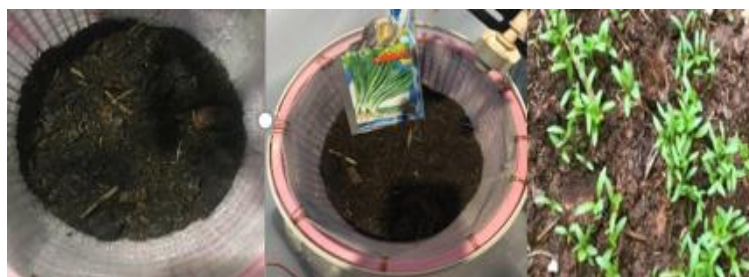
ตารางที่ 1 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งหมด

การทดสอบ	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน
1.ระบบรดน้ำ ใส่ปุ๋ยทำงานตามระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนด	√		√		√	
2.ระบบระบายอากาศทำงานโดยอัตโนมัติหลังจากรดน้ำ	√		√		√	
3.ระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำงานในช่วงที่ผู้ใช้งานกำหนด (ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส)	√		√		√	
4. Timer ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่อง ทำงานตามระยะเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนด	√		√		√	

กราฟแสดงการทำงานระหว่างการทดลองเพาะเมล็ดผักชี โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นมากกว่า 90%



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในเครื่องควบคุม



## รูปที่ 8 การเพาะเมล็ดผักชีในตะกร้าเพาะเมล็ด

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 7 ผู้วิจัยทำการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด โดยการทดลองเพาะเมล็ดผักชีใบเลื่อยซึ่งทำการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องไว้ที่ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นมากกว่า 90% ตั้งเวลาการรดน้ำวันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที รดปุ๋ยในวันที่ 1 และ 3 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน เปรียบเทียบกับการปลูกแบบปกติใช้คนคอยรดน้ำใส่ปุ๋ย ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งผลปรากฏว่า ผลผลิตที่ได้จากการปลูกโดยมีการควบคุม ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพกว่า ทั้งในเรื่องของการงอก และการเจริญเติบโต (รูปที่ 8) เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

### สรุป

ระบบควบคุมการรดน้ำใส่ปุ๋ยอัตโนมัติ ควบคู่กับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ PLC ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น มีคุณสมบัติเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นได้มากกว่า 90% ระบบระบายอากาศและเติมอากาศสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด และสามารถใส่โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (PLC) ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การทำงานของระบบทั้งหมดยังสามารถช่วยลดแรงงานคนในภาคส่วนของกระบวนการผลิต และทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพออกสู่ตลาดหรือผู้บริโภคต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมชาติ เสาวรัจ. (2560). การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบฟันทมออก. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ธนากร น้ำหอมจันทร์,อดิกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. วารสารวิชาการ EAU HERITAGE. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- บุญยัง สิงห์เจริญ,สันติ สากแก้ว. (2558). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1. หน้า 176-183
- เดชฤทธิ์ มณีธรรม. คัมภีร์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PLC. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2559
- ชุดควบคุมอุณหภูมิ. (2552). เข้าถึงได้จาก <https://www.factomart.com/th/what-is-a-temperaturecontroller.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2563

การประเมินการสะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพในป่าปลูกโกงกาง โดยใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น  
จากหุ่นยนต์อากาศยานขนาดเล็ก บริเวณตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม  
EVALUATION OF BIOFUEL STOCK IN MANGROVE PLANTATION USING  
MULTISPECTRAL DATA FROM SMALL UNMANNED AERIAL SYSTEM OF YISAN SUB  
DISTRICT, AMPHAWA DISTRICT, SAMUT SONGKHRAM PROVINCE.

พรณิกา เอียงปาน<sup>1</sup>, กฤษณีย์ เจริญจิต<sup>2</sup>, ปัทมา พอดี<sup>3</sup> และ กาญจนา หริมเพ็ง<sup>4</sup>

Phannika Aeangpan<sup>1</sup>, Kitsanai Charoenjit<sup>2</sup>, Pattama Phodee<sup>3</sup> and Karnjana Hrimpeng<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพในป่าปลูกโกงกาง โดยใช้หุ่นยนต์อากาศยานขนาดเล็ก ในพื้นที่ตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม และประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของป่าโกงกาง จากภาพถ่ายระยะเฉียดสูงที่ได้จาก sUAS โดยนำภาพมาจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการ *Maximum Likelihood Classifier* และแบ่งอายุของสวนป่าโกงกางเป็น 1-5 ปี 6-10 ปี และ 11-15 ปีขึ้นไป พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูลภาคสนามจากแปลงสำรวจในการคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพ โดยใช้สมการแอลโลเมตรี จากนั้นแปลงปริมาณมวลชีวภาพเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอน วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของป่าโกงกางจากแปลงสำรวจ และทำการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนกับราคาการซื้อขายคาร์บอน และมูลค่าของถ่านไม้โกงกางเพื่อประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของป่าโกงกาง ตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม มีมากที่สุดในช่วงอายุที่ 11-15 ปีขึ้นไป รองลงมาเป็นป่าโกงกางที่ช่วงอายุ 6-10 ปี และ 1-5 ปี ที่ปริมาณมวลชีวภาพ 31.64, 29.20 และ 16.64 ตันต่อไร่ ตามลำดับ และสามารถประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าโกงกางในพื้นที่ศึกษาได้ประมาณ 8,314.57 ตันคาร์บอน โดยมีมูลค่าซื้อขายคาร์บอนทั้งหมดของป่าโกงกางเท่ากับ 4,460,696.38 บาทต่อพื้นที่ทั้งหมด และมีมูลค่าของถ่านไม้โกงกางเท่ากับ 720,000 บาทต่อไร่ หรือ 201.03 ล้านบาทต่อพื้นที่ทั้งหมด

**คำสำคัญ :** มวลชีวภาพ, การกักเก็บคาร์บอน, การประเมินมูลค่าของป่าโกงกาง

### Abstract

The objectives of this work is for researched and observation for biomass using Small Unmanned Aerial system in Mangrove forest in area Banyeesarn sup-district Am-pawa district, Samut Songkram province, Thailand and also to evaluated for economy by sUAS. Land use is classified by Maximum Likelihood Classifier method and mangrove forest aging is classified for 3 ranges; 1) 1-5 years 2) 6-10 years and 3) 11-15 years up.

The systematic survey data is analysed by using allometry equation to applied biomass's quantity to be carbon Volumatic and analyze vegetation index with diameter from the map to calculate

charcoal's value for economic value.

In the conclusion most of biomass's quantity in this study area is during 11-15 years up then 6-10 years and last one is 1-5 years. The result is calculated at quantity 31.64, 29.20 and 16.64 ton per Rai (1 Rai = 1,600 square meters) respectively.

The total of carbon contain in the study area is 8,314.57 ton-carbon and total value is 4,460,696.38 bath The Charcoal's value is 720,000 bath per Rai or 201.03 million bath for all study area.

**Keyword:** Biomass, Carbon sequestration, Valuation of Rhizophora.

1

## บทนำ

ป่าชายเลน ในปัจจุบัน มีความสำคัญ และมีบทบาทมากต่อชีวิตประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งประโยชน์ทางตรงในด้านป่าไม้ เช่นทำไม้ค้ำยัน ไม้เสาเข็ม ส่วนประกอบต่าง ๆ ของบ้านเรือน ทำเฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือประมง และการนำเนื้อไม้มาทำเชื้อเพลิง เผาถ่านหรือแม้แต่เป็นประโยชน์ทางอ้อม ซึ่งเป็นแหล่งขยายพันธุ์ และเป็นแหล่งอนุบาลในด้านป่าไม้ ผลผลิตที่ได้จากป่าชายเลน ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำไม้โกงกางมาทำถ่าน ส.สะแกกรัง (2554) นอกจากนี้ถ่านยังเป็นสินค้าส่งออก โดยมูลค่าการส่งออกของถ่านเมื่อปี 2541 มากถึง 2,337.32 ตัน คิดเป็นมูลค่า 30.03 ล้านบาท และถ่านไม้ที่ได้จากป่าโกงกางถือเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดในการส่งออกของถ่านไม้ทั้งหมด โดยปี 2545 ประเทศที่มีความต้องการถ่านมากเป็นอันดับ 1 คือประเทศญี่ปุ่น รองลงมาคือ ไต้หวัน และฮ่องกง โดยมีมูลค่า 14.09, 2.66, และ 1.53 ล้านบาท ตามลำดับ คิดเป็นส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 68.87, 13.00 และ 7.48 ตามลำดับ (สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป กรมการค้าต่างประเทศ, 2546)

ในปัจจุบันการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เข้ามามีบทบาทในการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนอย่างแพร่หลาย อันเนื่องมาจากการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนเข้าถึงได้ยากลำบาก จึงต้องอาศัยเทคนิคทางด้านการสำรวจระยะไกลมาช่วยในการสำรวจ ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าชายเลน โดยข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ และตรวจสอบเป็นอย่างดีแล้ว สามารถนำมาแทนที่การสำรวจภาคสนามในพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งมีความยากลำบาก สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณมาก (อัปสรสุดา ศิริพงษ์ และคณะ, 2544) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนา การประเมินเชื้อเพลิงชีวภาพของป่าโกงกาง โดยการนำภาพถ่ายรายละเอียดสูง (Very High Resolution) ที่ได้จาก *Small Unmanned Arial System (sUAS)* มาร่วมวิเคราะห์กับข้อมูลภาคสนามแบบดั้งเดิม (Traditional Method)

<sup>1</sup>ภาควิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20130 ประเทศไทย

Department of Geoinformatics, Faculty of Geoinformatics, Burapha University, Choburi 20130, Thailand.

<sup>2</sup>ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยปารีสและมาารีคูรี ประเทศฝรั่งเศส

Department of Geosciences, Faculty of Ressources Naturelles et Environnement, Pierre et Marie Curie Universite, Paris.

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

<sup>4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพลังงาน สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี 12120

Environmental Engineering and Management, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, 12120, Thailand.

## วัตถุประสงค์

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพของป่าโกงกาง และประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของป่าโกงกาง ในพื้นที่ตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม

## อุปกรณ์และวิธีการ

**พื้นที่ศึกษา** พื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่หมู่ที่ 1 ของตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม โดยได้คัดเลือกแปลงตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินการสะสมของพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพของป่าโกงกาง มีพื้นที่ประมาณ 1.6 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 1,000 ไร่ ดังภาพที่ 1

**การเก็บรวบรวมข้อมูล** การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีทั้งข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บจากการออกภาคสนามและข้อมูลทุติยภูมิ ที่ขออนุเคราะห์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามจากแปลงตัวอย่างได้แก่ ข้อมูลความสูงของต้นโกงกาง และข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นโกงกางในแต่ละแปลงตัวอย่างเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณมวลชีวภาพป่าโกงกางในแต่ละช่วงอายุ และข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ เกษตรกรผู้ที่เป็นเจ้าของสวนป่าโกงกางและผู้ที่มีอาชีพทำสวนป่าโกงกางเป็นหลัก และข้อมูลภาพถ่ายระยะเฉียดสูงที่ได้จาก sUAS คือข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น *true color (RGB)* และภาพช่วงคลื่น *Near Infrared (NIR)*

2. ข้อมูลทุติยภูมิ จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์โครงการในพื้นที่ศึกษาผ่านสื่อต่าง ๆ บทความ รวมไปถึงข้อมูลมีความเกี่ยวข้องกับกรวิจัยการมีส่วนร่วมในการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของป่าโกงกาง (วารสารศาสตร์ ดิจิทัล วิทยาลัยนิเทศศาสตร์. 2559)

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการบินถ่ายภาพเพื่อจัดทำแผนที่รายละเอียดสูงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น *true color (RGB)* และช่วงคลื่น *Near infrared* จากนั้นดำเนินการต่อภาพ (*Orthomosaic*) ด้วยโปรแกรม Pix4D

2. นำข้อมูลภาพที่ได้ ทำการจำแนกช่วงอายุของป่าโกงกาง ด้วยวิธีการทำ *Maximum Likelihood Classification: MLC* ด้วยโปรแกรม ArcMap เป็นการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล และวิเคราะห์ความถูกต้อง (*Accuracy Assessment*) ด้วยวิธีการคำนวณ *Kappa Statistics (KHAT)*

3. กำหนดแปลงสำรวจในแต่ละช่วงอายุของป่าโกงกาง โดยแบ่งช่วงอายุเป็น 1-5 ปี 6-10 ปี และ 11-15 ปี ขึ้นไป โดยแปลงสำรวจจะมีขนาด 20\*50 เมตร ช่วงอายุละ 3 แปลง รวมทั้งหมด 9 แปลง

4. หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (*Correlation coefficient*) โดยใช้ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (*R*) ระหว่างข้อมูล DBH (เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 0.3 เมตรเหนือคอราก) ที่ได้จากการสำรวจแปลงตัวอย่าง กับข้อมูลค่า NDVI (ค่าดัชนีพืชพรรณ) ที่ได้จาก sUAS ซึ่ง NDVI คือค่าผลต่างของดัชนีพืชพรรณ เป็นการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (*NIR*) กับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (*R*) มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ดังสมการที่ 1

$$\text{Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (1)$$

โดยที่ NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้, RED = ช่วงคลื่นสีแดง

5. ทำการประเมินปริมาณมวลชีวภาพของป่าโกงกางจากข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกและความสูงของต้นโกงกางโดยใช้สมการแอลโลเมตรี (พชร อุปมัย, 2559)

$$Y = 2.8168x^{0.1527} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้ Y = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด, x = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 0.3 เมตรเหนือคอรากกำลังสอง คุณด้วยความสูง

6. คำนวณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก โดยต้นโกงกางใบเล็กมีค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ 47.28 (วิจารณ์ มีผล, 2553)

7. การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของป่าโกงกาง คำนวณเฉพาะรายได้ที่เกิดจากการกักเก็บคาร์บอนของป่าโกงกาง และมูลค่าของถ่านไม้โกงกางเท่านั้น โดยมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนใช้ราคาซื้อขายคาร์บอนเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเดือนเมษายน 2563 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)) มีมูลค่าเท่ากับ 500.14 บาทต่อตันคาร์บอน และประเมินมูลค่าของถ่านไม้โกงกาง โดยจะใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่ศึกษาทำการคำนวณหามูลค่าของถ่านไม้โกงกาง (วีเรื่องรอง รัตนวิไลสกุล 2553)

## ผลและวิจารณ์

**การจำแนกช่วงอายุของป่าโกงกาง** การจำแนกช่วงอายุของป่าโกงกางด้วยวิธีการทำ *Maximum Likelihood Classification: MLC* โดยใช้ความน่าจะเป็นสูงสุด ควบคู่กับการเก็บค่าพิกัดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่ออกมาได้เป็น 6 ประเภท คือ ป่าโกงกางช่วงอายุ 1-5 ปี, 6-10 ปี, 11-15 ปีขึ้นไป, พื้นที่น้ำ, พื้นที่โล่ง และสิ่งปลูกสร้าง โดยมีพื้นที่เท่ากับ 176.24, 199.19, 279.21, 159.08, 196.87 และ 34.59 ไร่ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 2 โดยมีค่าระดับความสอดคล้องของสถิติแคปปา (Kappa) ที่ระดับความสอดคล้องดี (substantial) เท่ากับ 0.859

**การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Correlation coefficient)** ผลจากการทดสอบค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลรายแปลง ทั้ง 9 แปลง โดยแบ่งเป็นแปลงที่ช่วงอายุ 1-5 ปี, 6-10 ปี และ 11-15 ปีขึ้นไป อย่างละ 3 แปลง โดยนำค่า DBH (เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 0.3 เมตรเหนือคอราก) มาทดสอบความสัมพันธ์กับค่า NDVI (ค่าดัชนีพืชพรรณ) ผลที่ได้คือ ค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างปัจจัยทั้งสอง มีค่าสหสัมพันธ์ทางบวก 0.71546 มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 มีระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นค่าที่มีระดับนัยสำคัญ และยอมรับได้ อธิบายได้ว่าค่าการสะท้อนของดัชนีพืชพรรณเพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นโกงกาง

ทั้งนี้ค่าการสะท้อนของ NDVI ในช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่นพืชในแปลงตัวอย่างของช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป อาจจะมีความเสื่อมโทรมจึงทำให้มีค่าการสะท้อนของพืชลดลง และอีกประการหนึ่งคือเรือนยอดของช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป มีความหนาแน่นน้อยกว่าช่วงอายุ 6-10 ปี จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่ศึกษาบอกว่า การเจริญเติบโตของต้นโกงกางเมื่อถึงช่วงอายุที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ก็จะมีบางต้นที่ตายเนื่องมาจากถูกต้นไม้ที่ใหญ่กว่าบดบังแสงอาทิตย์ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้ช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป มีช่องว่างของเรือนยอดมากกว่าช่วงอายุ 6-10 ปี จึงทำให้ค่าการสะท้อนของพืชน้อยกว่าช่วงอายุ 6-10 ปีด้วย ซึ่งช่วงอายุที่ 6-10 ปีจะมีเรือนยอดที่ชิดติดกันจึงมีค่าการสะท้อนของพืชมากกว่าตามไปด้วย

**การประเมินมวลชีวภาพของป่าโกงกาง** การวิเคราะห์ค่าปริมาณมวลชีวภาพของ ป่าโกงกางในพื้นที่ ตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม โดยวิธีวางแปลงตัวอย่าง จำนวน 9 แปลง โดยเก็บข้อมูลป่าโกงกาง ช่วงอายุ 1-5 ปี, 6-10 ปี และ 11-15 ปีขึ้นไปอย่างละ 3 แปลง จากการคำนวณปริมาณมวลชีวภาพพบว่าปริมาณ มวลชีวภาพของป่าโกงกางมีมากที่สุดคือช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป รองลงมาเป็นช่วงอายุ 6-10 ปี และช่วงอายุ 1-5 ปี มี มวลชีวภาพเท่ากับ 31,640, 29,200 และ 16,640 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 โดยป่าโกงกางช่วงอายุ 11- 15 ปีขึ้นไป มีปริมาณมวลชีวภาพมาก เนื่องจากไม้ที่มีอายุมากส่งผลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง มากกว่าป่าโกงกางที่มีอายุน้อย

**การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าโกงกาง** ผลการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ของป่าโกงกางในพื้นที่ศึกษา โดยคำนวณจากมวลชีวภาพคูณกับเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ได้ทั้งหมดของต้นโกงกาง พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าโกงกางช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไปเท่ากับ 14,960 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ รองลงมา เป็นช่วงอายุ 6-10 ปี และช่วงอายุ 1-5 ปี ซึ่งมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 13,800 และ 7,880 กิโลกรัมคาร์บอนต่อ ไร่ ดังตารางที่ 3

**การประเมินมูลค่าของป่าโกงกางในการดูดซับคาร์บอน** คำนวณได้จากปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (carbon stock) ของป่าโกงกางในพื้นที่ศึกษา คูณด้วยราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิต (ตลาดคาร์บอน องค์การบริหาร จัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ในช่วงเดือนเมษายน 2563 มีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 15.56 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน คาร์บอน หรือ 500.41 บาทต่อตัน ผลการศึกษาพบว่า มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป เท่ากับ 7,486.13 บาทต่อไร่ รองลงมาเป็นช่วงอายุ 6-10 ปี และ 1-5 ปี มีมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 6,905.66 และ 3,943.23 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

**การประเมินมูลค่าของป่าโกงกางในการนำไม้มาทำถ่าน** โดยจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่ พบว่าต้นโกงกาง 1 ต้น สามารถตัดเป็นท่อน (ไม้หลา) ได้ประมาณ 6 ท่อน ซึ่ง 1 ท่อนจะมีความยาว 1.30 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ มีไม้โกงกางเฉลี่ย 4,000 ต้น คิดเป็นไม้ท่อน ได้ประมาณ 24,000 ท่อน 1 ท่อนมีน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 4 กิโลกรัม และเตาเผาถ่าน 1 เตา สามารถจุไม้ได้ ประมาณ 20 ตัน โดยเมื่อทำการเผาไม้แล้วจะเหลือเป็นถ่านอยู่ที่ 6 ตัน หรือ ร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักสด และจะมีราคาขายอยู่ที่กิโลกรัมละ 25-30 บาท ดังนั้นนำน้ำหนักถ่านที่ได้คูณด้วยราคาขาย จะได้มูลค่าของถ่านเท่ากับ 720,000 บาทต่อไร่

## สรุป

สรุปผลการศึกษา การประเมินการสะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพในป่าปลูกโกงกาง โดยใช้ภาพถ่ายหลายช่วง คลื่น จากหุ้ยนยนต์อากาศยานขนาดเล็ก บริเวณตำบลยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า มวลชีวภาพ เนื้อพื้นดินทั้งหมดของต้นโกงกางในช่วงอายุ 1-5 ปี เท่ากับ 16.64 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 7.88 ตันต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 3,943.23 บาทต่อไร่

มวลชีวภาพเนื้อพื้นดินทั้งหมดของต้นโกงกางในช่วงอายุ 6-10 ปี เท่ากับ 29.20 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกัก เก็บคาร์บอนเท่ากับ 13.80 ตันต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 6,905.66 บาทต่อไร่

มวลชีวภาพเนื้อพื้นดินทั้งหมดของต้นโกงกางในช่วงอายุ 11-15 ปีขึ้นไป เท่ากับ 31.64 ตันต่อไร่ มีปริมาณ การกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 14.96 ตันต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 7,486.13 บาทต่อไร่ และมีมูลค่า ของถ่านเท่ากับ 720,000 บาทต่อไร่



โดยต้นโกงกางทั้ง 3 ช่วงอายุ มีพื้นที่ทั้งหมด 654.64 ไร่ มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดของป่าโกงกาง เท่ากับ 17,583.17 ตันต่อพื้นที่ทั้งหมด มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 8,314.57 ตันต่อพื้นที่ทั้งหมด มีมูลค่าซื้อขายคาร์บอนทั้งหมดของป่าโกงกางเท่ากับ 4,160,696.38 บาทต่อพื้นที่ทั้งหมด และมีมูลค่าของถ่านเท่ากับ 720,000 บาท/ไร่ หรือ 201,031,200 บาทต่อพื้นที่ทั้งหมด

การประเมินมูลค่าถ่านที่ได้จากป่าโกงกางในพื้นที่ศึกษา มูลค่าที่ประเมินได้นั้นเท่ากับ 201.03 ล้านบาท ซึ่งเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างมาก แต่ความเป็นจริงแล้ว กระบวนการทำงานทุกอย่างล้วนมีต้นทุน เช่น การรับซื้อฝักโกงกาง เพื่อมาปลูก การจ้างคนปลูกต้นโกงกาง การจ้างคนตัดไม้ การจ้างคนขนไม้ การจ้างคนทูลเปลือกไม้ การจ้างคนเรียงไม้เข้าเตาเผา และการจ้างคนเผาถ่านที่มีความชำนาญ เป็นต้น และต้นโกงกางที่สามารถนำมาทำถ่านได้จะต้องมีอายุเฉลี่ย 12- 15 ปี ซึ่งหมายความว่า รายได้ 201.03 ล้านบาท คิดเป็นรายได้เฉลี่ย 12-15 ปี ซึ่งยังไม่ได้หักต้นทุน และในพื้นที่ศึกษา มีการตัดไม้โกงกาง และปลูกต้นโกงกางกันทุกวัน ทำให้ในพื้นที่มีกิจกรรมทุก ๆ วัน และเป็นการสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชนอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- เพชร อุปมัย, สุภาภรณ์ รัตนเลิศสุรณี. (2559). สมการแอลโลเมตรีสำหรับการตรวจติดตามมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นโกงกางใบใหญ่ที่ปลูกร่วมกับหัวเชื้อราอัดเม็ด. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
- วีระพงษ์ รัตนวิไลสกุล. (2553). ศึกษาการอยู่ร่วมกันของคนกับป่าชายเลนและภูมิปัญญาการใช้ทรัพยากร เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจของคนในชุมชนยี่สาร จังหวัดสมุทรสงคราม. วารสารวิชาและวิจัย มทร. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วารสารศาสตร์ ดิจิทัล วิทยาลัยนิเทศศาสตร์. (2559). คนยี่สารกับถ่านไม้โกงกาง. เข้าถึงได้จาก <http://www.jr-rsu.net/tags/ไม้โกงกาง>
- ส.สะแกกรัง. (2554). บ้านยี่สาร สวนป่าโกงกางเอกชนแห่งแรกของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก <http://www.lookforest.com>
- สำนักมาตรฐานนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป กรมการค้าต่างประเทศ. (2546). มาตรการควบคุมการส่งออกถ่านไม้. <http://www.dft.go.th/thth/ShareDocument1/ArticleId/3772/300354>
- อัปสรสุดา ศิริพงศ์ และคณะ. (2544). การเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของฝั่งทะเลหลังการปลูกป่าชายเลน ที่ตำบลปยู อำเภอบึงฉลวย จังหวัดสุพรรณบุรี. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- องค์กรการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2563). ราคาคาร์บอนเครดิต. California Carbon Market และ Regional Greenhouse Gas Initiative.

ตารางที่ 1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน			
ลำดับ	ประเภท	พื้นที่(ม <sup>2</sup> )	พื้นที่ (ไร่)
1	ช่วงอายุที่ 1 (1-5 ปี)	399,995.59	249.99
2	ช่วงอายุที่ 2 (6-10 ปี)	388,785.61	242.99
3	ช่วงอายุที่ 3 (11-15 ปีขึ้นไป)	523,552.99	327.22
4	แหล่งน้ำ	325,022.81	203.14
5	พื้นที่ว่างโล่ง	366,930.38	229.33
6	สิ่งปลูกสร้าง	82,438.93	51.52
รวม		2,086,726.30	1,304.20

ตารางที่ 2 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นโกงกาง

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด			
ลำดับ	ช่วงอายุ	มวลชีวภาพ (กิโลกรัม/ต้น)	มวลชีวภาพ (กิโลกรัม/ไร่)
1	ช่วงอายุที่ 1 (1-5 ปี)	4.16	16,640
2	ช่วงอายุที่ 2 (6-10 ปี)	7.30	29,200
3	ช่วงอายุที่ 3 (11-15 ปีขึ้นไป)	7.91	31,640

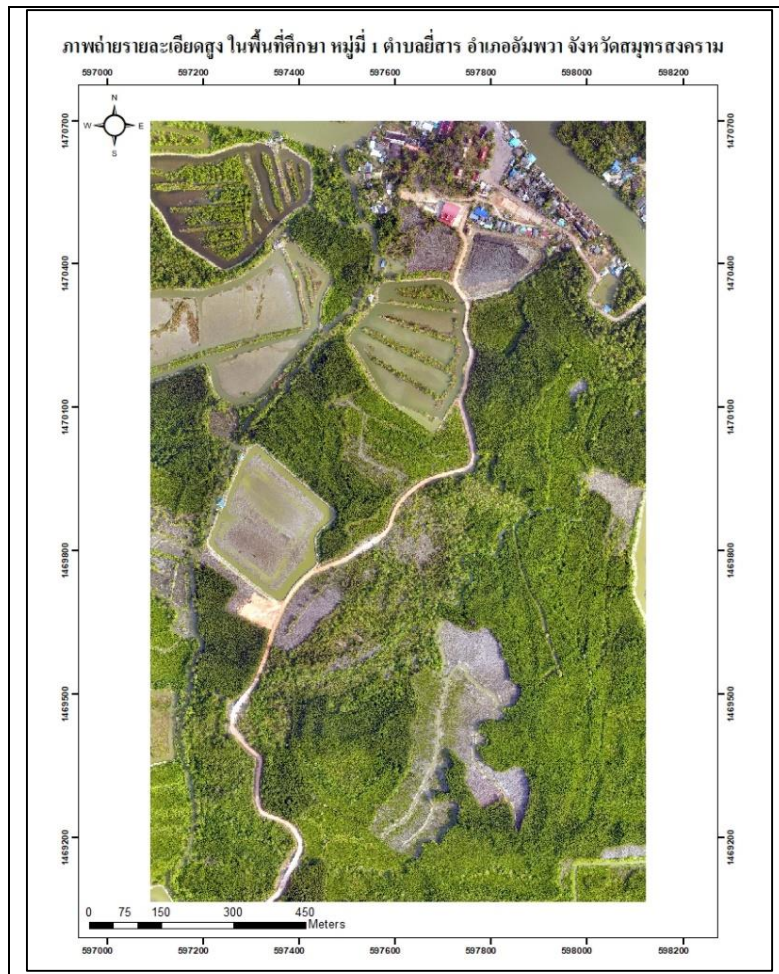
ตารางที่ 3 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าโกงกาง

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งต้นของป่าโกงกาง			
ลำดับ	ช่วงอายุ	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (kgC/ต้น)	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (kgC/ไร่)
1	ช่วงอายุที่ 1 (1-5 ปี)	1.97	7,880
2	ช่วงอายุที่ 2 (6-10 ปี)	3.45	13,800
3	ช่วงอายุที่ 3 (11-15 ปีขึ้นไป)	3.74	14,960

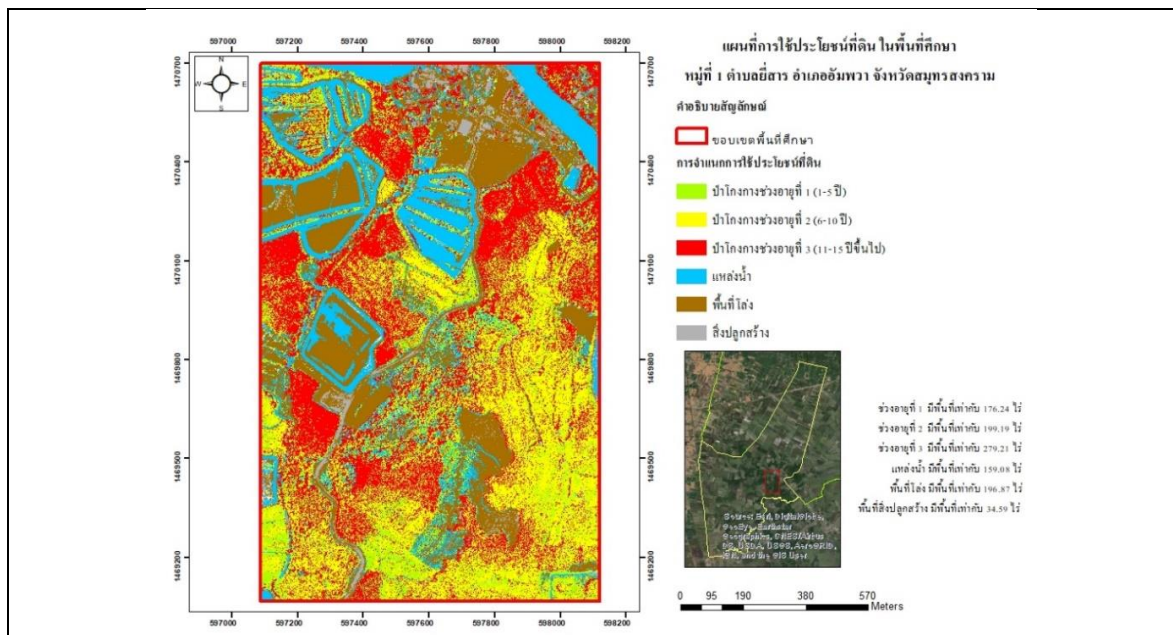
ตารางที่ 4 มูลค่าของป่าโกงกางในการดูดซับคาร์บอน

มูลค่าการกักเก็บคาร์บอน			
ลำดับ	ช่วงอายุ	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน/ไร่)	มูลค่าคาร์บอน (บาท/ไร่)
1	ช่วงอายุที่ 1 (1-5 ปี)	7.88	3,943.23
2	ช่วงอายุที่ 2 (6-10 ปี)	13.8	6,905.66
3	ช่วงอายุที่ 3 (11-15 ปีขึ้นไป)	14.96	7,486.13

ภาพที่ 1 แผนที่ภาพถ่ายระยะเียดสูงในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา



# การประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน: กรณีศึกษาการผลิตพริกแกง

## Self-assessment for Primary Good Manufacturing Practice (Primary GMP) to Improve Performance of Community Enterprise: A Case Study of Production Curry Paste

สุวรรณา จิตติสรสกุล<sup>1</sup>, กนกวรรณ กิ่งผดุง<sup>1</sup>  
Suwanna Jittisorasakul<sup>1</sup>, Kanokwan Kingphadung<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้น โดยใช้แบบประเมินตนเองที่สร้างขึ้นและการสัมภาษณ์เชิงลึก ผลการวิจัยพบว่าวิสาหกิจชุมชนผลิตพริกแกงได้คะแนนรวม 50.68 คะแนน ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน Primary GMP ที่ 60 คะแนน มีปัญหา 4 ด้าน คือ สถานที่ตั้งและอาคารผลิต เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต การสุขาภิบาลและด้านบุคลากรขาดสุขลักษณะที่ดีในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้วิสาหกิจชุมชนยังขาดประสิทธิภาพการดำเนินงานทางการเงิน เนื่องจากขาดความรู้ในการลงบัญชีตามหลักการบัญชีที่ถูกต้อง

**คำสำคัญ:** พริกแกง, วิสาหกิจชุมชน, มาตรฐานการผลิตขั้นต้น, การดำเนินงาน

### Abstract

The objective of this research was to study the performance of community enterprise using self-assessment questionnaire on primary good manufacturing practice (Primary GMP) and in-depth interview. The results of self-assessment for the curry paste production community enterprise showed that the average overall score was 50.68%, which is lower than 60% of the overall Primary GMP criteria. This means that the curry paste production community enterprise did not pass the Primary GMP standard. The problems resulted from 4 criteria categories: 1) location and production buildings; 2) tools, machinery and production equipment; 3) sanitation; and 4) personnel and employee hygiene. It was also found that the community enterprise has poor financial performance for measuring the effectiveness of the enterprise. This was due to lack of basic knowledge on how to record accounting properly.

**Keyword:** Curry Paste, Community Enterprise, Primary GMP, Performance

---

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

วิสาหกิจชุมชนทั่วประเทศไทยมีจำนวน 122,390 ราย เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารจำนวน 43,783 ผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 35 เป็นผลผลิตทางการเกษตรและอาหารแปรรูป (ประมุขและคณะ, 2562) ปัจจัยที่สำคัญสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและขนาดย่อม คือ ปัจจัยด้านต้นทุน เมื่อสามารถผลิตสินค้าที่มีต้นทุนต่ำจะสามารถต่อตรงและทำกำไรได้ดีกว่าคู่แข่ง และด้านการสร้างความแตกต่างของรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างจากคู่แข่งจะส่งผลให้ได้สัดส่วนตลาดมากยิ่งขึ้น (วราวุธและระบิล, 2563) และมีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพทางการตลาดคือ ลูกค้าจะเกิดความพึงพอใจต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพิ่มส่วนแบ่งตลาด สามารถเข้าถึงตลาดใหม่ได้ อีกทั้งส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไร (ดวงพรและศทาวุธ, 2562)

วิสาหกิจน่านมอลตีในจังหวัดน่านทำการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมีผลผลิตหลักคือข้าวสาลีและมอลตีข้าวสาลี ได้ทำการพัฒนาแนวทางในการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนเข้าสู่มาตรฐานการผลิตขั้นต้น ซึ่งทำการประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้น (Primary GMP) พบว่าได้คะแนนรวมในทุกหัวข้อได้ 49.83 จากคะแนนเต็ม 60 คะแนน คิดเป็น 83.06% โดยคะแนนในแต่ละหัวข้อไม่น้อยกว่า 60 คะแนนและไม่พบข้อบกพร่องที่รุนแรง ไม่มีอาหารปนเปื้อนและไม่มีอันตรายต่อการบริโภค แต่พบปัญหาการดำเนินงานของวิสาหกิจในด้านอื่นๆ เช่น ปัญหาด้านการผลิตคือราคาวัตถุดิบสูง ปริมาณวัตถุดิบมีความไม่แน่นอน ปัญหาด้านระบบการขนส่งที่ล่าช้าเนื่องจากสภาพภูมิประเทศส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูง ปัญหาด้านระบบการจัดการวัตถุดิบและของคงคลังมีไม่เพียงพอต่อการผลิตสินค้า ปัญหาด้านการตลาดมีช่องทางการจำหน่ายน้อยและปัญหาด้านการจัดการ ผู้บริหารยังขาดทักษะการบริหารและจัดการเงินบัญชีอย่างเป็นระบบที่ถูกต้อง (ณัฐพันธ์ กนกรัตน์ และธัญทิพย์, 2562)

การผลิตพริกแกงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยส่วนใหญ่ยังไม่ได้การรับรองมาตรฐานตามหลักเกณฑ์การผลิตที่ดี (GMP) เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจในการควบคุมกระบวนการผลิต การสุขาภิบาลสุขอนามัยส่วนบุคคล ซึ่งส่งผลต่อมาตรฐานของกระบวนการผลิตให้สะอาดและปลอดภัยให้เป็นที่ยอมรับและเชื่อมั่นจากผู้บริโภคและเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความสามารถในการแข่งขัน (อดิสรและนงลักษณ์, 2557) เช่นเดียวกับการผลิตน้ำพริกเครื่องแกงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยส่วนใหญ่ยังไม่ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานการผลิตขั้นต้น (Primary GMP) และยังมีปัญหาด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีอายุเก็บรักษาสั้น บรรจุภัณฑ์ขาดความสวยงามและขาดข้อมูลฉลากที่ชัดเจน (สุทธิกาญจน์และสุวรรณี, 2559) ดังนั้นถ้าวิสาหกิจชุมชนพริกแกงหรือวิสาหกิจชุมชนอื่นๆ สามารถประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นแล้วปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้นในทุกๆ ด้าน ผลิตสินค้าได้มาตรฐานจะประสบความสำเร็จในการทำธุรกิจและอยู่รอดอย่างยั่งยืนได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อค้นหาปัญหาและเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน
2. เพื่อออกแบบแบบประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นสำหรับวิสาหกิจชุมชน
3. เพื่อให้วิสาหกิจชุมชนใช้ประเมินสภาวะการณปัจจุบันของสถานที่ผลิตพริกแกงตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้น และระบุแนวทางที่ควรปรับปรุงให้บรรลุได้ตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นที่กำหนดไว้

## วิธีการวิจัย

1. เก็บและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตพริกแกงและประสิทธิภาพการดำเนินงาน เช่น ปริมาณการผลิต จำนวนพนักงาน ต้นทุนการผลิต งบการเงินที่แสดงผลการดำเนินงาน เช่น หนี้สิน สินทรัพย์ กำไร และรายจ่ายของวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา เป็นต้น จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการวิเคราะห์งบการเงิน

2. ออกแบบแบบสอบถามเพื่อนำไปการประเมินตนเอง (Self-Assessment questionnaire) หรือแบบประเมินตนเอง โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Micro-Soft Excel) ตามมาตรฐาน Primary GMP แล้วส่งไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและทดลองทำแบบสอบถามในการประเมินตนเอง จากนั้นนำแบบประเมินตนเองไปใช้จริงกับวิสาหกิจกรณีศึกษาพร้อมกับแสดงผลลัพธ์ของการประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นของวิสาหกิจกรณีศึกษา

3. สรุปผลการประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นและสรุปผลการดำเนินงานของวิสาหกิจกรณีศึกษา

## ผลการวิจัย

1. ผลสรุปข้อมูลเบื้องต้นของวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษาพบว่า วิสาหกิจชุมชนมีจำนวนสมาชิก 15 คน ทุนจดทะเบียน 100,000 บาท มีเวลาทำการ 8 ชั่วโมง มีพนักงานประจำจำนวน 5 คน มีพนักงานรายชั่วโมงจำนวน 10 คน มีประสิทธิภาพการดำเนินงานในด้านต่างๆ คือ ด้านการผลิต ปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อปี 8,000 กิโลกรัมต่อปี มี 3 ผลิตภัณฑ์หลักคือ เครื่องแกงเผ็ด แกงส้มและแกงกะทิ โดยเครื่องแกงเผ็ดมีปริมาณการผลิตต่อปี 2,100 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็น 26% เครื่องแกงกะทิมีปริมาณการผลิตต่อปี 1,850 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็น 23% และเครื่องแกงส้มมีปริมาณการผลิตต่อปี 1,600 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็น 20% และที่เหลืออีก 31% เป็นพริกแกงชนิดอื่นๆ วิสาหกิจชุมชนแห่งนี้มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อปีใน 3 ส่วน คือ ค่าแรงงาน 43% ค่าวัตถุดิบ 41% และค่าใช้จ่ายอื่นๆ 16%

ประสิทธิภาพด้านการเงิน จากการรวบรวมข้อมูลการเงินระหว่างปี 2559-2561 พบว่ายอดขายเฉลี่ยต่อปี 2,000,000 บาทในปี 2559 มีกำไรหลังหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน 200,000 บาทต่อปี ต่อมาได้ลงทุนเพิ่มในการปรับปรุงอาคารผลิตและซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตจึงมีกำไรหลังหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของปี 2560 เท่ากับ 85,000 บาทต่อปี และปี 2561 เท่ากับ 25,000 บาทต่อปี เนื่องจากกู้เงินมาลงทุนต้องชำระดอกเบี้ยเงินกู้ เมื่อวิเคราะห์สภาพคล่องของธุรกิจพบว่าหากธุรกิจมีอัตราส่วนทุนหมุนเวียนต่ำกว่า 1 ธุรกิจจะขาดสภาพคล่อง ซึ่งปี 2559 มีอัตราส่วนทุนหมุนเวียนเท่ากับ 1.482 เท่า ปี 2560 มีอัตราส่วนทุนหมุนเวียนเท่ากับ 0.573 เท่า และปี 2561 มีอัตราส่วนทุนหมุนเวียนเท่ากับ 0.417 เท่า ซึ่งปี 2559 ธุรกิจมีสภาพคล่องค่อนข้างดี ขณะที่ปี 2560 และ 2561 ธุรกิจขาดสภาพคล่อง และถ้าธุรกิจมีอัตราส่วนทุนหนี้สินรวมต่อสินทรัพย์รวมเหมาะสมคือควรมีหนี้สินประมาณ 40-60% ซึ่งปี 2559 มีอัตราส่วนทุนหนี้สินรวมต่อสินทรัพย์รวมเท่ากับ 99.66% ธุรกิจมีหนี้สินปานกลาง ปี 2560 มีอัตราส่วนทุนหนี้สินรวมต่อสินทรัพย์รวมเท่ากับ 107.73% และปี 2561 อัตราส่วนทุนหนี้สินรวมต่อสินทรัพย์รวมเท่ากับ 110.73% ขณะที่ปี 2560 และ 2561 ธุรกิจมีหนี้สินมาก

ประสิทธิภาพการตลาด จากการสำรวจตลาดพบว่า ราคาขายของเครื่องแกงวิสาหกิจชุมชนนี้มีราคาขายสูงกว่าคู่แข่งอย่างน้อย 14% ขึ้นไป ของทุกขนาดน้ำหนักของสินค้าคือ ขนาด 1 กิโลกรัม 500 กรัม 100 กรัม และ 45

กรัม เครื่องแกงเผ็ดมีต้นทุนการผลิตเครื่องแกงเผ็ด 115 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนการผลิตแกงกะทิ 86 บาทต่อกิโลกรัม และต้นทุนการผลิตแกงส้ม 122 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าต้นทุนเครื่องแกงส้มทั่วไปโดยมีต้นทุนเท่ากับ 101.04 บาทต่อกิโลกรัม (อดิศรและนางลักษณ, 2557) ส่วนใหญ่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ในตลาดท้องถิ่นประมาณ 90%

2. ผลของการออกแบบแบบประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้น (Primary GMP) โดยใช้ MS Excel ซึ่งครอบคลุมมาตรฐาน Primary GMP ทั้ง 6 หมวด ซึ่งเป็นเกณฑ์การให้คะแนนตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้น (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2556) ประกอบด้วยหมวดที่ 1 สถานที่ตั้งและอาคารผลิต มีคะแนนเต็ม 11 คะแนน หมวดที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต มีคะแนนเต็ม 6 คะแนน หมวดที่ 3 การควบคุมการผลิต มีคะแนนเต็ม 15 คะแนน หมวดที่ 4 การสุขาภิบาล มีคะแนนเต็ม 13 คะแนน หมวดที่ 5 การบำรุงรักษาและการทำความสะอาดมี คะแนนเต็ม 5 คะแนน หมวดที่ 6 บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน มีคะแนนเต็ม 10 คะแนน ซึ่งจะผ่านมาตรฐานได้ต้องมีคะแนนรายหมวดมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป มีคะแนนรวมทุกหมวดมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไปและไม่พบข้อบกพร่องที่รุนแรง (Major Defect) หมายถึงข้อบกพร่องที่เป็นความเสี่ยงซึ่งอาจทำให้อาหารเกิดการปนเปื้อนและความไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคซึ่งแบบประเมินตนเองนี้จะเป็นเครื่องมือช่วยให้อุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการแปรรูปให้ได้มาตรฐาน GMP ขั้นพื้นฐานสามารถนำ MS Excel นี้ประมวลผลคะแนนภาพรวมและรายหมวดได้พร้อมระบุปัญหาที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขให้ผ่านเพื่อขอรับเลข อ.ย. ต่อไป

เมื่อออกแบบเมนูเสร็จจึงนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญของบริษัท บีเอสไอ กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบและทดลองทำแบบประเมินฯ นี้ ซึ่งมีข้อเสนอแนะ เช่น เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์เนื่องจากสามารถประเมินสถานที่ผลิตได้ด้วยตัวเอง ไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างที่ปรึกษา สามารถชี้จุดอ่อนที่นำไปแก้ไขปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ คำบางคำเป็นคำศัพท์เฉพาะมากเกินไป ทำให้เข้าใจได้ยาก การใช้งานค่อนข้างยาก เหมาะกับผู้ที่คุ้นเคยกับการใช้งาน MS Excel และไม่สามารถพิมพ์ออกมาเป็นรูปแบบรายงานที่สวยงามได้ ผู้วิจัยจึงทำการเขียนคู่มือการใช้งานเพิ่มเติมประกอบการใช้งานเพื่อที่จะนำไปใช้กับวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา โดยมีผู้ได้ใช้ประเมินฯ นี้คือผู้บริหารวิสาหกิจ หัวหน้าฝ่ายผลิตและตัวแทนฝ่ายผลิต

ซึ่งตัวอย่างของแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินฯ จาก MS Excel ดังภาพที่ 1-2 จะมีระดับคะแนนประเมินผล 3 ระดับคือ ดี พอใช้และปรับปรุง ประกอบด้วย ระดับดีหมายถึงเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 342) พ.ศ. 2555 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหารแปรรูปที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่าย จะได้คะแนน 2 คะแนน ระดับพอใช้หมายถึงเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 342) พ.ศ. 2555 เรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหารแปรรูปที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่าย แต่ยังมีข้อบกพร่องที่ยอมรับได้เนื่องจากมีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนในอาหารหรือข้อบกพร่องนั้นไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรงกับอาหารที่ผลิต จะได้คะแนน 1 คะแนน และระดับปรับปรุงหมายถึงไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 342) พ.ศ. 2555 เรื่อง วิธีการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหารแปรรูปที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่าย จะได้คะแนน 0 คะแนน

เมื่อทำการกรอกข้อมูลครบถ้วนทุกข้อกำหนดใน 6 หมวดแล้ว MS Excel จะสรุปผลการประเมินของแต่ละหมวดและภาพรวมออกมาเป็นคะแนนรวม แสดงผลเป็นตารางและกราฟเรดาร์ ซึ่งผลการประเมินมาตรฐาน Primary

GMP ขั้นต้นของวิสาหกิจกรณีศึกษาพบว่า ได้คะแนน รวม 50.68 คะแนน ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านในบางหมวด ซึ่งแสดงผลลัพธ์ว่าไม่ผ่านตามมาตรฐาน GMP ขั้นต้น แม้จะไม่พบข้อบกพร่องที่รุนแรง ดังภาพที่ 3 โดยจะแสดงข้อบกพร่องที่ต้องทำการปรับปรุงซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ Primary GMP ดังภาพที่ 4 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการให้ดีขึ้นต่อไป

สรุปผลการวิเคราะห์ในการประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นสำหรับวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา หลังจากได้ทำการปรับปรุงในหมวดที่ 1 สถานที่ตั้งและอาคารผลิต โดยสถานประกอบการมีพื้นที่เฉพาะสำหรับการจัดการกับสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว เช่น เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ ใต้อ่าง วัสดุเศษ ส่วนผสม บรรจุภัณฑ์หรืออื่นใดแยกออกจากพื้นที่ผลิตและอาคารผลิต หมวดที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต โดยมีการล้างอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักรก่อนและหลังทำการผลิต มีการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการผลิตให้สะอาดปลอดภัยไม่ทำให้เครื่องมืออุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการผลิตเกิดการปนเปื้อนขณะทำการขนย้ายโดยมีการกำหนดขั้นตอนและวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานและปรับเปลี่ยนภาชนะจากอลูมิเนียมเป็นสแตนเลส อีกทั้งปรับปรุงผังโรงงานให้เหมาะสมขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนข้าม หมวดที่ 4 การสุขาภิบาล มีการปรับปรุงระบบน้ำจากน้ำบาดาลเป็นระบบน้ำประปา และหมวดที่ 6 บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน มีการอบรมและสร้างจิตสำนึกเรื่องการรักษาสุขลักษณะบุคคล จากนั้นทำการประเมินใหม่อีกครั้งหนึ่งพบว่า ได้คะแนน รวม 76.48 คะแนน ผ่านทุกหมวดย่อยและไม่พบข้อบกพร่องรุนแรง ดังนั้นสามารถยื่นขอรับรอง Primary GMP และขอเลข อ.ย. ได้ ดังภาพที่ 5

หมวดที่ 1: สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ใกล้เคียง	
<p><b>คำอธิบาย</b></p> <p>สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ใกล้เคียง คือ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- พื้นที่หรืออาคารการผลิตหลักด้านในตัวอาคาร เริ่มตั้งแต่จุดเริ่มต้นขั้นตอนการผลิต เช่น รับวัตถุดิบจนกระทั่งถึงพื้นที่ไหลคลีนคั้นเพื่อขนส่ง</li> <li>- พื้นที่อาคารจัดเก็บหรือส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตที่อยู่บริเวณรอบนอกอาคาร เช่น ห้องหรือพื้นที่เก็บวัตถุดิบ, ห้องหรือพื้นที่เก็บบรรจุภัณฑ์, ห้องหรือพื้นที่เก็บสินค้าระหว่างกระบวนการ, ห้องหรือบ้านอเนกประสงค์เก็บสินค้าสำเร็จรูป, พื้นที่ปิดคลีนคั้น, พื้นที่ไหลคลีนคั้นสำเร็จรูป, พื้นที่เก็บสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เป็นต้น</li> <li>- ระบบที่ช่วยสนับสนุนการผลิต เช่น พื้นที่ระบบการกรองน้ำใช้ในโรงงาน, พื้นที่เก็บสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดในพื้นที่การผลิต, พื้นที่ติดตั้งระบบแก๊ส, พื้นที่ติดตั้งระบบการกรองลม, ห้องช่างซ่อมบำรุงหรือบริเวณซ่อมเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น</li> <li>- พื้นที่ใกล้เคียงตัวอาคารการผลิต เช่น อาคารอเนกประสงค์ที่อยู่รอบข้างอาคารการผลิต ที่มีผลอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนข้ามเข้าสู่สายการผลิต</li> </ul>	
รายการตรวจเช็ค	
1.1 สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ใกล้เคียง	
<p>(1) ไม่มีการสะสมสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว</p>	<p>คำถามที่ 1</p> <p>สถานประกอบการมีการจัดวางสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วตามจุดใดในพื้นที่รอบอาคารโรงงาน อันก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเข้าอยู่อาศัยของสัตว์พาหนะ และการจัดการขยะอย่างทำได้ในเชิงที่ควร (หากตอบข้อนี้ ให้ตอบคำถามที่ 2 ต่อ)</p> <p>สถานประกอบการมีการจัดการเศษทิ้งของที่ไม่ใช้แล้วออกจากพื้นที่รอบอาคารหรือในอาคารโรงงานได้ดี หรือในกรณีมีการวางสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วรอบอาคารการผลิตจะมีการติดป้ายชี้แจงและควบคุมดูแลทำความสะอาดเพื่อไม่ให้มีมาซึ่งสิ่งไม่พึงประสงค์ (หากตอบข้อนี้ไม่ต้องตอบคำถามที่ 2)</p>
	<p>คำถามที่ 2</p> <p>หากสถานประกอบการมีการจัดเก็บสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของอาคารการผลิต หากสถานประกอบการมีอาคารในการจัดเก็บขยะหรือไม่ เช่น มีการกำหนดให้มีการทำความสะอาดหรือจัดการสัตว์พาหนะของเสีย ซึ่งยังไม่ให้เกิดการปนเปื้อนสู่กระบวนการผลิตหรือไม่, หรือกรณีความจำเป็นคือจัดเก็บจะมีการกำหนดพื้นที่ชัดเจนและได้ออกตัวอาคารผลิต เป็นต้น</p> <p><input type="radio"/> มีมาตรการควบคุม</p> <p><input type="radio"/> ไม่มี มาตรการควบคุม</p>

ภาพที่ 1 ตัวอย่างรายการตรวจสอบในหมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง และอาคารผลิต



1.1 สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ใกล้เคียง

**คำถามที่ 1**

สถานประกอบการมีการจัดการสิ่งของที่ไม่เป็นวัสดุทางการแพทย์กับสถานประกอบการอื่น ดึงส่งไปให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือจัดซื้อจัดจ้าง และมีการจัดการดูแลอย่างเหมาะสมหรือไม่ (หากตอบข้อนี้ ไม่ตอบคำถามที่ 2 จง)

**ถ้าท่านเลือกคำตอบว่า ใช่ ต้องทำคำถามถัดไป**

สถานประกอบการมีการจัดการสิ่งของที่ไม่ใช่วัสดุทางการแพทย์ที่มอบหมายหรือในอาคารโรงงานได้หรือไม่กรณีการวางมีของไว้ใช้

ใช่ หรืออาคารหรือมีการจัดซื้อป้องกันและควบคุมดูแลความปลอดภัยไม่ให้มีน้ำซึมหรือสิ่งปนเปื้อน (หากตอบข้อนี้ให้ส่งมอบคำถามที่ 2)

**ถ้าท่านเลือกคำตอบว่า ใช่ ไม่ต้องทำคำถามถัดไป**

**ท่านจะได้คะแนน 2 คะแนน**

**คำถามที่ 2**

หากสถานประกอบการมีการจัดเก็บสิ่งของที่ไม่ใช่ของหรือเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ ทางสถานประกอบการมีความสามารถในการควบคุมดูแลหรือไม่ เช่น มีการกำหนดให้มีการทำความสะอาดหรือจัดการสิ่งของที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนสู่กระบวนการผลิตหรือไม่, หรือกรณีมีความจำเป็นจะต้องเก็บจะมีวิธีการกั้นพื้นที่ที่ชัดเจนและไกลจากตัวอาคารผลิต เป็นต้น

มีมาตรการควบคุม

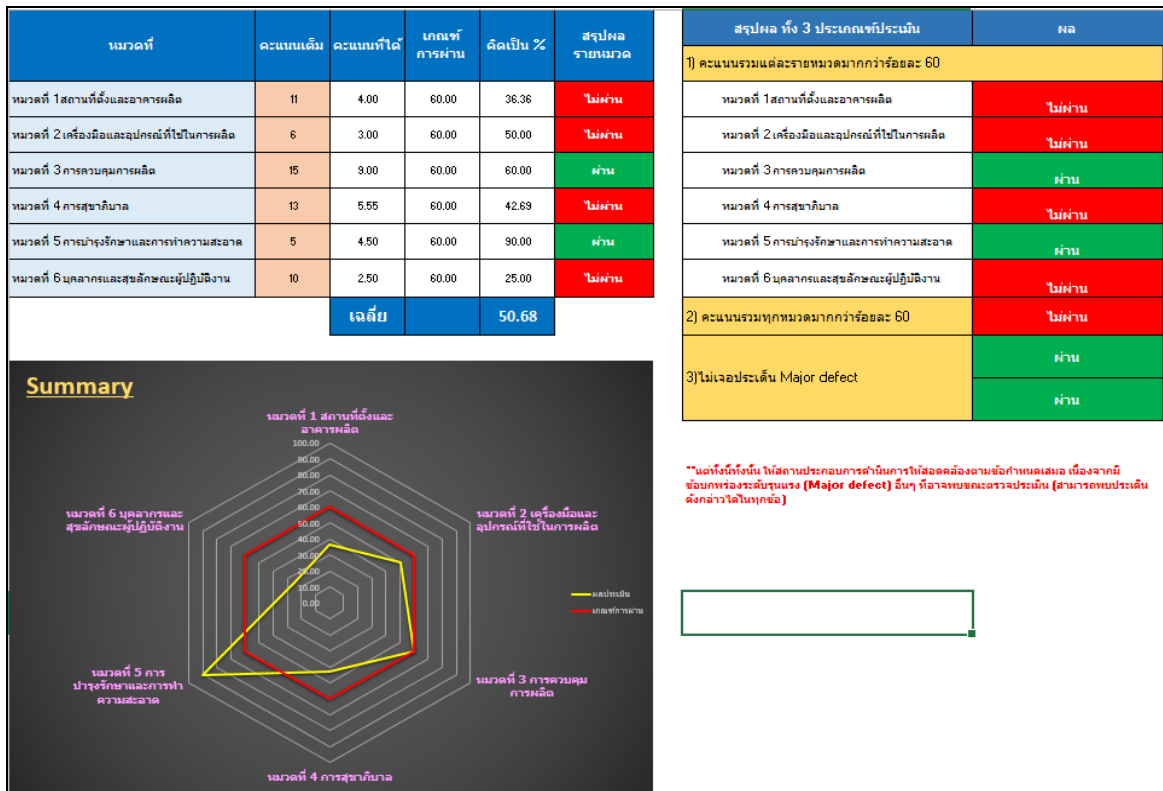
**ถ้าท่านเลือกคำตอบว่า มี มาตรการควบคุม ท่านจะได้คะแนน 1 คะแนน**

ไม่มี มาตรการควบคุม

**ถ้าท่านเลือกคำตอบว่า ไม่มี มาตรการควบคุม ท่านจะได้คะแนน 0 คะแนน**

(1) ไม่มีการประเมินสิ่งของที่ไม่ใช่เวช

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการตอบคำถามและการให้คะแนนตรวจสอบในหมวดที่ 1 สถานที่ตั้งและอาคารผลิตสำหรับข้อย่อยที่ 1.1.1



ภาพที่ 3 ผลการประเมินตามรายหมวดที่ 1-6 และภาพรวม กรณีไม่ผ่านตามมาตรฐาน GMP ขั้นต้น

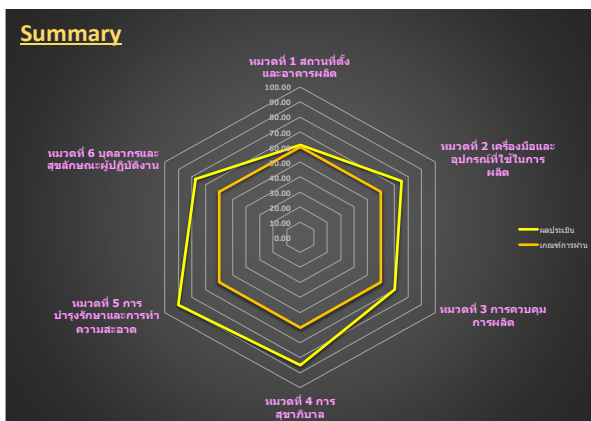
<b>หมวดที่ 1</b>	<b>สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ก่อสร้าง</b>
ข้อ 1.1 (1) ไม่มีภาระสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว	ได้คะแนน 2 คะแนน
<b>สถานที่ตั้ง ตัวอาคารและที่ก่อสร้าง</b>	
ข้อ 1.1 (1) ไม่มีภาระสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว	ได้คะแนน 1 หรือ 0 คะแนน
<p>ผู้ประกอบการควรนำสิ่งของที่ไม่ใช้แล้ว เช่น เครื่องจักร, เครื่องมือ, อุปกรณ์, โต๊ะ, เก้าอี้, วัสดุดิน, ส่วนผสม, บรรจุภัณฑ์หรืออื่นใดที่มีอยู่ในพื้นที่ผลิต ครอบอาคารที่อาจมีความเสี่ยงให้เกิดการปนเปื้อนข้ามออกไป แต่หากคิดจัดซื้อหาค่าของบประมาณ เช่น ซักล้างพื้นอาคาร เป็นต้น</p> <p>ต้อง...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-มีการทำความสะอาดเสมอเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนข้ามเข้าสู่กระบวนการ</li> <li>-มีการแยกพื้นที่จัดเก็บเพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม</li> <li>-หากเป็นไปได้ กรณีเป็นเครื่องจักรควรมีการคิดป้ายแสดงสถานะ เช่น รอขาย รอซ่อม เป็นต้น</li> </ul>	

ภาพที่ 4 ตัวอย่างของสิ่งที่จะต้องปรับปรุงในหมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง และอาคารผลิต

หมวดที่	คะแนนเดิม	คะแนนที่ได้	คิดเป็น %	สรุปผลรายหมวด
หมวดที่ 1 สถานที่ตั้งและอาคารผลิต	11	6.75	61.36	ผ่าน
หมวดที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต	6	4.50	75.00	ผ่าน
หมวดที่ 3 การควบคุมการผลิต	15	10.50	70.00	ผ่าน
หมวดที่ 4 การสุขาภิบาล	13	11.05	85.00	ผ่าน
หมวดที่ 5 การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด	5	4.50	90.00	ผ่าน
หมวดที่ 6 บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน	10	7.75	77.50	ผ่าน
<b>เฉลี่ย</b>	<b>60</b>	<b>45.05</b>	<b>76.48</b>	<b>ผ่าน</b>

สรุปผล ทั้ง 3 ประเภทประเมิน	ผล
<b>1) คะแนนรวมแต่ละรายหมวดมากกว่าร้อยละ 60</b>	
หมวดที่ 1 สถานที่ตั้งและอาคารผลิต	ผ่าน
หมวดที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต	ผ่าน
หมวดที่ 3 การควบคุมการผลิต	ผ่าน
หมวดที่ 4 การสุขาภิบาล	ผ่าน
หมวดที่ 5 การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด	ผ่าน
หมวดที่ 6 บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน	ผ่าน
<b>2) คะแนนรวมทุกหมวดมากกว่าร้อยละ 60</b>	ผ่าน
<b>3) ไม่เจอประเด็น Major defect</b>	ผ่าน

\*\*แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ในสถานประกอบการดำเนินการในสองครั้งตามข้อกำหนดเสมอ เนื่องจากมีข้อบกพร่องระดับรุนแรง (Major defect) 5 ครั้ง ถึงอาจพบข้อละรายการประเมิน (สถานประกอบการประเมินได้ทั้งหมด)



ภาพที่ 5 ผลการประเมินตามรายหมวดที่ 1-6 และภาพรวม กรณี ผ่านตามมาตรฐาน GMP ขั้นต้น

3. สรุปผลการประเมินตนเองตามมาตรฐานการผลิตขั้นต้นและสรุปผลการดำเนินงานของการบริหารจัดการของวิสาหกิจกรณีศึกษาพบว่า สามารถยื่นขอรับรองเลข อ.ย. และสามารถผ่านมาตรฐานการผลิตขั้นต้นได้ วิสาหกิจชุมชนมีรายได้ค่อนข้างคงที่แต่ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น โดยส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและค่าแรงงานกว่า 80% เนื่องจากค่าวัตถุดิบที่รับซื้อมีราคาสูงกว่าท้องตลาด จ่ายค่าแรงงานรายชั่วโมงแพง ธุรกิจขาดสภาพคล่องเนื่องจากมีหนี้สินมากกว่าทรัพย์สิน ราคาขายและต้นทุนการผลิตสูงกว่าคู่แข่ง ตลาดหลักเป็นตลาดท้องถิ่นในพื้นที่เพียงตลาดเดียว นอกจากนี้มีปัญห่อื่นๆ เช่น การบริหารเป็นระบบเครือข่ายเนื่องจากโครงสร้างและหน้าที่ความรับผิดชอบไม่ชัดเจน แรงงานส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุและเด็ก อยู่ในพื้นที่เสี่ยง มีปัญหากระบวนการจัดการวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป ไม่มีการบันทึกอย่างเป็นระบบ ขาดความรู้ในการบันทึกทางบัญชีอย่างถูกต้อง ขาดการวิเคราะห์งบการเงินอย่างเป็นระบบ เพื่อนำไปปรับปรุงและวางแผนให้ธุรกิจมีสภาพคล่อง สร้างผลกำไรและอยู่รอดได้

## สรุป

วิสาหกิจสามารถนำแบบประเมินตนเองนี้ไปปรับใช้ปรับปรุงสถานที่ผลิตโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจ้างที่ปรึกษาเพื่อขอเลข อ.ย. และได้การรับรองมาตรฐานการผลิตขั้นต้นของผลิตภัณฑ์พริกแกงจะสามารถสร้างรายได้เพิ่ม สร้างความเชื่อมั่นและการยอมรับในผลิตภัณฑ์ ดังเช่นผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจที่สามารถผลิตระดับอุตสาหกรรมการผลิตกล้วยตาก อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ผลิตสินค้าได้มาตรฐานจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ สร้างรายได้ประมาณปีละ 100 ล้านบาท (เสริมและบุศราภรณ์, 2559) สำหรับแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานมี 2 แนวทางคือ การลดต้นทุนการผลิตและการสร้างรายได้เพิ่ม ควรลดต้นทุนวัตถุดิบโดยหาแหล่งวัตถุดิบที่มีราคาถูกลง ลดต้นทุนแรงงานโดยการลดค่าแรงรายชั่วโมงลงหรือหามาตรการในการเพิ่มผลผลิตรายชั่วโมงให้มากขึ้นและใช้แรงงานให้คุ้มค่าไม่ให้เกิดการว่างงาน และทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่ให้แตกต่างจากคู่แข่งสามารถเข้าถึงตลาดใหม่ได้และทำกำไรเพิ่มขึ้นได้ (ดวงพรและศชาวุธ, 2562) โดยทำผลิตภัณฑ์พริกแกงชนิดใหม่หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบสวยงามต่างจากเดิมแล้วปรับราคาขายให้สูงขึ้น ไม่พึ่งพาสถาปัตยกรรมเพียงตลาดเดียว นอกจากนี้ควรขยายตลาดทำช่องทางตลาดออนไลน์รวมถึงปรับปรุงการบันทึกบัญชีให้ถูกต้องตามหลักบัญชี ปรับระบบบริหารจัดการไม่ให้เป็นแบบเครือญาติ วางแผนและวิเคราะห์ทางการเงินอย่างเป็นระบบและทำระบบบันทึกการเข้า-ออกของวัตถุดิบ

## เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพันธ์ ปัญญาโรจน์ กนกรัตน์ ดวงพิกุลและธัญทิพย์ ศิริพรอัครชัย. (2562). การพัฒนาแนวทางในการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนเข้าสู่มาตรฐานการผลิตขั้นต้น กรณีศึกษา: วิสาหกิจชุมชนน่านมอลต์. วารสารบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ราชชมงคลล้านนา, 7(1), 107-116.
- ดวงพร พุทธวงศ์และศชาวุธ เจียบัว. (2562). ปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อศักยภาพการแข่งขันของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร. วารสารบริหารธุรกิจ, 42(164), 78-99.
- ประมุข ภาวะกุลสุขสถิตย์ และคณะ. (2562). รายงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานและสังเคราะห์เทคโนโลยี Road Map สำหรับแนวทางการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนและ OTOP. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วรายุ ศิริรินทร์ และ ระบิล พันภัย. (2563). การมุ่งเน้นความเป็นผู้ประกอบการและความได้เปรียบทางการแข่งขันที่ส่งผลต่อการดำเนินงานของธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมอุตสาหกรรมอาหารในกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง. วารสารชุมชนวิจัย, 14(1), 242-252.
- สุทธิกาญจน์ แก้วคงบุญ และ สุวรรณี โภชาภรณ์. (2559). การสร้างมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์น้ำพริกเครื่องแกง. วารสารวิชาการการรับใช้สังคม มทร. ล้านนา, 1(1), 25-32.
- เสริม จันทร์ฉาย และ บุศราภรณ์ มหาโยธี. (2559). การพัฒนากล้วยตากในชุมชนบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก. Veridian E-Journal 3 (6): 310-322.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. (2556). คู่มือการปฏิบัติสำหรับ Primary GMP. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2563. จาก <http://www.fda.moph.go.th/sites/PrimaryGMP>
- อดิศร สังข์คร และนางลักษณ์ ผุดเผือก. (2557). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง โครงการการศึกษาห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจเครื่องแกงในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

# การประยุกต์ใช้แผนภาพต้นไม้สำหรับการสร้างภาพกฎความสัมพันธ์

## An Application of Tree Diagrams for Association Rules Visualization

นพวิทย์ การุณย์ลัญจกร<sup>1</sup> และ ปกรณ์ ลีสุทธิพรชัย<sup>1</sup>

Nopphawit Karunlanchakorn<sup>1</sup> and Pakorn Leesutthipornchai<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การหาความสัมพันธ์เป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูล ใช้สำหรับค้นหาการปรากฏร่วมกันของสิ่งของหรือค่าคุณลักษณะของข้อมูล เช่น การปรากฏร่วมกันของสินค้าในรายการขายตามร้านสะดวกซื้อ ผลที่ได้จากอัลกอริทึมกฎความสัมพันธ์อยู่ในรูปกลุ่มของสินค้าที่มักขายได้ร่วมกัน สร้างประโยชน์ต่อร้านค้าในการนำข้อมูลไปใช้ทำการตลาดต่อไป เช่น จัดวางสินค้าให้อยู่ใกล้กัน หรือเสนอขายสินค้าเป็นกลุ่มสินค้าในราคาที่ถูกลง การแสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวนมากจากซอฟต์แวร์ในปัจจุบันยังอยู่ในรูปรายการกลุ่มสินค้าหลายบรรทัดเรียงต่อกัน ยากในการทำความเข้าใจ งานวิจัยนี้ศึกษา เปรียบเทียบ และประยุกต์ใช้แผนภาพต้นไม้ 4 รูปแบบ ได้แก่ ทิต์ทรี เดนไดรแกรม เรเดียลทิต์ทรี และเรเดียลเดนไดรแกรม เพื่อแสดงผลกฎความสัมพันธ์ด้วยภาพ แผนภาพทั้งสี่ถูกประยุกต์ให้แสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวน 200 400 600 800 และ 1,000 กฎทั้งในภาพรวมและรายละเอียดรายการ มาตราวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ การใช้ทรัพยากรหน่วยความจำ การใช้ทรัพยากรเวลา ความสามารถด้านการใช้งาน ความละเอียดหน้าจอทั้งในด้านการใช้งานและด้านความสวยงาม ได้ถูกยกขึ้นมาเป็นมาตรวัดในการเปรียบเทียบแผนภาพที่ถูกเลือก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเดนไดรแกรมและทิต์ทรีใช้เวลาในการประมวลผลต่ำที่สุด ส่วนด้านทรัพยากรหน่วยความจำแผนภาพทั้ง 4 รูปแบบมีการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำที่ใกล้เคียงกันมาก ในด้านความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมในด้านการใช้งานทิต์ทรีและเรเดียลทิต์ทรีใช้ความละเอียดหน้าจอได้คุ้มค่าที่สุด ส่วนในด้านความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมในด้านความสวยงามเรเดียลทิต์ทรีสามารถใช้ความละเอียดหน้าจอได้คุ้มค่าที่สุด

**คำสำคัญ :** การสร้างภาพกฎความสัมพันธ์, กฎความสัมพันธ์, เหมืองข้อมูล

### Abstract

Association rules mining is a technique in data mining. Association rules technique finds the co-occurrence of item sets or data attribute values, such as the co-occurrence of sale items in a convenience store. The results of the association rule algorithm are in the form of groups of products that are often sold together. Association information is beneficial for marketing, such as placing products closer to each other or offering to sell the set of products with a lower price. Recent data mining tools display association rules in the form of multiple line items that is difficult to understand. The research

<sup>1</sup> ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand.

studies, compares and applies four diagrams that are tidy tree, dendrogram, radial tidy tree and radial dendrogram for association rules visualization. Four diagrams are applied for illustrating the overview together with details of 200, 400, 600, 800 and 1,000 association rules. The performance metrics that are memory usage, time usage, resolution usability and resolution good-looking metrics are proposed to compare the selected diagrams. The results showed that dendrogram and tidy tree use the least of computational time for all sets of association rules. The amounts of memory resources that are consumed by four diagrams are similar. Tidy tree and radial tidy tree are the best in term of resolution usability metric. Radial tidy tree has well performance in resolution good-looking metric.

**Keyword :** Association Rules Visualization, Association Rules, Data Mining

## บทนำ

หลังจากกฎความสัมพันธ์ได้เผยแพร่อย่างกว้างขวางในปี ค.ศ. 1993 (Agrawal, Imielinski & Swami, 1993) การแสดงผลกฎความสัมพันธ์รวมถึงค่าความน่าสนใจ (interestingness measure) ด้วยภาพ ได้ถูกพัฒนามาเป็นระยะเวลาอันยาวนานจากอดีตจนถึงปัจจุบัน รูปแบบของการแสดงผลกฎความสัมพันธ์มีอยู่มากมาย ทั้งที่เป็นเครื่องมือที่เป็นผลจากการวิจัยและเป็นเครื่องมือในซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทั่วไป ในปี ค.ศ. 2019 เฟร์นันเดซบาสโซและคณะ (Fernandez-Basso, Ruiz, Delgado & Martin-Bautista, 2019) ได้รวบรวมข้อมูลการแสดงผลกฎความสัมพันธ์ และได้ทำการแบ่งกลุ่มของการแสดงผลกฎความสัมพันธ์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ การแสดงผลแบบตาราง การแสดงผลด้วยรูปแบบแผนภูมิพื้นฐาน และการแสดงผลด้วยวิธีการกราฟเบส (graph-based methods) การแสดงผลทั้งสามแบบนี้มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป การแสดงผลแบบตารางมีข้อดีคือ ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจง่าย สามารถใส่ค่าคะแนนความน่าสนใจของกฎลงไปตามทางคอลัมน์ได้ สามารถจัดเรียงกฎความสัมพันธ์ด้วยค่าคะแนนความน่าสนใจของกฎได้อย่างง่ายดาย แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแสดงให้เห็นภาพรวมของกฎได้ในครั้งเดียว ผู้ใช้งานจะเห็นเพียงกฎที่แสดงในแต่ละหน้าของตารางเท่านั้น หากต้องการแสดงกฎความสัมพันธ์ทั้งหมดจะต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก ส่วนการแสดงผลด้วยแผนภูมิพื้นฐานนั้น สามารถทำการแสดงผลได้ด้วยแผนภูมิหลายรูปแบบ เช่น สแกตเตอร์พลอต เมทริกซ์เบส เป็นต้น ซึ่งแผนภูมิลำนี้จะมีความคุ้นเคยกับแผนภูมิเหล่านี้เป็นอย่างดี แต่มีข้อเสียคือแสดงได้เฉพาะภาพรวม แต่ไม่สามารถแสดงผลรายกฎได้ ส่วนการแสดงผลแบบกราฟเบสเป็นการแสดงผลแบบโนด (node) และ แบบเอดจ์ (edge) การแสดงผลแบบนี้มีความเหมาะสมกับการแสดงผลกฎความสัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะ (attributes) ในกฎหนึ่งข้อจำนวนมาก แต่หากกฎความสัมพันธ์มีจำนวนมากจนเกินไปจะทำให้โนดและเอดจ์มีการซ้อนทับจนทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถอ่านกฎความสัมพันธ์ งานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับการแสดงผลแบบกราฟเบสเนื่องจากผู้วิจัยสนใจข้อดีของการแสดงผลชนิดนี้คือความสามารถในการแสดงผลที่ทำให้ผู้ใช้ได้เห็นทั้งภาพรวมของระบบและยังสามารถช่วยให้ผู้ใช้อ่านเจาะจงเฉพาะกฎที่ผู้ใช้สนใจได้ด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากราฟเบสบนอาร์ (R) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับจัดการด้านการทำเหมืองข้อมูลรวมถึงการแสดงผลข้อมูลด้วยภาพ อ้างอิงจากบทความของมิคาเอล แฮชเชเลอร์ (Hahsler, 2017) ที่รวบรวมและวิจารณ์เครื่องมือแสดงผลกฎความสัมพันธ์ชนิดต่าง ๆ บนอาร์ เขาได้แสดงแผนภาพกราฟเบสบนอาร์ที่ใช้แสดงกฎความสัมพันธ์ ซึ่งพบว่าแผนภาพดังกล่าวมีการซ้อนทับของโนดจำนวนมาก และมีการวางตัวของโนดที่ไม่เป็นระเบียบ รวมถึงเป็นเครื่องมือเฉพาะที่ต้องดาวน์โหลดเครื่องมืออาร์มาก่อนเพื่อใช้งานฟังก์ชันการสร้างแผนภาพกราฟเบส ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แผนภาพพื้นฐานบน

ไลบรารีที่ดี (Bostock, 2019) ทั้งสี่ ได้แก่ ทิตีทรี เดนไดรแกรม เรเดียลทิตีทรี และเรเดียลเดนไดรแกรม ซึ่งมีจุดร่วมกันคือ เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้วยโนดและเอดจ์ มีการจัดเรียงโนดที่เป็นระเบียบด้วยอัลกอริทึมที่ดี (ReinGold & Tilford, 1981) สามารถแสดงผลได้บนเว็บไซต์จึงเข้าถึงง่ายสำหรับผู้ใช้งาน มีฟังก์ชันรองรับการซ่อนแสดงโนดข้อมูลซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวมของกฎทั้งหมดในขณะแสดงโนด หรือสามารถสังเกตเฉพาะโนดที่สนใจโดยการซ่อนโนดที่ไม่ต้องการ และเนื่องจากงานวิจัยในอดีตมักนำเสนอมาตรวัดในการเปรียบเทียบแผนภาพต่าง ๆ เชิงบรรยาย หรือการใช้แบบสอบถามในการวัดผล งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอมาตรวัดเชิงปริมาณที่สามารถวัดผลด้วยตัวเลข ได้แก่ ทรัพยากรหน่วยความจำ (memory) และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแผนภาพ ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านการใช้งาน และความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านความสวยงาม ซึ่งเป็นมาตรวัดเชิงปริมาณที่สามารถวัดเป็นตัวเลขได้

## วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแผนภาพต้นไม้มทั้ง 4 รูปแบบสำหรับใช้แสดงกฎความสัมพันธ์
- 2) เพื่อให้ข้อมูลและนำเสนอมาตรวัด ด้านการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำ เวลา ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านการใช้งาน และความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านความสวยงาม สำหรับนักวิจัยที่ต้องการใช้แผนภาพทั้ง 4 แบบในการแสดงผลกฎความสัมพันธ์ หรือนำแผนภาพดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับแผนภาพที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. แผนภาพที่ใช้ในการทดลอง

แผนภาพที่ใช้ในการทดลอง มีทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ ทิตีทรี เดนไดรแกรม เรเดียลทิตีทรี และเรเดียลเดนไดรแกรม ดังภาพที่ 1 ทุกแผนภาพที่ถูกเลือกมีลักษณะร่วมกันคือเป็นแผนภาพพื้นฐานจากไลบรารีที่ดี และเป็นแผนภาพต้นไม้ที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่ดี

ความแตกต่างของแผนภาพทั้ง 4 รูปแบบ มีดังนี้ จากภาพที่ 1 (ก) ทิตีทรีจะมีลักษณะการจัดเรียงโนดโดยโนดที่มีความลึก (tree depth) ระดับเดียวกันจะถูกวางในแนวเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากเดนไดรแกรม ในภาพที่ 1 (ข) ที่ไม่ได้จัดเรียงโนดตามความลึกของโนดแต่จะจัดให้โนดใบ (leaf node) อยู่ทางฝั่งขวาสุดของหน้าจอโดยไม่คำนึงถึงความลึกของโนดใบ และจัดเรียงโนดอื่นให้มีระยะห่างในสัดส่วนเท่ากัน ส่วนแผนภาพเรเดียลทิตีทรีและเรเดียลเดนไดรแกรมตามภาพที่ 1(ค) และภาพที่ 1(ง) ตามลำดับเป็นการจัดเรียงโนดของทิตีทรีและเดนไดรแกรมให้จัดเรียงเป็นรูปแบบวงกลม แต่ยังคงแนวคิดด้านการจัดเรียงโนดด้วยความลึก และการจัดเรียงโนดด้วยโนดใบดั้งเดิม ลักษณะของการแปลงจากกฎความสัมพันธ์เป็นแผนภาพ อ้างอิงจากภาพที่ 2 จากตัวอย่างกฎความสัมพันธ์ 3 กฎ ได้แก่ กฎที่ 1:  $\{a, b\} \rightarrow \{c\}$  support: 1, confidence: 1, กฎที่ 2:  $\{a, b\} \rightarrow \{c, d\}$  support: 1, confidence: 0.9, กฎที่ 3:  $\{a, e\} \rightarrow \{f\}$  support: 1, confidence: 1 กฎทั้งหมดจะถูกแสดงผลดัง ภาพที่ 2 (ก) ซึ่งโนดแต่ละโนดแทน 1 คุณลักษณะของเซตคุณลักษณะทางด้านซ้าย ยกเว้นโนดสุดท้ายที่จะแสดงทั้งเซตของคุณลักษณะทางด้านขวา เช่น กฎที่ 2:  $\{a, b\} \rightarrow \{c, d\}$  อ้างอิงจากภาพที่ 2 (ก) พบว่า a และ b จะใช้ช่องว่าง 1 โนด เพราะ a และ b เป็น

คุณลักษณะทางด้านซ้าย ในขณะที่ {c,d} จะถูกรวบแสดงที่โน้ตสุดท้ายโน้ตเดียว เพราะ {c, d} เป็นเซตของคุณลักษณะทางด้านขวา

ลักษณะการรวมโน้ต จากภาพที่ 2 (ก) พบว่ากฎที่ 1 และ 2 มีการรวมโน้ตกันที่คุณลักษณะ b เพราะมีการปรากฏร่วมของ b บนเซตคุณลักษณะทางซ้ายของทั้งกฎที่ 1 และ 2 การรวมโน้ตดังกล่าวทำเพื่อจัดกลุ่มกฎความสัมพันธ์ที่ใช้คุณลักษณะร่วมกันเข้าอยู่ด้วยกันเพื่อความง่ายในการอ่านของผู้ใช้งานและประหยัดเนื้อที่ในการแสดงผล แผนภาพทั้งสี่ได้ถูกเพิ่มฟังก์ชันให้สามารถซ่อนแสดงโน้ตได้ ดังภาพที่ 2 (ข) ที่ได้ทำการซ่อนโน้ต {c} และ {c, d} เพื่อให้ผู้ใช้จะพึงความสนใจเฉพาะกฎที่ 3 และผู้วิจัยได้เพิ่มฟังก์ชันในการแสดงค่าความน่าสนใจของกฎด้วยการนำตัวชี้ (mouse pointer) ไปวาง (hover) บนโน้ตใดซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของกฎ โดยแสดงเป็นทูลทิป ดังภาพที่ 2 (ก) ที่แสดงค่าชัพพอร์ตและคอนฟิเดนซ์ ทุกโน้ตบนแผนภาพสามารถทำการซ่อนได้ เป็นข้อดีสำหรับผู้อ่านที่สามารถอ่านเฉพาะกลุ่มกฎความสัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะที่ผู้ใช้งานสนใจ

เมื่อแผนภาพทั้งสี่ ได้ทำการแสดงผลจากกฎความสัมพันธ์ทุกกฎจำนวนมากขึ้นในพื้นที่เท่าเดิม จะทำให้โน้ตเริ่มเบียดกันจนเกิดการซ้อนทับดังภาพที่ 2 (ค) ซึ่งเป็นภัยต่อทั้งการใช้งาน และต่อความสวยงามในการแสดงผล

#### 2. มาตรการวัด

1) เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อแสดงผลแผนภาพทั้งสี่บนกฎความสัมพันธ์จำนวนต่าง ๆ

2) ทรัพยากรหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อแสดงผลแผนภาพทั้งสี่บนกฎความสัมพันธ์จำนวนต่าง ๆ

#### 3) ภัยต่อการใช้งาน

หากการซ้อนทับของโน้ตดังภาพที่ 2 (ค) มีการซ้อนทับเท่ากับหรือมากกว่าจุดศูนย์กลางของโน้ตอื่นดังภาพที่ 2 (ง) จะทำให้ผู้ใช้งานกดซ่อนแสดงโน้ต และวางเมาส์บนโน้ตใบ (leaf node) เพื่อดูทูลทิปค่าความน่าสนใจของกฎได้ลำบากซึ่งเป็นภัยต่อการใช้งาน ซึ่งการซ้อนทับแบบนี้แม้เกิดขึ้นเพียงโน้ตเดียว แต่หากเป็นโน้ตที่ผู้ใช้ต้องใช้งานก็จะก่อให้เกิดความลำบากในการใช้งาน จนอาจทำให้ไม่สามารถกดโน้ตได้ หรือกดพลาดไปถูกโน้ตอื่น การหาการซ้อนทับของโน้ตเกิดจากการนำตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโน้ตทุกโน้ตบนแผนภาพมาหาระยะห่างระหว่างจุด หากพบระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของโน้ตใดมีระยะห่างน้อยกว่าหรือเท่ากับรัศมีของโน้ตให้ถือว่าเกิดการซ้อนทับจนเป็นภัยต่อการใช้งาน

#### 4) ภัยต่อความสวยงาม

หากเกิดการซ้อนทับของโน้ตแม้เพียงโน้ตเดียวไม่ว่าจะซ้อนทับมากน้อยเพียงใดให้ถือว่าภัยต่อความสวยงามของการแสดงผล ดังนั้นความปลอดภัยภัยต่อความสวยงามหมายถึงไม่พบการซ้อนทับของโน้ต การหาการซ้อนทับของโน้ตเกิดจากการนำตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโน้ตทุกโน้ตบนแผนภาพมาหาระยะห่างระหว่างจุด หากพบระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของโน้ตใดมีระยะห่างน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางโน้ตให้ถือว่าเกิดการซ้อนทับจนเป็นภัยต่อความสวยงาม

#### 5) พื้นที่แสดงผลต่ำสุดที่ไม่พบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม

พื้นที่ (พิกเซลในแนวกว้าง x พิกเซลในแนวสูง) ที่ไม่ตรวจพบภัยต่อการใช้งานและความสวยงาม เกิดจากการที่ผู้วิจัยเพิ่มความกว้างและความสูงของพื้นที่แสดงผลไปเรื่อย ๆ บนแผนภาพต่าง ๆ จนไม่ตรวจพบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม

#### 6) ความละเอียดหน้าจอ (resolution) ที่เหมาะสมด้านการใช้งานและด้านความสวยงาม

คือขนาดความละเอียดหน้าจอที่สามารถรองรับการแสดงผลกฎความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพได้แบบเต็มหน้าจอ โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทำการเลื่อนหน้าจอ (scrolling) หรือเกิดการบดบังบางส่วนของแผนภาพ เป็นมาตรวัดที่ใช้วัดผลการแสดงผลเชิงภาพรวมของกฎความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพ มาตรวัดนี้เกิดจากการนำพื้นที่แสดงผลต่ำสุดที่ไม่พบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงามมาเทียบกับความละเอียดหน้าจอขนาดต่าง ๆ หากความละเอียดหน้าจอใดมีขนาดมากกว่าพื้นที่แสดงผลต่ำสุดทั้งในแนวกว้าง และแนวสูง ผู้วิจัยจัดบันทึกความละเอียดหน้าจอต่ำที่สุดที่สามารถรองรับการแสดงผลแผนภาพได้โดยไม่เกิดภัยต่อการใช้งานและความสวยงาม

### 3. วิธีการวิจัย

1) ทำการสร้างชุดกฎความสัมพันธ์จำนวน 200 400 600 800 และ 1,000 กฎ จากชุดข้อมูล Adult จากฐานข้อมูล UCI Machine Learning Repository (Kohavi and Becker, 1996) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ได้รับการนิยามในการดาวน์โหลดอย่างสูงบนฐานข้อมูลดังกล่าว

2) นำชุดกฎความสัมพันธ์ทั้ง 5 ชุดใช้เป็นข้อมูลเข้า (input) สำหรับแผนภาพทั้งสี่ โดยแผนภาพทั้งสี่มีข้อจำกัดเดียวกันคือมีขนาดรัศมีของโนดคือ 2.5 พิกเซลและพัฒนาบนเว็บแอปพลิเคชัน (web application) ส่วนการจัดเรียงโนดในหน้าจอให้เป็นหน้าที่ของฟังก์ชันในไลบรารีดีทรีของแต่ละแผนภาพ และทดลองขั้นตอนการทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองทุกแผนภาพบนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ยี่ห้อ Acer ชื่อรุ่น Aspire GX-781 โพรเซสเซอร์ (processor) Intel(R) Core(TM) i5-7400 CPU @ 3.00GHz แรม (RAM) 8 กิกะไบต์ ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Home Single Language

3) จัดบันทึกผลลัพธ์การหน่วยความจำสูงสุดและเวลาในการสร้างแผนภาพ ด้วยเครื่องมือนักพัฒนามบนกูเกิลโครม (Chrome dev tool) และจัดบันทึกความเป็นภัยต่อการใช้งาน และความเป็นภัยต่อความสวยงาม จากแผนภาพทุกแผนภาพบนข้อจำกัดด้านพื้นที่ 800 x 600 พิกเซล (pixel) ซึ่งเป็นความละเอียดต่ำสุดของหน้าจอ

4) หากตรวจพบภัยต่อการใช้งาน หรือภัยต่อความสวยงาม ผู้วิจัยทำการค้นหาขนาดที่เหมาะสมสำหรับการแสดงผลกฎความสัมพันธ์บนแผนภาพนั้น ๆ โดยหากเป็นดีทรีและเดนไดรแกรม ผู้วิจัยทำการเพิ่มความสูงของพื้นที่แสดงผลคราวละ 100 พิกเซลจนกว่าจะไม่มีอาการซ้อนทับของโนด และหากเป็นเรเดียลดีทรี และเรเดียลเดนไดรแกรม ผู้วิจัยเพิ่มพื้นที่แสดงผลเป็น 800 x 800 พิกเซลในครั้งแรก และทำการเพิ่มทั้งความกว้างและความสูงอย่างละ 100 พิกเซลในครั้งต่อไป (เนื่องจากเป็นแผนภาพที่แสดงผลเป็นรูปวงกลมจึงต้องเพิ่มทั้งความกว้างและความสูง) จนกว่าไม่พบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม ผู้วิจัยบันทึกพื้นที่แสดงผลต่ำสุดที่ไม่พบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงามต่อไป

5) ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมกับการแสดงผล โดยความละเอียดหน้าจอทั้งหมดอ้างอิงจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่เป็นสินค้าบนเว็บไซต์ทางการของบริษัทเดลล์ ซึ่งมีความละเอียดหน้าจอ (กว้างxสูง) ดังต่อไปนี้ 1366x768 1600x900 1680x1050 1920x1080 1920x1200 2560x1400 2560x1600 3440x1440 3840x2160 และ 7680x4320 พิกเซล ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมได้จากการนำข้อมูลพื้นที่แสดงผลต่ำสุดที่ไม่พบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงามมาเทียบกับความละเอียดหน้าจอทั้งสิบขนาด หากพื้นที่แสดงผลต่ำสุดสามารถแสดงผลได้เต็มหน้าจอบนความละเอียดหน้าจอใด ผู้วิจัยจัดบันทึกความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมขนาดเล็กที่สุดที่ไม่ตรวจพบภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม



## ผลและวิจารณ์

ผลการวิจัยประกอบด้วยสองส่วน คือ ผลการวิจัยมาตรวัดต่าง ๆ จากขนาดแสดงผลเริ่มต้น 800 x 600 พิกเซล และผลการวิจัยเพื่อค้นหาขนาดหน้าจอที่เหมาะสมต่อการใช้งาน และความสวยงาม

ความเร็วในการสร้างแผนภาพจากตารางที่ 1 พบว่าเรเดียลที่ดีที่รีและเรเดียลเดนโดรแกรมใช้เวลาในการสร้างแผนภาพมากกว่าที่ดีที่รีและเดนโดรแกรมในทุกชุดกฎความสัมพันธ์ เมื่อดูแนวโน้มการใช้เวลาในภาพที่ 3 (ก) พบว่าทุกแผนภาพมีลักษณะการใช้เวลาในการสร้างแผนภาพเป็นแบบเชิงเส้นเมื่อกฎความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น และที่ 1,000 กฎพบว่าเรเดียลที่ดีที่รีและเรเดียลเดนโดรแกรมใช้เวลาในการสร้างแผนภาพประมาณ 2 วินาทีเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้เรเดียลที่ดีที่รีและเรเดียลเดนโดรแกรมจะใช้เวลาในการสร้างแผนภาพมากกว่าที่ดีที่รีและเดนโดรแกรม แต่ถือว่าทุกแผนภาพที่ใช้ในการทดลองใช้เวลาในการประมวลผลที่สามารถยอมรับได้

ด้านการใช้งานทรัพยากรหน่วยความจำสูงสุดที่ใช้ในการสร้างแผนภาพ อ้างอิงจากตารางที่ 1 และภาพที่ 3 (ข) พบว่าแผนภาพทุกแผนภาพมีการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำเป็นแบบเชิงเส้นเมื่อกฎความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น มีการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำที่ไม่แตกต่างกันมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อกฎความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแผนภาพทั้งสี่สามารถใช้ทรัพยากรหน่วยความจำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ด้านภัยต่อการใช้งานบนพื้นที่ 800 x 600 อ้างอิงจากตารางที่ 2 พบว่า ที่ 200 กฎ เดนโดรแกรมตรวจพบทั้งภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม ในขณะที่แผนภาพอื่นตรวจพบเพียงภัยต่อความสวยงามเพียงอย่างเดียว และตั้งแต่ 400 กฎขึ้นไป พบว่าตรวจพบทั้งภัยต่อการใช้งานและความสวยงามในทุกแผนภาพ

ด้านความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านการใช้งาน อ้างอิงจากตารางที่ 4 พบว่า เดนโดรแกรม ต้องใช้ความละเอียดหน้าจอมากที่สุดเพราะที่การแสดงผลกฎความสัมพันธ์ 800 กฎพบว่าต้องใช้ความละเอียดหน้าจอสูงสุดในการแสดงผล ส่วนอีก 3 แผนภาพที่เหลือมีการใช้ความละเอียดในการแสดงผลใกล้เคียงกันจนถึงการแสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวน 800 กฎ แต่เมื่อการแสดงผลถึง 1,000 กฎ พบว่าที่ดีที่รีและเรเดียลที่ดีที่รีใช้ความละเอียดหน้าจอประหยัดที่สุด เพราะใช้ความละเอียดในการแสดงผลเพียง 3840x2160 ในขณะที่แผนภาพอื่นต้องใช้ความละเอียดสูงสุดคือ 7680x4320 ในการแสดงผล

ด้านความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านความสวยงาม อ้างอิงจากตารางที่ 4 พบว่า เดนโดรแกรมยังคงใช้ความละเอียดหน้าจอมากที่สุดเช่นเดิม เพราะแค่การแสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวน 400 กฎความสัมพันธ์ก็ต้องใช้ความละเอียดหน้าจอสูงสุดในการแสดงผล และตั้งแต่ 800 กฎความสัมพันธ์ขึ้นไป ไม่สามารถแสดงผลแบบเต็มหน้าจอได้แม้กระทั่งความละเอียดหน้าจอสูงสุด ในขณะที่เรเดียลที่ดีที่รียังคงเป็นแผนภาพที่ใช้ความละเอียดได้ประหยัดที่สุด เพราะที่ 600 กฎความสัมพันธ์เรเดียลที่ดีที่รีใช้ความละเอียดหน้าจอเพียง 3840x2160 ในขณะที่แผนภาพอื่นต้องใช้ความละเอียดหน้าจอสูงสุดในการแสดงผล

## บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่าในด้านการใช้ทรัพยากรเวลา ที่ดีที่รีและเดนโดรแกรมใช้ทรัพยากรเวลาได้คุ้มค่าที่สุด แต่ถือว่าทั้ง 4 แผนภาพใช้เวลาในการสร้างแผนภาพ และมีแนวโน้มในการใช้ทรัพยากรเวลาที่สามารถยอมรับได้ ด้านการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำ พบว่าทั้งสี่แผนภาพมีการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำที่ไม่ต่างกันมาก และมีแนวโน้มการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำเมื่อจำนวนกฎเพิ่มขึ้นที่สามารถยอมรับได้ ส่วนในด้านการใช้ความละเอียด

หน้าจอที่เหมาะสมในด้านการใช้งาน พบว่าที่ดีที่รีและเรเดียลที่ดีที่รีใช้ความละเอียดหน้าจอได้ประหยัดที่สุด ในขณะที่เดโนโดแกรมใช้ความละเอียดหน้าจอได้สิ้นเปลืองที่สุด และส่วนการใช้ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมในด้านความสวยงาม พบว่าเรเดียลที่ดีที่รียังคงใช้ความละเอียดหน้าจอได้ประหยัดที่สุด และเดโนโดแกรมก็ยังคงใช้ความละเอียดหน้าจอได้สิ้นเปลืองที่สุด ผู้ใช้งานที่มีหน้าจอคอมพิวเตอร์ (computer monitor) ที่ต่ำกว่าความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมก็สามารถแสดงผลแผนภาพได้ แต่การแสดงผลกฎความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพจะไม่สามารถแสดงผลได้เต็มหน้าจอเหมือนผู้ใช้งานที่มีความละเอียดที่เหมาะสมได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถเห็นภาพรวมของกฎได้ในการมองครั้งเดียว ต้องทำการเลื่อนหน้าจอ (scrolling) หรือ ซูมออก (zoom out) เพื่อให้เห็นกฎความสัมพันธ์ทั้งหมด ซึ่งการซูมออกก็จะทำให้แผนภาพมีขนาดเล็กส่งผลต่อการอ่านกฎความสัมพันธ์ หัวข้อนี้จะเป็นงานวิจัยในอนาคตต่อไป ทั้งนี้งานวิจัยนี้ทำการวิจัยหาความเหมาะสมการใช้งานพื้นที่เฉพาะบนการแสดงผลแบบปกติ (landscape) บนหน้าจอคอมพิวเตอร์เท่านั้น ส่วนการหาความเหมาะสมบนหน้าจออุปกรณ์ (device) อื่น ๆ การพลิกหน้าจอเป็นแนวตั้ง (portrait) หรือการแสดงผลแบบต่อกันสองหน้าจอ เป็นหัวข้อที่สามารถต่อยอดได้ในอนาคต โดยนักวิจัยที่สนใจสามารถนำข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่ในการใช้งานต่ำสุดในการแสดงผลกฎความสัมพันธ์บนแผนภาพต่าง ๆ ไปเทียบกับความละเอียดหน้าจอขนาดต่าง ๆ ได้และสามารถหาความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมทั้งในด้านการใช้งานและด้านความสวยงามได้

## เอกสารอ้างอิง

- Carlos Fernandez-Basso, M. Dolores Ruiz, Miguel Delgado, Maria J. Martin-Bautista. (2019). A comparative analysis of tools for visualizing association rules: A proposal for visualising fuzzy association rules. In 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology. 520-527
- Edward M. ReinGold and John S. Tilford. (1981). Tidier Drawings of Trees. IEEE Transactions on Software Engineering. VOL. SE-7. 223-228.
- Michael Hahsler. (2017). arulesViz: Interactive Visualization of Association Rules with R. The R Journal Vol. 9.163-175
- Mike Bostock. (2019). D3.js. Retrieved 5 May 2020 from <https://d3js.org/>
- Rakesh Agrawal, Tomasz Imielinski, Arun Swami. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '93. 207-216
- Ronny Kohavi and Barry Becker. (1996). Adult Data Set. Retrieved 5 May 2020 from <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Adult>.

**ตารางที่ 1** เวลาและหน่วยความจำสูงสุดที่ใช้สร้างแผนภาพทั้งสี่จากจำนวนกฎความสัมพันธ์ต่าง ๆ บนขนาดแสดงผล 800 x 600 พิกเซล

จำนวนกฎ	เวลาที่ใช้ในการสร้างแผนภาพ (มิลลิวินาที)				หน่วยความจำสูงสุดที่ใช้ในการสร้างแผนภาพ (เมกะไบต์)			
	ทิดดี้ทรี (tidy tree)	เดนโตรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิดดี้ทรี (radial tidy tree)	เรเดียลเดนโตรแกรม (radial dendrogram)	ทิดดี้ทรี (tidy tree)	เดนโตรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิดดี้ทรี (radial tidy tree)	เรเดียลเดนโตรแกรม (radial dendrogram)
200	169	181	368	318	8.4	9.4	11.2	11.1
400	280	270	766	683	9.7	12.9	12.9	12.2
600	403	349	1085	1022	11.9	14.7	13.5	13.1
800	606	591	1717	1870	13.6	16.9	17.2	15.4
1000	719	676	2186	2043	14.9	17.1	21.1	16.9

**ตารางที่ 2** ภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงามบนแผนภาพทั้งสี่ที่แสดงผลจำนวนกฎความสัมพันธ์ต่าง ๆ บนขนาดแสดงผล 800 x 600 พิกเซล (ให้สัญลักษณ์ + แทนพบความเป็นภัยต่อการใช้งาน ⊕ แทนพบความเป็นภัยต่อความสวยงาม O แทนไม่พบความเป็นภัย)

จำนวนกฎ	ทิดดี้ทรี (tidy tree)	เดนโตรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิดดี้ทรี (radial tidy tree)	เรเดียลเดนโตรแกรม (radial dendrogram)
200	⊕	+ ⊕	⊕	⊕
400	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕
600	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕
800	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕
1,000	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕	+ ⊕

ตารางที่ 3 พื้นที่แสดงผลต่ำสุดที่ไม่พบการซ้อนทับที่เป็นภัยต่อการใช้งานและภัยต่อความสวยงาม

จำนวน กฎ	พื้นที่แสดงผลที่ไม่พบความเป็นภัยต่อการใช้งาน (พิกเซลในแนวกว้าง x พิกเซลในแนวสูง)				พื้นที่แสดงผลที่ไม่พบความเป็นภัยต่อความสวยงาม (พิกเซลในแนวกว้าง x พิกเซลในแนวสูง)			
	ทิต์ทรี (tidy tree)	เดนไดรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิต์ทรี (radial tidy tree)	เรเดียลเดนไดร แกรม (radial dendrogram)	ทิต์ทรี (tidy tree)	เดนไดรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิต์ทรี (radial tidy tree)	เรเดียลเดนไดร แกรม (radial dendrogram)
200	800x 600	800x 700	800x 600	800x 600	800x 700	800x 1300	800x 800	800x 800
400	800x 800	800x 1300	1000x 1000	1000x 1000	800x 1600	800x 2600	1400x 1400	1700x 1700
600	800x 1200	800x 1900	1300x 1300	1400x 1400	800x 2300	800x 3700	1900x 1900	2200x 2200
800	800x 1700	800x 2600	2000x 2000	1900x 1900	800x 3300	800x 5200	2900x 2900	3000x 3000
1000	800x 2000	800x 3200	2100x 2100	2200x 2200	800x 6400	800x 6400	3500x 3500	3600x 3600

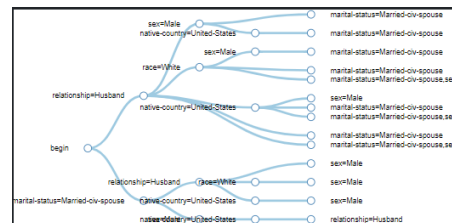
ตารางที่ 4 ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมในการแสดงกฎความสัมพันธ์ด้วยแผนภาพทั้งสี่ด้านความเหมาะสมด้านการใช้งาน และด้านความสวยงาม

จำนวน กฎ	ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านการใช้งาน (พิกเซลในแนวกว้าง x พิกเซลในแนวสูง)				ความละเอียดหน้าจอที่เหมาะสมด้านความสวยงาม (พิกเซลในแนวกว้าง x พิกเซลในแนวสูง)			
	ทิตตี้ (tidy tree)	เดนไดรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิตตี้ (radial tidy tree)	เรเดียลเดนไดรแกรม (radial dendrogram)	ทิตตี้ (tidy tree)	เดนไดรแกรม (dendrogram)	เรเดียลทิตตี้ (radial tidy tree)	เรเดียลเดนไดรแกรม (radial dendrogram)
200	1366x 768	1366x 768	1366x 768	1366x 768	1366x 768	2560x 1400	1600x 900	1600x 900
400	1600x 900	2560x 1400	1680x 1050	1680x 1050	3840x 2160	7680x 4320	2560x 1400	3840x 2160
600	1920x 1200	3840x 2160	2560x 1400	2560x 1400	7680x 4320	7680x 4320	3840x 2160	7680x 4320
800	3840x 2160	7680x 4320	3840x 2160	3840x 2160	7680x 4320	-	7680x 4320	7680x 4320
1000	3840x 2160	7680x 4320	3840x 2160	7680x 4320	-	-	7680x 4320	7680x 4320

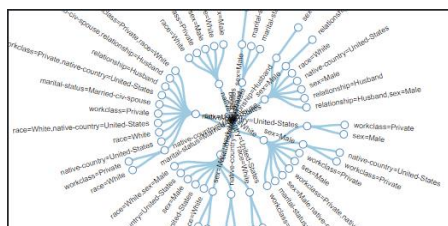
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่มีหน้าจอที่มีความละเอียดเหมาะสมในการแสดงผล



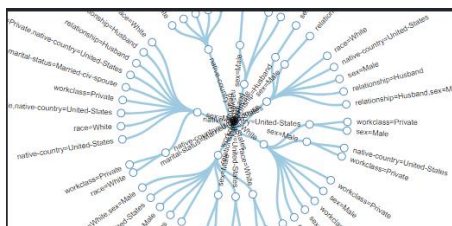
(ก)



(ข)



(ค)



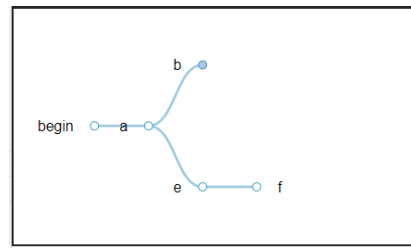
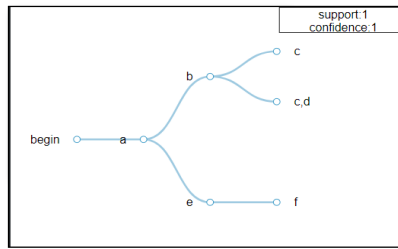
(ง)

ภาพที่ 1 (ก) แผนภาพทิตตี้

(ข) แผนภาพเดนไดรแกรม

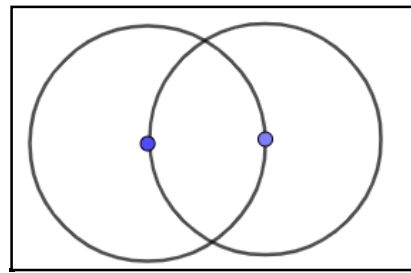
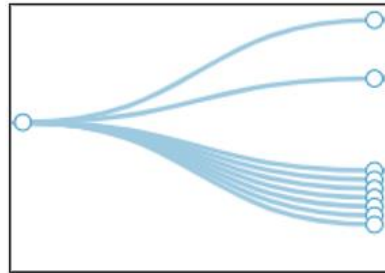
(ค) แผนภาพเรเดียลทิตตี้

(ง) แผนภาพเรเดียลเดนไดรแกรม



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

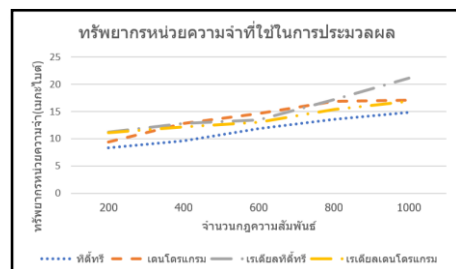
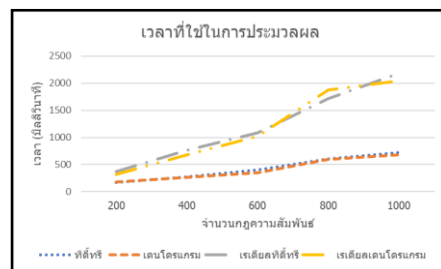
ภาพที่ 2

(ก) การแสดงผลกฎความสัมพันธ์ 3 กฎ

(ข) การซ้อนโหนดบนแผนภาพ

(ค) การซ้อนทับของโหนด

(ง) การซ้อนทับกันของโหนดที่จุดศูนย์กลาง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3 (ก) กราฟเส้นแสดงการใช้เวลาของแผนภาพทั้งสี่ในการแสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวนต่าง ๆ บนขนาดแสดงผล 800x600 (แกน x แสดงจำนวนกฎ แกน y แสดงเวลาที่ใช้)

(ข) กราฟเส้นแสดงการใช้ทรัพยากรหน่วยความจำของแผนภาพทั้งสี่ในการแสดงผลกฎความสัมพันธ์จำนวนต่าง ๆ บนขนาดแสดงผล 800x600 (แกน x แสดงจำนวนกฎ แกน y แสดงหน่วยความจำที่ใช้)

# การพัฒนาปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบง่าย เพื่อการปรับปรุงหลังคาของที่พักอาศัย

## Development of a simple solar chimney configuration to retrofit roofs of residence building

รณภพ ภู่อพร<sup>1</sup>, นุภาพ แย้มไทรพัฒน์<sup>2</sup>, โจเซฟ เคดารี<sup>3</sup>, สุเมธ สติตบุญอนันต์<sup>4</sup>, ปรีดา จันทวงษ์<sup>4</sup>  
Ronaphop Propane<sup>1</sup>, Nuparb Yamtraipat<sup>2</sup>, Joseph Khedari<sup>3</sup>, Sumate Sathitbun-anan<sup>4</sup>, Preeda Chantawong<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการระบายอากาศของบ้านที่พักอาศัยโดยใช้ปล่องระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทย ปล่องระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการออกแบบอย่างง่ายเพื่อสะดวกต่อการดูแลรักษา โดยลักษณะโครงสร้างปล่องระบายอากาศ มีความยาว 0.55 เมตร ความกว้าง 0.52 เมตร และความสูง 0.2 เมตร มีช่องลมเข้าและช่องลมออกขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ความยาว 0.4 เมตร มีฝาปิดด้านบนเป็นกระจกใสมีความหนา 5 มิลลิเมตรและขนาดพื้นที่เท่ากับ 0.52 เมตร x 0.5 เมตร ผนังตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งสี่ด้านเป็นสังกะสีเบอร์ 25 มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร สำหรับบ้านจำลองสร้างจากผนังคอนกรีตมวลเบาแบบบอบไอน้ำฉาบปูนผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน และบนผนังทาสีภายนอกด้วยสีขาว มีขนาด ความกว้าง 1.20 เมตร ความยาว 1.20 เมตร และมีความสูง 2.06 เมตร หลังคากระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)และหลังคากระเบื้องดินเผาติดตั้งแบบทรงโมเดิร์น หลังคาเอียง 25 องศา กับพื้นราบตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันออก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ กับ บ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศบนหลังคากระเบื้องลอนคู่ และ หลังคากระเบื้องดินเผา ผลการศึกษาทดลอง จะพบว่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลองหลังคากระเบื้องทั่วไปมีอุณหภูมิสูงกว่าบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)และบ้านจำลองหลังคากระเบื้องดินเผาที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศประมาณ 3 - 5.6 องศาเซลเซียส เนื่องจากบ้านจำลองที่หลังคาติดตั้งปล่องระบายอากาศช่วยระบายอากาศได้ดี ช่วยประหยัดพลังงานและส่งเสริมในการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ รักษาสิ่งแวดล้อมได้ อีกทางหนึ่ง

**คำสำคัญ** ปล่องระบายอากาศด้วยแสงอาทิตย์ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ พลังงานแสงอาทิตย์

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

Energy Engineering Technology program, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร 10530 ประเทศไทย

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, 10530, Thailand.

<sup>3</sup> ศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี 10170 ประเทศไทย

Professor, Bangkokthonburi University 10170, Thailand.

<sup>4</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย  
Energy Engineering Technology program, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand.

## Abstract

This paper has studied and compared the ventilation of the residence house by using the solar chimney under the weather conditions in Thailand. The solar chimney has a simple design for easy maintenance. The solar chimney structure is 0.55 meters length, 0.52 meters width and 0.2 meters height. There is an air inlet and outlet, 0.1 meters width, 0.4 meters length, with a clear glass top cover with 5 millimeters thick and an area of 0.52 m x 0.5 m. The wall of the solar collector all four sides is zinc number 25 with 5 millimeters thick. The dimensions of model-house are 1.20 meters width, 1.20-meter length and 2.06 meters height. Double roof tile (cement) and clay tile roof installed in a modern style, the roof is tilted 25 degrees to the ground and to set facing east. The model-houses constructed from general materials for comparison the performance between the ventilation tiles roof (cement) without the solar chimney and the solar chimney on double tiles roof (cement) and the solar chimney on the clay tile roof with ventilated chimney installation. The results of the experiment show that the temperature inside the conventional tile roof house is higher than the double roof tile (cement) house and the clay tile roof model house which installed ventilation solar chimney around 3.0 - 5.6°C. Because, the model-house which the roof is installed ventilation solar chimney helps ventilate well, help energy saving promote the solar energy using and the environment friendly.

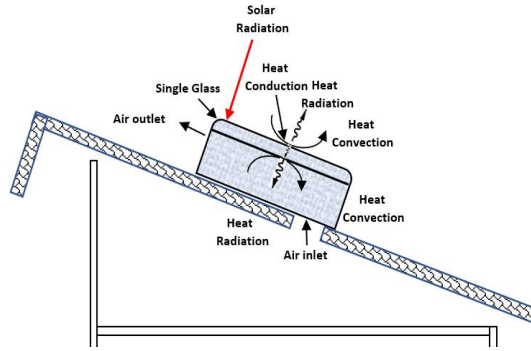
**Keywords:** Solar chimney, Natural ventilation, Solar energy

## บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นมีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนสลับฝนตลอดปี มีค่าอุณหภูมิและความชื้นสูงประมาณ 32-38°C และ 59 -100% ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ 17 MJ/m<sup>2</sup>.day[1] ที่มาตกกระทบบนผิวกระเบื้องหลังคาของบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย ก่อให้เกิดการสะสมและถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างเข้าสู่ภายใน ทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาความร้อนที่สะสมในบ้านหรืออาคารสมัยใหม่ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อความรู้สึกสบายของผู้พักอาศัย ดังนั้นการแก้ปัญหาโดยส่วนใหญ่

ใช้เครื่องปรับอากาศทางกลเพื่อลดอุณหภูมิภายในเกิดภาวะความสบายทางความร้อนส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการปรับอากาศร้อยละ 60 อุปกรณ์แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ร้อยละ 40 [2-4] และที่ผ่านมามีต่างประเทศและประเทศไทยได้ทำการศึกษาปัญหาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่พักอาศัยโดยนำระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติแบบต่างๆ[2] มาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว เช่น ปล่องกระจกระบายอากาศแบบธรรมชาติ ผนังระบายอากาศและปล่องหลังคาระบายอากาศแบบธรรมชาติ





รูปที่ 1 หลักการทำงานและการถ่ายเทความร้อนผ่านปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบง่ายเพื่อการปรับปรุงหลังคาของที่พักอาศัยภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยและศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนระหว่างบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) ทั่วไปกับบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) และบ้านจำลองหลังคากระเบื้องดินเผา ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศ ข้อดีของปล่องระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการออกแบบอย่างง่ายเพื่อสะดวกต่อการดูแลรักษา และหลักการทำงานของ

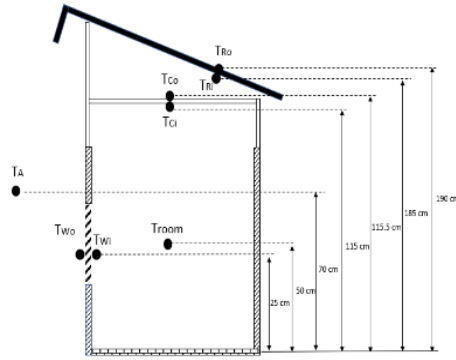
ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย เมื่อรังสีอาทิตย์ส่องผ่านกระจกชั้นนอก มีตกรกระทบผิวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่งรังสีของปล่องรังสีอาทิตย์ เกิดการสะสมความร้อน เกิดการพาและแผ่ความร้อนจากผนังด้านในของปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้อากาศภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการเหนี่ยวนำความร้อน ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นด้านบนและออกไปสู่แวดล้อมที่บริเวณทางออกของปล่อง และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะเข้ามาแทนที่ (ดังแสดงจากรูปที่ 1) ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในบ้านจำลองลดลง



ก. บ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ ข. บ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศบนหลังคากระเบื้องลอนคู่

ค. บ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศบนหลังคากระเบื้องดินเผา

รูปที่ 2 บ้านจำลองที่ใช้ทดสอบติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย

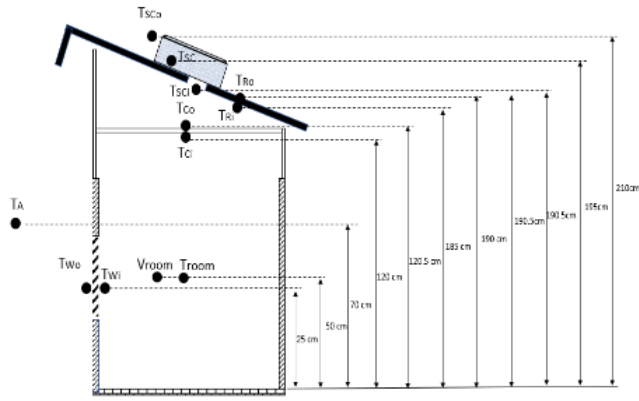


รูปที่ 3 การติดตั้งเครื่องวัดของบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ทั่วไป (ซีเมนต์)

### อุปกรณ์และวิธีการ

บ้านจำลองสร้างขึ้น ณ ตำบลระแหง อำเภอ ลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ทำการศึกษาการ ระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยใช้ปล่องระบาย อากาศแสงอาทิตย์แบบง่าย บ้านจำลองมีลักษณะ โครงสร้างประกอบด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบ ใอน้ำฉาบปูนผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน และบนผนังทาสี ภายนอกด้วยสีขาว และขนาดพื้นที่ของผนังแต่ละด้าน เท่ากับ 1.2 m x 1.2 m ความหนา 10 cm สำหรับ โครงสร้างหลังคาใช้กระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)เอียงทำ มุม 25 องศา และมีพื้นที่ของหลังคาบ้านจำลองมีขนาด 1.55 m x 1.63 m และมีเพดานผ้าเป็นแผ่นยิปซัมหนา 0.1 cm บ้านจำลองมีประตูขนาด 74 cm ความสูง 90 cm ซึ่งติดตั้งอยู่ทางทิศเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ การทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับหลังคากระเบื้อง ดินเผา โดยกระเบื้องดินเผามีขนาด 33 cm x 42 cm นอกจากนี้บ้านจำลองยังได้ทำการติดตั้งบานเกล็ด ขนาด 45 cm x 61 cm ปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์แบบง่ายที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะ

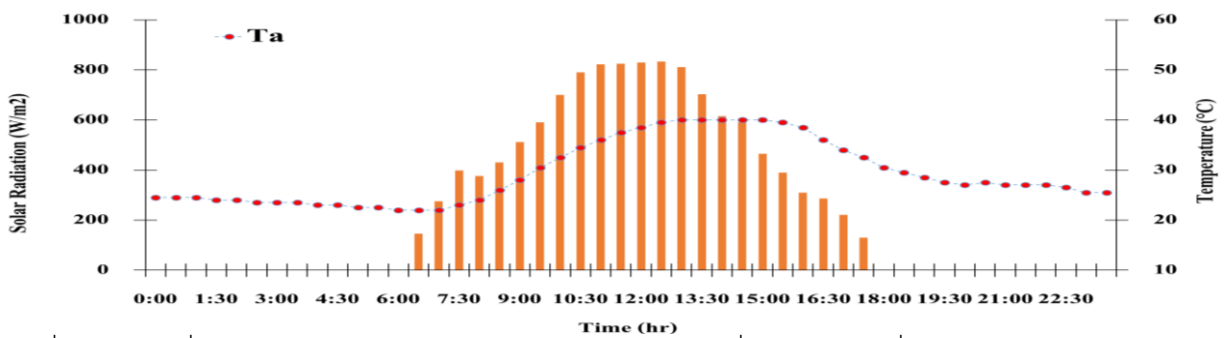
โครงสร้างดั่งนี้ผนังด้านข้างแต่ละด้านทำด้วยสังกะสี เบอร์ 25 มีความหนา 0.5 mm โดยปล่องมีขนาด ความยาว 0.55 m กว้าง 0.52 m สูง 0.2 m มีช่องลม เข้าและช่องลมออกขนาดความกว้าง 0.1m ยาว 0.4 m และฝาปิดด้านบนเป็นกระจกใสหนา 5 mm รับความ ร้อนจากรังสีอาทิตย์ ขนาดความกว้าง 0.35 m ยาว 0.55 m ทำการทดลองภายใต้สภาวะอากาศปกติและ เก็บบันทึกข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิ ค่า ความเร็วลมและความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ จากช่วง มกราคม 2562 ถึง 2563 โดยติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ค่าความคลาดเคลื่อน +/-0.4% วัดอุณหภูมิ ตามจุดต่างๆ ของบ้านจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 2 – 4 เครื่องวัดค่าความเร็วลมแบบมือถือ วัดโดย Amprobe TM-21 HW Anemometer สามารถวัดความเร็วลม (m/s) อยู่ในช่วง 0.10-30.00 m/s และค่าความเข้ม แสงของรังสีอาทิตย์ วัดโดย ไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ Kimo CR110 ช่วงการวัด 0-1500 W/m<sup>2</sup> ค่าความคลาด เคลื่อน + 5 %



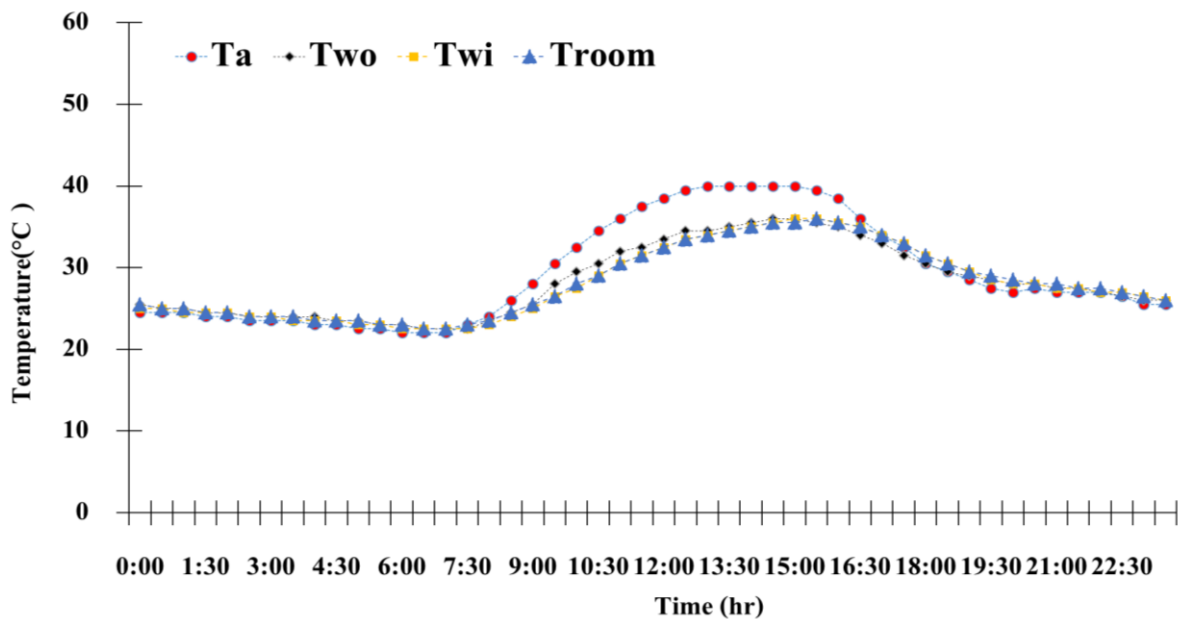
รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องวัดของบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) และบ้านจำลองหลังคากระเบื้องดินเผาที่ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย

### ผลการทดลองและวิจารณ์

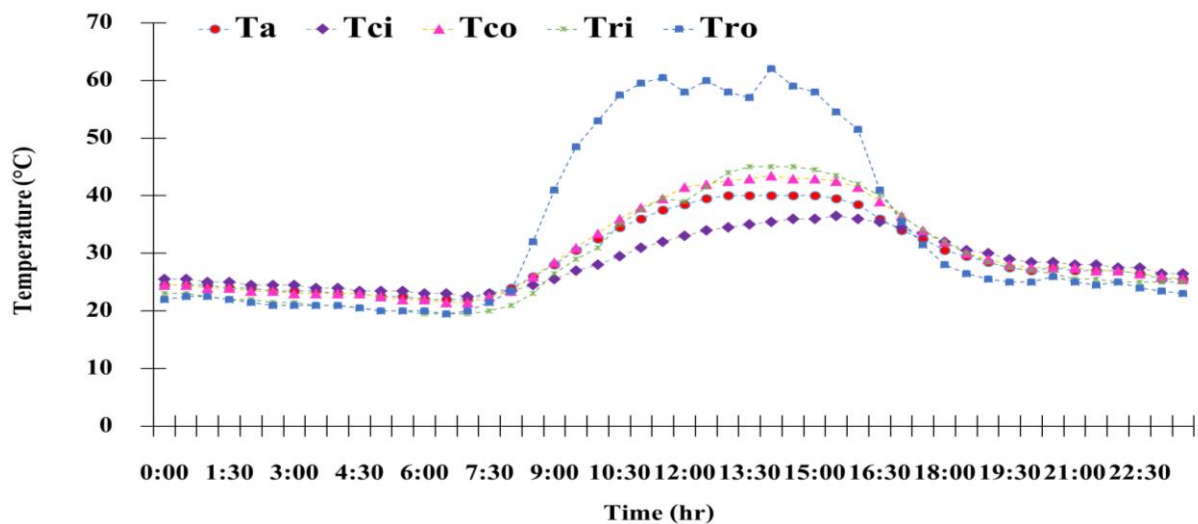
การทดสอบบ้านจำลองแบบที่ 1 บ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)ไม่ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (วันที่ 17 ธันวาคม 2562)



รูปที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Twa, Twi, Trooom ของบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ทั่วไป (ซีเมนต์) (วันที่ 17 ธันวาคม 2562)

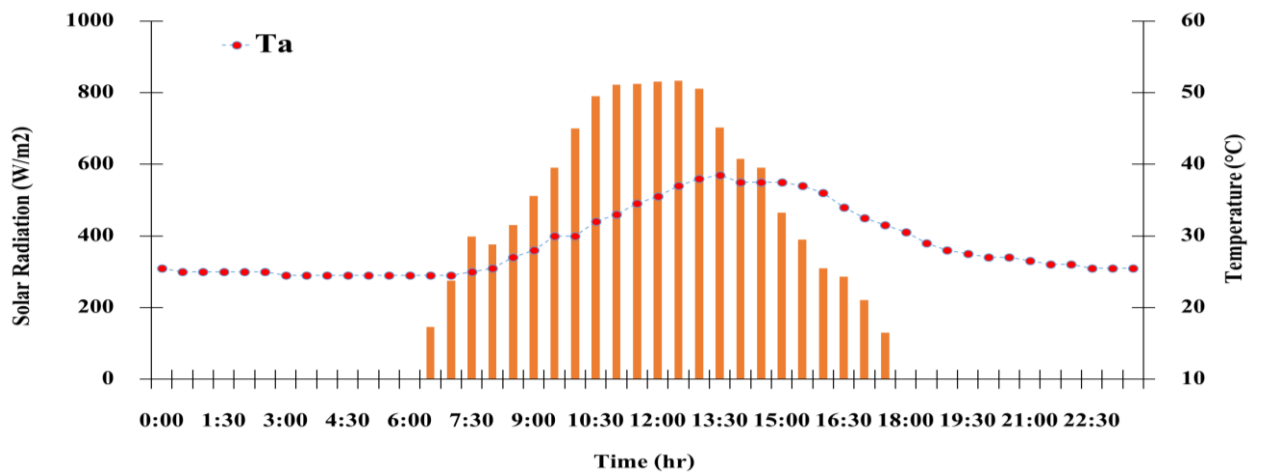


รูปที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ ของ Ta, Tci, Tco, Tri, Tro ของบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ทั่วไป (ซีเมนต์) (วันที่ 17 ธันวาคม 2562)

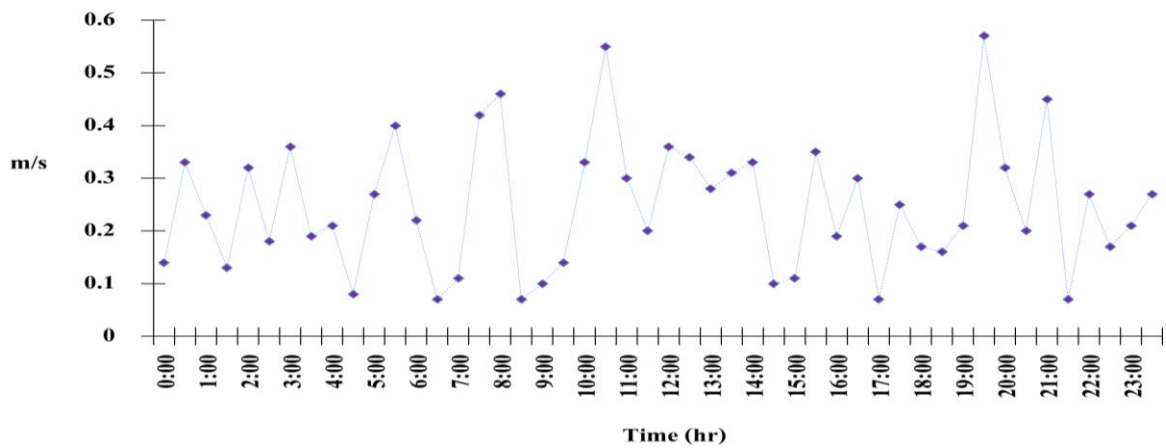
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้านจำลองแบบที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายนอก (Ta) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเริ่มตั้งแต่เวลา 7:00 น. และมีค่าอุณหภูมิสูงสุด 40 °C ช่วงเวลา 13:00 น.- 15:00 ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์มีค่าประมาณ 129.1-833.2 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิของอากาศทางเข้าบ้านเกล็ด (Two) มีค่าสูงสุด 40 °C ช่วงเวลา 14:30 น.- 15:00 และอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านบริเวณบานเกล็ด (Twi) ช่วงเวลา 8:00 น.-15:30 น. มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศทางเข้าบ้านเกล็ด (Two) เล็กน้อย อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านบริเวณบานเกล็ด (Twi) เนื่องจากอยู่ภายในบ้านจำลอง ค่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) เมื่อพิจารณาที่เวลาเดียวกัน ค่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก (Ta) และ

อุณหภูมิของของอากาศภายนอกบริเวณหน้าบานเกล็ด (Two) ค่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) สูงสุด 36 °C เวลา 15:30 น.การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฝ้าด้านในของบ้านจำลอง (Tci) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (Ta) และอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) ได้รับความร้อนของอากาศที่อยู่ภายในห้องใต้หลังคา การแผ่ความร้อนนี้เกิดจากหลังคาได้รับรังสีอาทิตย์ทำให้กระเบื้องหลังคาดูดกลืนความร้อนและคายความร้อนสู่อากาศใต้ห้องหลังคา อุณหภูมิของฝ้าด้านในของบ้านจำลอง (Tci) มีค่าสูงสุด 36.5 °C เวลา 15:30 น. และอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) มีค่าสูงสุด 43.5 °C เวลา 14:00 น. อุณหภูมิของหลังคาภายใน (Tri) มีค่าสูงสุด 45 °C เวลา 13:30 น.- 14:00 และอุณหภูมิของหลังคาภายนอก (Tro) ค่าสูงสุด 62 °C เวลา 14:00 น.

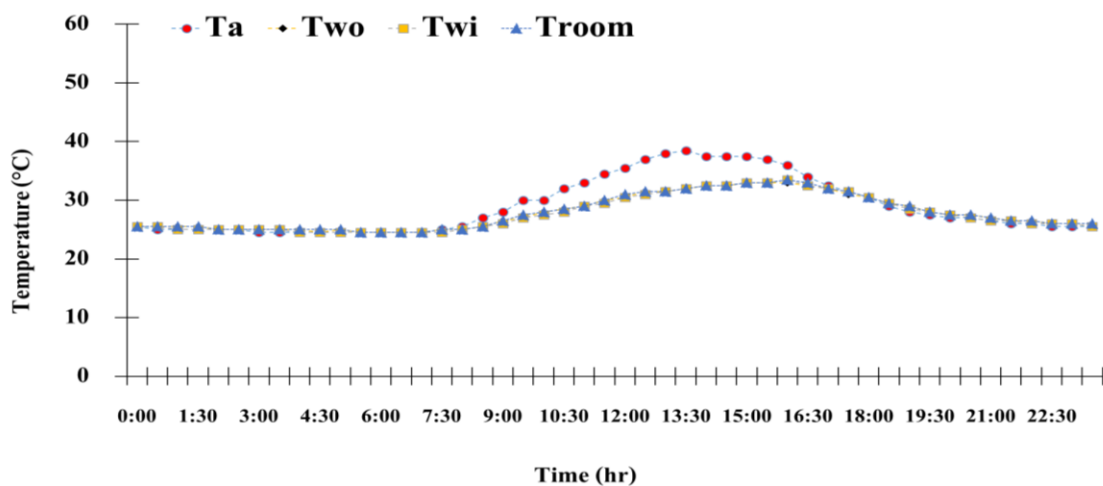
### การทดสอบบ้านจำลองแบบที่ 2 บ้านจำลองบ้านจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์



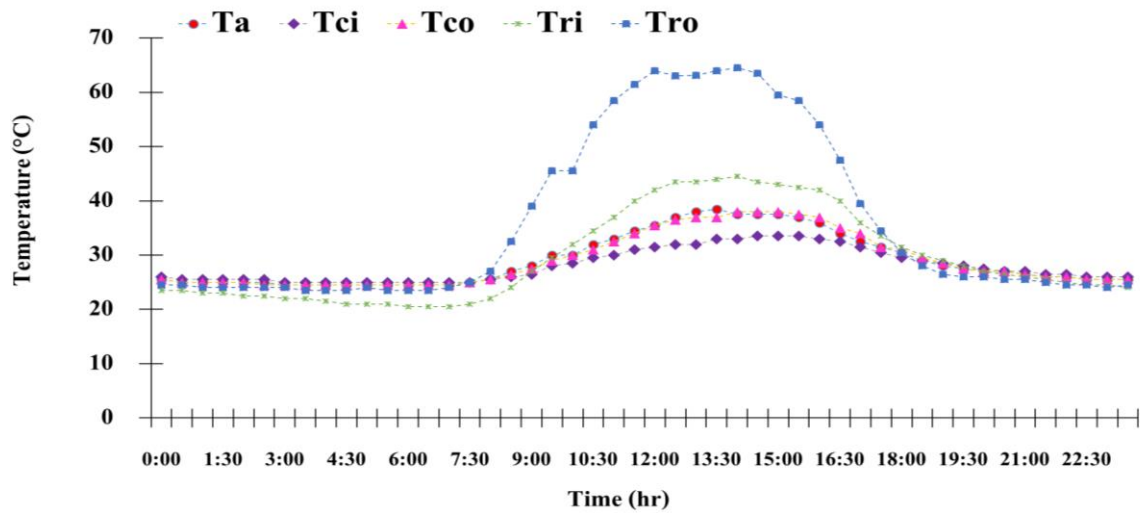
รูปที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ta) ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์บนกระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์) (วันที่ 14 มกราคม 2563)



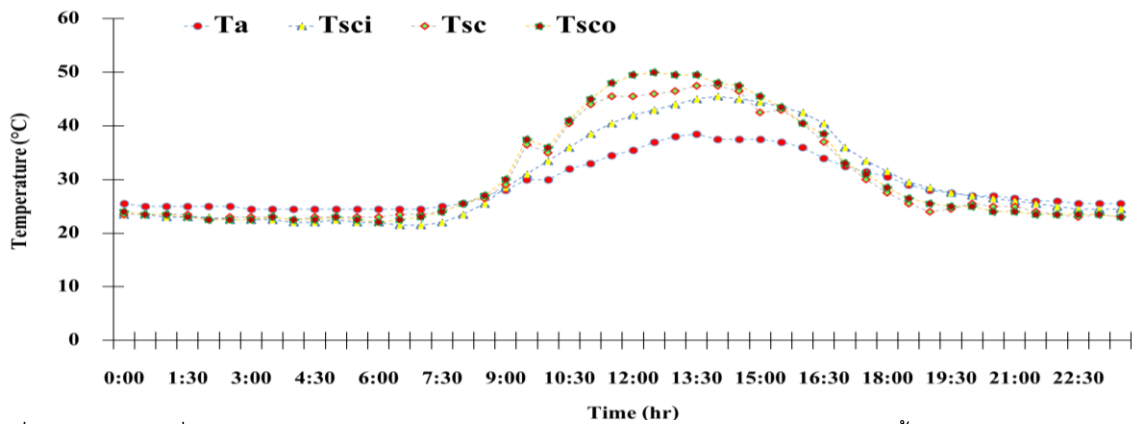
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมภายในบ้านจำลอง (วันที่ 14 มกราคม 2563)



รูปที่ 10 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Two, Twi, Troom ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์บนกระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) (วันที่ 14 มกราคม 2563)



รูปที่ 11 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Tci, Tco, Tri, Tro ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์บนกระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) (วันที่ 14 มกราคม 2563)



รูปที่ 12 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Tsci, Tsc, TSCO ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์บนกระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) (วันที่ 14 มกราคม 2563)

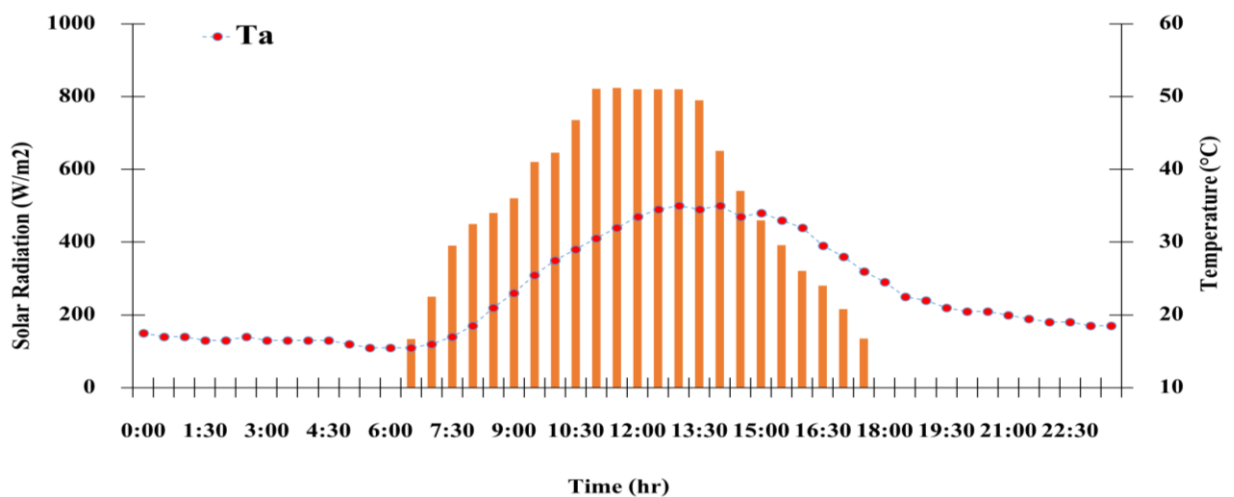
ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้านจำลองแบบที่ 2 อุณหภูมิของอากาศภายนอก (Ta) มีสูงสุดประมาณ 34°C-38.5°C เวลา 13:30 น.-16:30 น. ความเข้มของรังสีอาทิตย์มีค่าประมาณ 133.3-830.2 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิของอากาศทางเข้าบานเกล็ด (Two) ใกล้เคียงกันอย่างมากกับอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านบริเวณบานเกล็ด (Twi) และอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) เนื่องจากมีการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบง่ายที่สามารถช่วยระบายอากาศภายในบ้านจำลองได้ อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) มีค่าสูงสุด

ประมาณ 32.5-33.5 °C เวลา 13:30 น.-16:30 น. ความเร็วลมภายในห้องทดลอง (Vroom) ประมาณ 0.1-0.54 m/s การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฝ้าด้านในของบ้านจำลอง (Tci) และอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) ได้รับความร้อนของอากาศที่อยู่ภายในห้องใต้หลังคา การแผ่ความร้อนนี้เกิดจากหลังคาได้รับรังสีอาทิตย์ทำให้กระเบื้องหลังคาดูดกลืนความร้อนและคายความร้อนสู่อากาศใต้ห้องหลังคา อุณหภูมิของฝ้าด้านในของบ้านจำลอง (Tci) มีค่าสูงสุด 33.5 °C เวลา 14:30 น.-15:30 น. และอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) มี

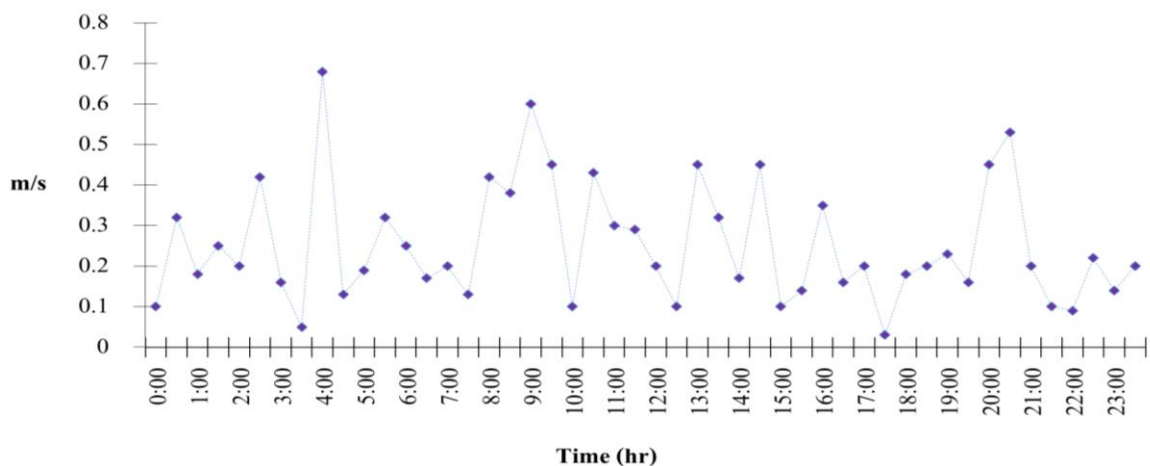
ค่าสูงสุด 37.5 °C-38 °C เวลา 14:30 น.-15:30 น. อุณหภูมิของหลังคาภายใน (Tri) มีค่าสูงสุด 42°C-44.5°C เวลา 12:00 น.- 16:00 น. และอุณหภูมิของหลังคาภายนอก (Tro) ค่าสูงสุด 64.5 °C เวลา 14:00 น. อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Tsci) มีค่าสูงประมาณ 43°C-45.5 °C เวลา 12:30 น.-15:30 น. อุณหภูมิอากาศภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Tsc) 45.5°C-47.5 °C และวัดอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออก

ของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (TSCO) 47.5°C-50 °C อากาศภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์เมื่อกระจกและสังกะสีโดนแดดจะทำให้อากาศในภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ร้อนขึ้น ลอยตัวขึ้นซึ่งอากาศภายในปล่องที่มีอุณหภูมิสูงทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเหนียวทำให้เกิดการระบายอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นด้านบน และไหลออกไปทางช่องอากาศออกด้านบนจากนั้นดึงอากาศที่เย็นกว่าจากช่องอากาศเข้าภายนอกมาแทนที่

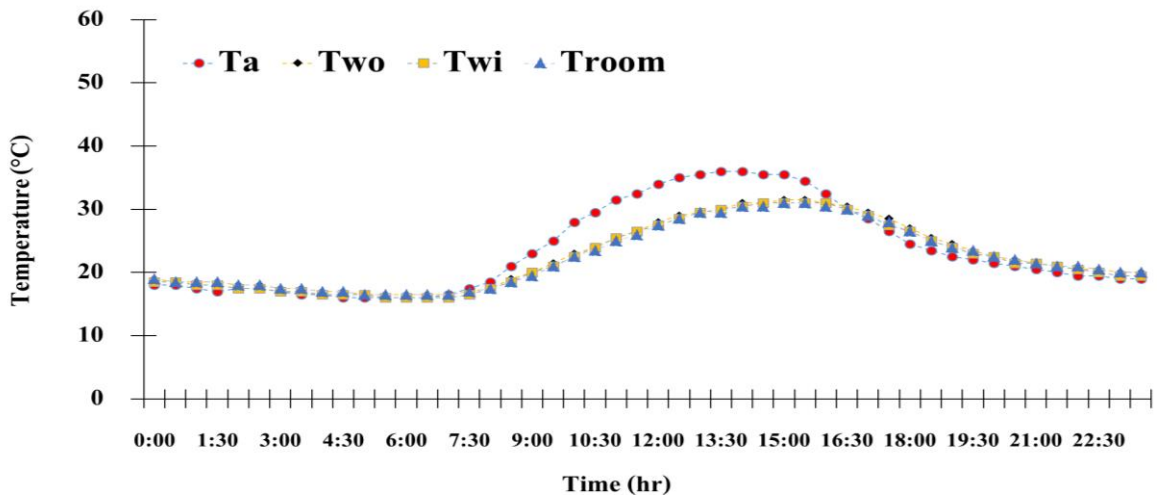
การทดสอบบ้านจำลองแบบที่ 3 บ้านจำลองหลังคากระเบื้องดินเผาติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์



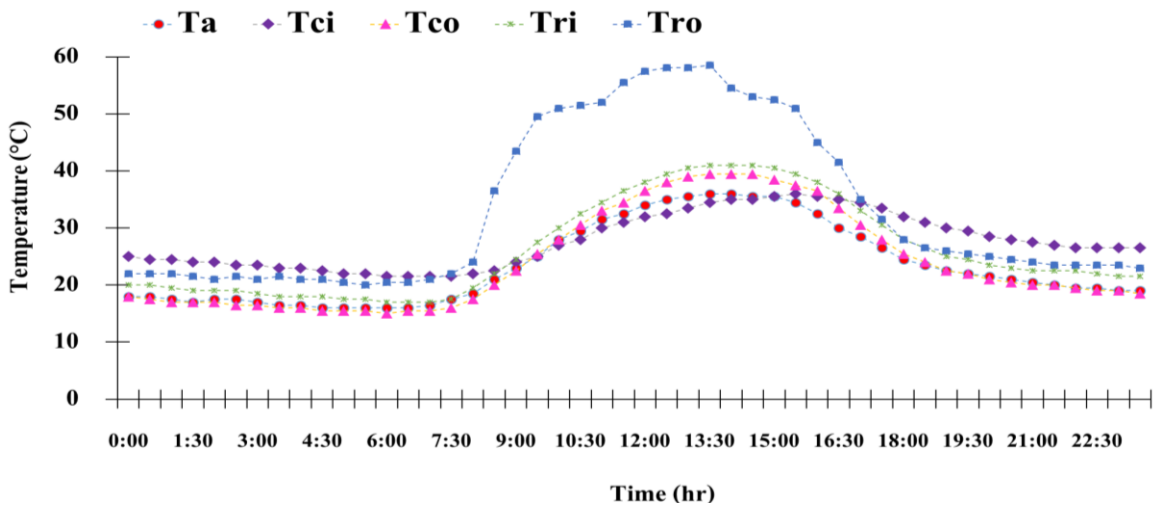
รูปที่ 13 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ta) ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องดินเผา (วันที่ 21 มกราคม 2563)



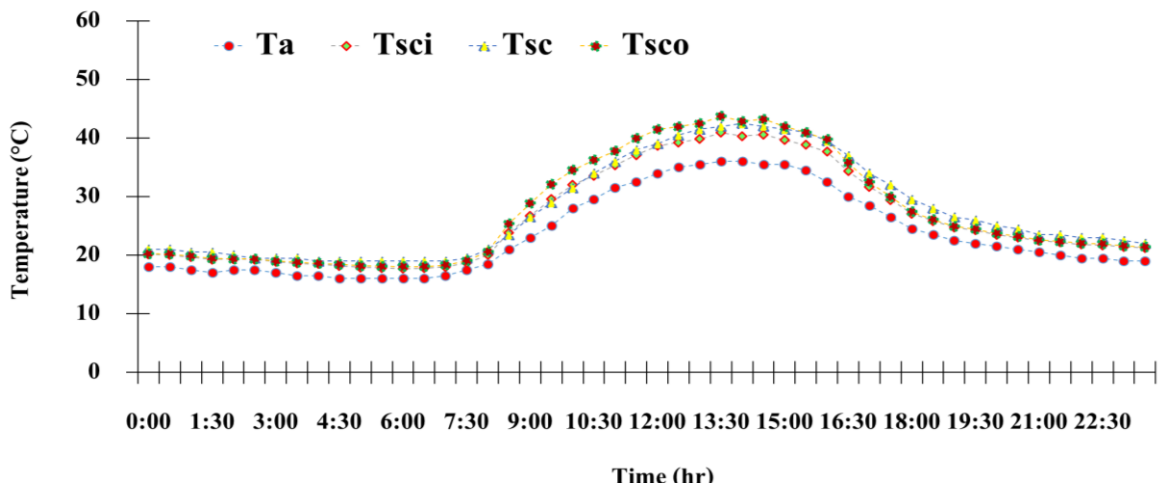
รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมภายในบ้านจำลอง (วันที่ 21 มกราคม 2563)



รูปที่ 15 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Two, Twi, Troom ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องดินเผา (วันที่ 21 มกราคม 2563)



รูปที่ 16 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Tci, Tco, Tri, Tro ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องดินเผา (วันที่ 21 มกราคม 2563)



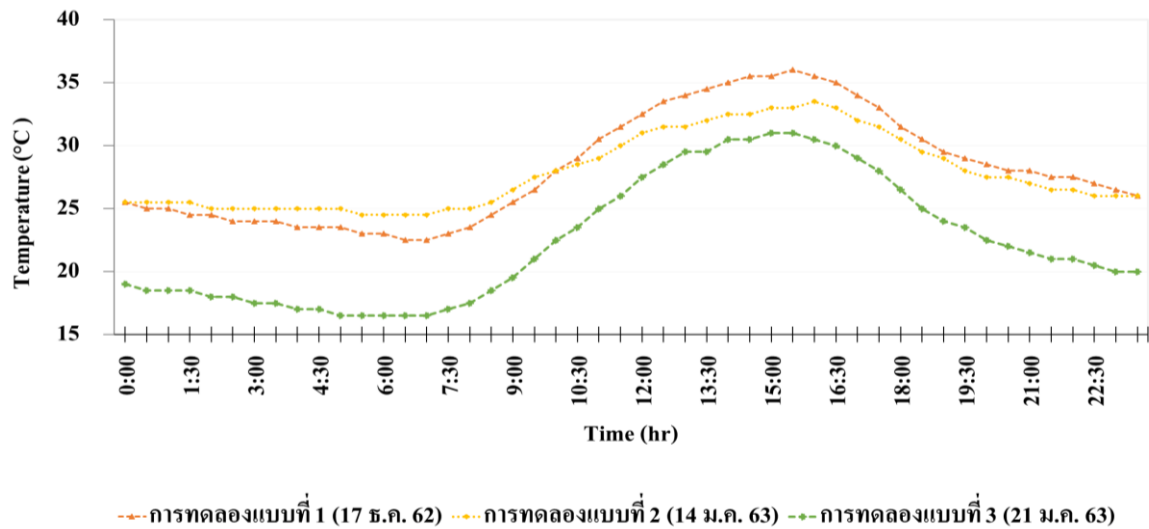


รูปที่ 17 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Ta, Tsci, Tsc, Tsc0, ของบ้านจำลองแบบติดตั้งปล่องระบายอากาศ แสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องดินเผา (วันที่ 21 มกราคม 2563)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้านจำลองแบบที่ 3 อุณหภูมิของอากาศภายนอก (Ta) มีสูงสุดประมาณ 32.5°C-36.5°C เวลา 11:30 น.-16:00 น. ความเข้มของรังสีอาทิตย์มีค่าประมาณ 132.3-825 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิของอากาศทางเข้าบานเกล็ด (Two) มีสูงสุดประมาณ 29°C-31.5°C เวลา 12:30 น.-16:30 อุณหภูมิของอากาศภายในบ้านบริเวณบานเกล็ด (Twi) มีสูงสุดประมาณ 29°C-31.5°C เวลา 13:30 น.-16:30 และอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) สูงสุดประมาณ 28.5°C-31°C เวลา 12:30 น.-16:00 น. ความเร็วลมภายในห้องทดลอง (Vroom) ประมาณ 0.05-0.68 m/s การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของบ้านจำลอง (Tci) และอุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) ได้รับความร้อนของอากาศที่อยู่ภายในห้องใต้หลังคา การแผ่ความร้อนนี้เกิดจากหลังคาได้รับรังสีอาทิตย์ทำให้กระเบื้องหลังคาดูดกลืนความร้อนและคายความร้อนสู่อากาศใต้ห้องหลังคา อุณหภูมิของฝ้าด้านบนของบ้านจำลอง (Tci) มีค่าสูงสุดประมาณ 33.5°C-36°C เวลา 13:00 น.-17:00 น. และ

อุณหภูมิของฝ้าด้านบนของห้องใต้หลังคา (Tco) มีค่าสูงสุด 36.5 °C-39.5 °C เวลา 12:00 น.-16:00 น. อุณหภูมิของหลังคาภายใน (Tri) มีค่าสูงสุด 38 °C-41 °C เวลา 12:00 น.-16:00 น. และอุณหภูมิของหลังคาภายนอก (Tro) ค่าสูงสุด 45°C-58.5°C เวลา 12:00 น.-16:00 น. อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Tsci) มีค่าสูงประมาณ -37.7°C- 40.9 °C เวลา 12:00 น.-16:00 น. อุณหภูมิอากาศภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Tsc) 40.5°C- 42.5 °C เวลา 12:30 น.-15:30 น. และวัดอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Tsc0) 41°C- 43.7 °C เวลา 12:00 น.-15:30 น. อากาศภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ เมื่อกระจกและสังกะสีโดนแดดจะทำให้อากาศในภายในปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ร้อนขึ้น ลอยตัวขึ้นซึ่งอากาศภายในปล่องที่มีอุณหภูมิสูงทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นด้านบนและไหลออกไปทางช่องอากาศออกด้านบนจากนั้นดึงอากาศที่เย็นกว่าจากช่องอากาศเข้าภายนอกมาแทนที่

### การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบการทดลอง



รูปที่ 18 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในห้องทดลอง T(room) ของแต่ละวัน

จากการทดลองเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิโดยการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในแบบบ้านจำลองการทดลองที่ 1 เป็นบ้านจำลองแบบไม่มีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) ในวันที่ 17 ธันวาคม 2562 การทดลองที่ 2 ทำการทดลองกับบ้านจำลองแบบมีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) ในวันที่ 14 มกราคม 2563 และการทดลองที่ 3 ทำการทดลองกับบ้านจำลองแบบมีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องดินเผา ในวันที่ 21 มกราคม 2563 พบว่า อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากการระบายอากาศที่ต่างกัน การทดลองแบบที่ 1 ค่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง

มีค่าสูงกว่าแบบการทดลองที่ 2 และ 3 เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศ การทดลองแบบที่ 2 ได้มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศโดยปล่องทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนทำอากาศเกิดการไหลเวียนของอากาศจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ การไหลเวียนของอากาศที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) มีค่าลดลง ส่วนการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งแตกต่างจากการทดลองแบบที่ 2 คือหลังคาที่ใช้เป็นหลังคากระเบื้องดินเผา การดูดกลืนความร้อนมีค่าน้อยกว่าหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) และเนื่องจากดินมีลักษณะเป็นรูพรุนจึงการระบายอากาศที่ดี จากกราฟพบว่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Troom) แบบที่ 3 มีค่าต่ำกว่าการทดลองแบบที่ 1 และ 2

## สรุป

จากการวิจัยพบว่า ในช่วงเวลาที่อากาศร้อนมากที่สุดของแต่ละวันที่ทำการทดลองคือช่วงเวลา 12:00 น. ถึงเวลา 16:00 น. บ้านจำลองแบบไม่มีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 34.4 องศาเซลเซียส บ้านจำลองแบบที่มีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องลอนคู่ (ซีเมนต์) มีอุณหภูมิของอากาศ

ภายในบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 31.4 องศาเซลเซียส และบ้านจำลองแบบที่มีปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์บนหลังคากระเบื้องดินเผา มีอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 29.3 องศาเซลเซียส จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง แบบที่ 3 น้อยกว่า บ้านจำลองแบบที่ 2 และ บ้านจำลองแบบที่ 1

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

จงจิตร หิรัญลาภ, ศาสตราจารย์ ดร., กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน , สำนักพัฒนาตำราและสื่อทางวิชาการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ปี 2558.

ปรีดา จันทพงษ์, บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, โยธิน อึ้งกุล, การระบายอากาศตามธรรมชาติของบ้านด้วย ปล่องหลังคาคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ระบายอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านจำลอง ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของ กรุงเทพมหานคร , ว.วิทย์. มข. 40(1) 83-94 (2555).

ปรีดา จันทพงษ์, วิชาญ วิมานจันทร์, ศิริชัย อยู่ภักดี, โยธิน อึ้งกุล, บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติ

ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาวะอากาศแบบร้อนและชื้น, วรสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 ก.ย.-ธ.ค. 2554.

### ภาษาอังกฤษ

Khedari, J., Hirunrabh, J and Bunnag, T., "Experimental study of a roof solar collector toward the natural ventilation of new house", Energy and Buildings., 33, pp. 159-164, (1997).

Khedari, J., Mansirisub, W., Chaima, S., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J, "Field Measurements Performance of Roof Solar Collector," Energy and Buildings, Vol.31, pp.171-178 (2)

## สถานภาพประชากรและพื้นที่การกระจายของปรงตากฟ้า

Population Status and Distribution Areas of Tak Fa Cycad (*Cycas nongnoochiae* K.D. Hill ;  
Cycadaceae)

สาลินี จันทร์ทอง<sup>1</sup> วิชาญ เอียดทอง<sup>1</sup> วันชัย อรุณประภารัตน์<sup>1</sup> และยงยุทธ ไตรสุรัตน์<sup>1</sup>

Salinee Janthong<sup>1</sup>, Wichan Eiadthong<sup>1</sup>, Wanchai Arunpraparatt<sup>1</sup>, and Yongyut Trisurat<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาสถานภาพประชากรและลักษณะนิเวศแหล่งกระจายพันธุ์ของปรงตากฟ้า (*Cycas nongnoochiae* K.D.Hill) ที่เป็นปรงถิ่นเดียวของไทยและแหล่งกระจายอยู่ทีเดียวนในโลก ดำเนินการในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดลพบุรี ใช้แบบจำลอง maximum entropy (MaxEnt) สร้างแผนที่การกระจายและการประเมินสถานภาพทางอนุรักษ์ ตาม IUCN red list categories and criteria Version 3.1 เมื่อจัดทำแผนที่การกระจายด้วยแบบจำลอง MaxEnt ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 83 ปัจจัยทางด้านนิเวศที่มีผลต่อการกระจาย ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) ประเภทของกลุ่มชุดดิน 2) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว 3) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน 4) ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (Isothermality) ในปัจจุบัน (ค.ศ. 2020) พบการกระจายของปรงตากฟ้าในอำเภอตากฟ้า และอำเภอไพศาลี จังหวัดนครสวรรค์ ที่พื้นที่ครอบคลุม 7.18 ตารางกิโลเมตร จัดอยู่ในสถานภาพใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง และในปี ค.ศ. 2070 เมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง จะสูญเสียพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายทั้งหมดหรือมีความน่าจะเป็นที่ปรงตากฟ้าจะสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่ดังกล่าว จึงควรส่งเสริมมาตรการอนุรักษ์นอกถิ่นกำเนิด (ex-situ conservation)

**คำสำคัญ:** ปรงตากฟ้า สถานภาพทางอนุรักษ์ ปรงถิ่นเดียว MaxEnt

### Abstract

The study on population status and distribution areas of Tak Fa Cycad (*Cycas nongnoochiae* K.D.Hill) categorized as endemic and endangered species was conducted in Nakhon Sawan and Lopburi Provinces. The maximum entropy (MaxEnt) model was employed to generate distribution map. In addition, its conservation status was assessed using the IUCN red list categories and criteria version 3.1 The result revealed that the overall accuracy of the predicted map was 83%. Four environment factors related to its distribution include 1) soil group 2) precipitation of coldest quarter 3) precipitation of warmest quarter and 4) Isothermality. At current (year 2020) Tak Fa Cycad is predicted at

**Keywords:** Tak Fa Cycad , endemic plants, Conservation status, MaxEnt

Tak Fa and Phaisali Districts in Nakhon Sawan Provinces, covering 7.18 km<sup>2</sup>, and categorized as critically endangered species. In 2070 under the predicted climate change condition, the entire suitable distribution areas will disappear or extinct from the study area. *Ex-situ* conservation measures is highly recommended.

## บทนำ

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง ประกอบด้วยกลุ่มพืชที่มีท่อลำเลียง (vascular plant) มากกว่า 12,000 ชนิด เป็นพืชถิ่นเดียว (endemic species) ประมาณร้อยละ 10 ของจำนวนทั้งหมด (ดวงใจ และคณะ, 2558) ขณะเดียวกันมีพืชหลายชนิดที่กำลังอยู่ในสถานภาพเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องการศึกษาสถานภาพประชากร เพื่อกำหนดมาตรการการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งพันธุกรรม การจัดการเพื่อดำเนินการติดตามและเฝ้าระวังไม่ให้ประชากรชนิดดังกล่าวต้องเผชิญสภาวะวิกฤติสูญพันธุ์ไปจากโลก ดังเช่นการศึกษาปรดากฟ้าในครั้งนี้

ปรดากเป็นพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperm) ที่มีความโบราณที่สุดในกลุ่มพืชมีเมล็ด ไม่มีผนังห่อหุ้ม และส่วนสืบพันธุ์แยกเพศอยู่ต่างต้น (dioecious) ต้นเพศผู้สร้างโคนสืบพันธุ์เพศผู้ (male cone) ต้นเพศเมียสร้างโคนสืบพันธุ์เพศเมีย เป็นพืชที่มีการวิวัฒนาการมาตั้งแต่ยุค Carboniferous และพบกระจายพันธุ์ทั่วทุกทวีปตั้งแต่ยุค Jurassic จนกล่าวได้ว่าเป็นยุคกระจายพันธุ์ของพืชกลุ่มปรดากครอบคลุมพื้นที่กว้างมากที่สุดและค่อยๆ ลดพื้นที่และขนาดประชากรเล็กลงจนปัจจุบัน (ชลธิชา, 2551) ในปัจจุบันมีเหลือ 2 วงศ์ 10 สกุล และ 355 ชนิด (Calonje, 2019) ปรดากในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ไม้ประดับ อาหารและยารักษาโรค ในประเทศไทย พบเพียง 1 วงศ์ คือพืชวงศ์ปรดาก (Cycadaceae) 1 สกุล 13 ชนิด เมื่อพิจารณาสถานภาพต่างๆ ตามหลัก IUCN พบว่าปรดากพื้นเมืองของไทยกำลังที่อยู่ในสถานภาพต่างๆ ดังนี้ ปรดากที่ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (critically endangered: CR) 1 ชนิด คือ ปรดากชะเมา (*C. chamaoensis* K.D. Hill) ชนิดปรดากที่มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable: VU) 5 ชนิด ได้แก่ ปรดากปาลายู (*C. macrocarpa* Griff.) ปรดากฟ้า (*C. nongnoochiae* K.D.Hill) ปรดากเขา (*C. pectinata* Buch.-Ham.) ปรดากสามร้อยยอด (*C. pranburiensis* S.L. Yang S.-L. Yang, W. Tang, K. D. Hill & P. Vatcharakom) และปรดากเหลี่ยม (*C. siamensis* Miq.) และสถานภาพใกล้ถูกคุกคาม (near threatened: NT) มี 3 ชนิด ได้แก่ ปรดากผา (*C. clivicola* K.D.Hill) ปรดากทะเล (*C. edentata* de Laub.) และมะพร้าวเต่า (*C. simplicipinna* (Smitinand) K.D.Hill) และยังเป็นปรดากถิ่นเดียวที่พบอยู่ที่เดียวในโลกเฉพาะในพื้นที่ประเทศไทยพบถึง 6 ชนิดด้วยกัน (วิชาญ, 2548)

Hill (2010) ได้ระบุสถานภาพของปรดากฟ้า (*Cycas nongnoochiae* K.D.Hill) หนึ่งในจำนวนดังกล่าว มีสถานภาพแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable; VU) ปรดากฟ้า ได้รับการบัญญัติชื่อพฤกษศาสตร์ เมื่อปี ค.ศ. 1994 ที่มาของคำเฉพาะระบุชนิด nongnoochiae มาจากสวนมนูชได้รับการบัญญัติคำระบุชนิดเพื่อเป็นเกียรติกับสวนมนูช ปรดากฟ้าที่มีแหล่งกระจายพันธุ์จำกัดอยู่ในจังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดลพบุรี จัดได้ว่าแหล่งกระจายพันธุ์ที่เล็กแคบ และมีความเสี่ยงต่อการถูกคุกคาม สัตฐานของปรดากฟ้า มีลำต้นสูง 2-5 เมตร เปลือกมีสีเทาเข้ม รอยแตกหลายเหลี่ยม ใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว

เรียงเวียนสลับ ต้นแยกเพศ (dioecious) ต้นที่สร้างโคนเพศผู้ (male cone) โคนรูปไข่แกมรูปขอบขนานยาว ต้นที่สร้างโคนเพศเมีย (female cone) สร้างแผ่นเมกะสปอร์ (megasporophyll) รูปไข่ (Hill, 2010) พบตามป่าโปร่งริมหน้าผาและป่าเต็งรังที่เปิดโล่ง (พูนศักดิ์, 2548) ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 50-400 เมตร (Robinson *et al.*, 2014) ในการศึกษาสถานภาพประชากรและลักษณะนิเวศแหล่งกระจายพันธุ์ของปรงตากฟ้าโดยใช้แบบจำลองการกระจายของสิ่งมีชีวิต (Species Distribution Models : SDMs) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏหรือไม่ปรากฏของสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ และสภาพภูมิอากาศด้านชีววิทยา และการสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจายของชนิด (species distribution) (Trisurat *et al.*, 2011 and Trisurat and Toxopeus, 2011) มีความสำคัญยิ่งต่อการนำข้อมูลที่ได้มาประเมินสถานภาพทางอนุรักษ์ของประชากรที่กำลังถูกคุกคาม และเพิ่มความเข้าใจในการอนุรักษ์และฟื้นฟูประชากรต่อไป

## วัตถุประสงค์

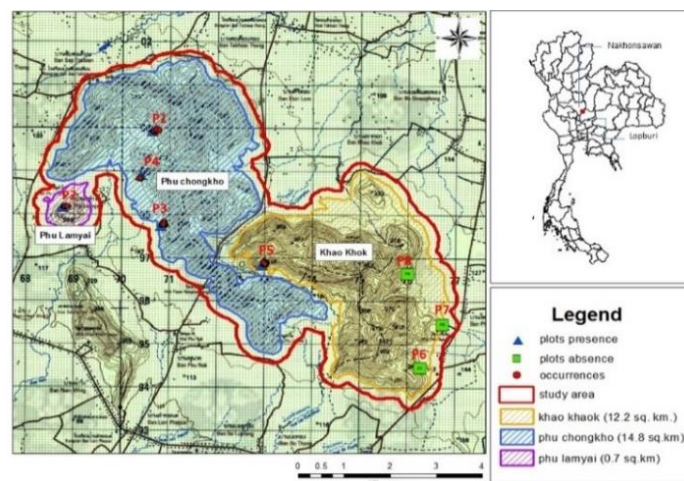
1. เพื่อศึกษาสถานภาพประชากรและลักษณะนิเวศแหล่งกระจายพันธุ์ของปรงตากฟ้า
2. เพื่อสร้างแผนที่การกระจายของปรงตากฟ้าและประเมินสถานภาพการอนุรักษ์ตามเกณฑ์ IUCN red list

categories and criteria version 3.1

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมป่าสงวนแห่งชาติเทือกเขาดอก ประกอบด้วย เขาพุล่าโย เขาพุซงโค และเขาดอก ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 อำเภอ คืออำเภอตากฟ้า อำเภอไพศาลี จังหวัดนครสวรรค์ และอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่เทือกเขาทั้งหมด รัศมีห่างจากเชิงเขาประมาณ 200 เมตร รวมพื้นที่ทั้งหมด 36.25 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 1) ปริมาณน้ำฝนรายปี เท่ากับ 1,061-1,180 มิลลิเมตร พบกระจายอยู่ในกลุ่มชุดดินเหนียว 56 ความลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง มีการระบายน้ำดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 2019 - เดือนมกราคม ค.ศ. 2020 รวม 6 ครั้ง



## ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

### การสำรวจและเก็บข้อมูลการปรากฏของปรงตากฟ้า

วางแผนตัวอย่างชั่วคราว (temporary sample plot) ขนาด 100 x 100 เมตร หรือ 1 เฮกตาร์ ทั้งหมด 8 แปลง กระจายทั่วพื้นที่ทำการเก็บข้อมูลตรวจนับจำนวนปรงตากฟ้าในแต่ละกลุ่มตามช่วงอายุของการเจริญเติบโต คือ กลุ่มที่ 1 ระยะต้นกล้า (seedling stage) ลำต้นสูงไม่เกิน 50 เซนติเมตร กลุ่มที่ 2 ระยะที่เป็นไม้รุ่น (immaturity stage) ลำต้นสูงมากกว่า 50 เซนติเมตร แต่ยังไม่ผลิตส่วนสืบพันธุ์ และกลุ่มที่ 3 ระยะวัยเจริญพันธุ์ (maturity stage) โดยเก็บข้อมูลส่วนสืบพันธุ์ที่เป็นโคนเพศผู้ (male cone) หรือโคนเพศเมีย (female cone) พร้อมทั้งใช้เครื่องมือหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) บันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ตำแหน่งแปลงสำรวจและต้น (วิชาญ, 2548)

### การวิเคราะห์การกระจายของปรงตากฟ้า

1. รวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลปัจจัยทางด้านนิเวศ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ระดับความสูงจากน้ำทะเล (Robinson *et al.*, 2014) ความลาดชัน ทิศด้านลาด และกลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) 2) ปัจจัยทางด้านชีวภาพ ได้แก่ ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) และความหนาแน่นของต้นไม้ (Glick *et al.*, 2016) 3) กลุ่มปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศด้านชีววิทยา (bioclimatic factors) ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี Isothermality อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน และปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว (Hijmans *et al.*, 2005) ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการกระจายของปรงตากฟ้า (Robinson *et al.*, 2014; Glick *et al.*, 2016) ใช้ GIS Arc Map แปลงข้อมูลข้างต้นให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด (raster data) โดยมีขนาดกริด เท่ากับ 100 x 100 เมตร

2. การวิเคราะห์และสร้างแผนที่การกระจาย ใช้แบบจำลอง Maximum entropy (MaxEnt) (Ratnaparkhi, 1997; Phillips *et al.*, 2006; Franklin, 2009) โดยใช้เฉพาะข้อมูลการปรากฏของปรงตากฟ้าเท่านั้น (presence-only data) ร่วมกับปัจจัยทางด้านนิเวศ โดยมีวิธีการ ดังนี้

2.1 แบ่งข้อมูลการปรากฏของปรงตากฟ้า ที่ได้จากการสำรวจออกเป็น 2 ส่วน โดยวิธีการสุ่มแบบอิสระ (random sampling) ร้อยละ 75 (training data) ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MaxEnt software version 3.1.0 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามค่า default ของโปรแกรม (Dudik *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006) ส่วนที่เหลือร้อยละ 25 (testing data) กำหนดเป็นข้อมูลในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

2.2 นำค่าความน่าจะเป็นได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.00-1.00 ค่ามากบ่งบอกความน่าจะเป็นในการปรากฏมาก ในทางตรงข้ามค่าน้อย มีความน่าจะเป็นในการปรากฏน้อย เลือค่า 10 percentile training presence logistic threshold มาใช้เป็นค่า cut-off ในการแบ่งชั้นการปรากฏและไม่ปรากฏของปรงตากฟ้า (Liu *et al.*, 2005) และสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจาย และตรวจสอบค่าความถูกต้องของแผนที่ โดยนำจุดทดสอบที่สุ่มเลือกไว้ร้อยละ 25 มาซ้อนทับกับแผนที่การปรากฏและไม่ปรากฏ โดยตาราง contingency table (Trisurat and Toxopeus, 2011) เลือแผนที่ที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด

2.3 สำหรับการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการกระจายในอนาคต ดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีการในปัจจุบัน แต่ใช้ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศด้านชีววิทยา (bioclimatic factors) ตามภาพเหตุการณ์ IPCC AR5 ระดับ RCP 8.5 ปี ค.ศ. 2070 (Worldclim, 2020) การประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ. 2020 และในอีกปีข้างหน้า (ค.ศ. 2070)

ซึ่งพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย ปี ค.ศ. 2020 ค่าอยู่ระหว่าง 25.8-27.5 องศาเซลเซียส และปี ค.ศ. 2070 ค่าอยู่ระหว่าง 30.4-32.1 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 4.6 องศาเซลเซียส Isothermality ปี ค.ศ. 2020 ค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 57-58 และปี ค.ศ. 2070 ค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 59-60 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน ปี ค.ศ. 2020 ค่าอยู่ระหว่าง 256-268 มิลลิเมตร และปี ค.ศ. 2070 ค่าอยู่ระหว่าง 195-243 มิลลิเมตร ลดลง 25-61 มิลลิเมตร ส่วนปัจจัยอื่นคงที่

### การประเมินสถานภาพการอนุรักษ์

ประเมินสถานภาพการอนุรักษ์ของปรงตากฟ้า ตาม IUCN Red list categories and criteria Version 3.1 (2014) โดยใช้เกณฑ์ข้อ B. ขอบเขตทางภูมิศาสตร์ (geographic range) ในรูปแบบ B1 ขอบเขตการแพร่กระจาย (extent of occurrence) หมายถึงพื้นที่ที่อยู่ภายใต้เส้นที่ลากกรอบตำแหน่งที่พบการปรากฏของชนิด และการวัดขนาดพื้นที่จะไม่รวมพื้นที่ที่ขาดความต่อเนื่องหรือไม่เชื่อมต่อกัน (IUCN, 2014) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ความน่าจะเป็นการปรากฏที่ได้จากแบบจำลอง maxent (Trisurat and Toxopeus, 2011)

### ผลและวิจารณ์

#### ขนาดประชากรและการปรากฏของปรงตากฟ้า

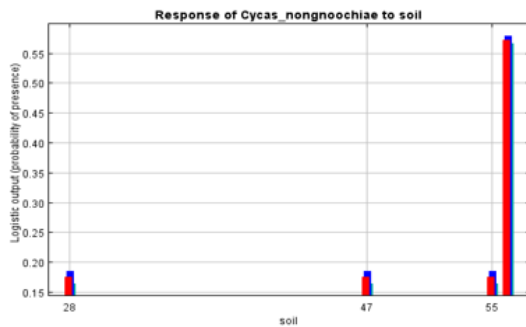
จากการศึกษาพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติเทือกเขาโคกที่ประกอบด้วย เขาพุล่าโย เขาพุงโค และเขาโคกครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ ในจังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดลพบุรี ทั้งหมด 8 แปลง ครอบคลุมพื้นที่การศึกษาทั้งหมด 36.25 ตารางกิโลเมตร พบการกระจายของปรงตากฟ้าทั้งหมด 5 แปลง ในพื้นที่ 2 อำเภอ คืออำเภอตากฟ้า และอำเภอไพศาลี จังหวัดนครสวรรค์ มีจำนวนการปรากฏของปรงตากฟ้า ทั้งหมด 232 ต้น ประกอบด้วย ระยะต้นกล้า จำนวน 25 ต้น ระยะที่เป็นไม้รุ่ม จำนวน 141 ต้น และระยะวัยเจริญพันธุ์ จำนวน 66 ต้น (ความหนาแน่นเฉลี่ย 13 ต้นต่อเฮกตาร์) พื้นที่แปลงที่พบประชากรมากที่สุดคือ แปลงที่ 5 วัดถ้ำนรกัย จำนวน 92 ต้น แปลงที่พบประชากรน้อยที่สุดคือแปลงที่ 3 บริเวณเรือศิลป์กรีนฟาร์ม 13 ต้น และแปลงที่ 6, 7, และ 8 ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ไม่พบการปรากฏของปรงตากฟ้า

#### แบบจำลองการกระจายของปรงตากฟ้า

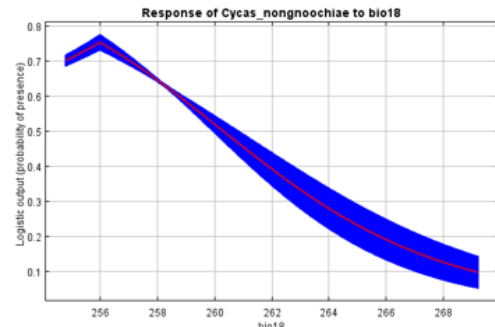
ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านนิเวศต่อการกระจายของปรงตากฟ้า โดยใช้แบบจำลอง MaxEnt พบว่าค่า area under curve (AUC) เท่ากับ 0.88 ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านนิเวศต่อการกระจายของปรงตากฟ้า (Fawcett, 2006) เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละความสำคัญ (percent contribution) ของปัจจัยทางด้านนิเวศในแต่ละปัจจัย พบว่าปัจจัยทางด้านนิเวศ มีอิทธิพลต่อการปรากฏของปรงตากฟ้าได้แตกต่างกัน ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายของปรงตากฟ้า มากที่สุด 4 อันดับแรก ได้แก่ ประเภทของกลุ่มชุดดิน ร้อยละ 37.6 รองลงมาคือ ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว ร้อยละ 29.4 ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน ร้อยละ 26.5 และ Isothermality ร้อยละ 2.8 ความน่าจะเป็นในการกระจายของปรงตากฟ้า ขึ้นอยู่กับช่วงความเหมาะสมของปัจจัยทางนิเวศ ดังนี้



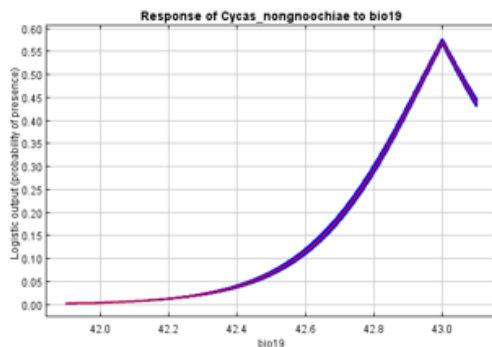
ลักษณะของกลุ่มชุดดิน จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 56 คือ กลุ่มชุดดินเหนียว ลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดิน เป็นกรดถึงเป็นกลาง มีการระบายน้ำดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง (ภาพที่ 2A) มีปริมาณน้ำฝน ในช่วงฤดูร้อน ระหว่าง 256-260 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2B) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว ระหว่าง 42.8-43 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2C) และ Isothermality ระหว่างร้อยละ 57 (ภาพที่ 2D)



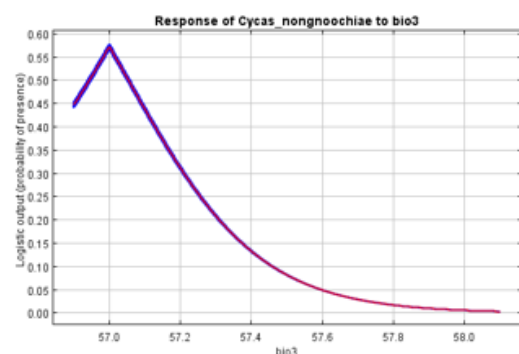
(A) กลุ่มชุดดิน



(B) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน



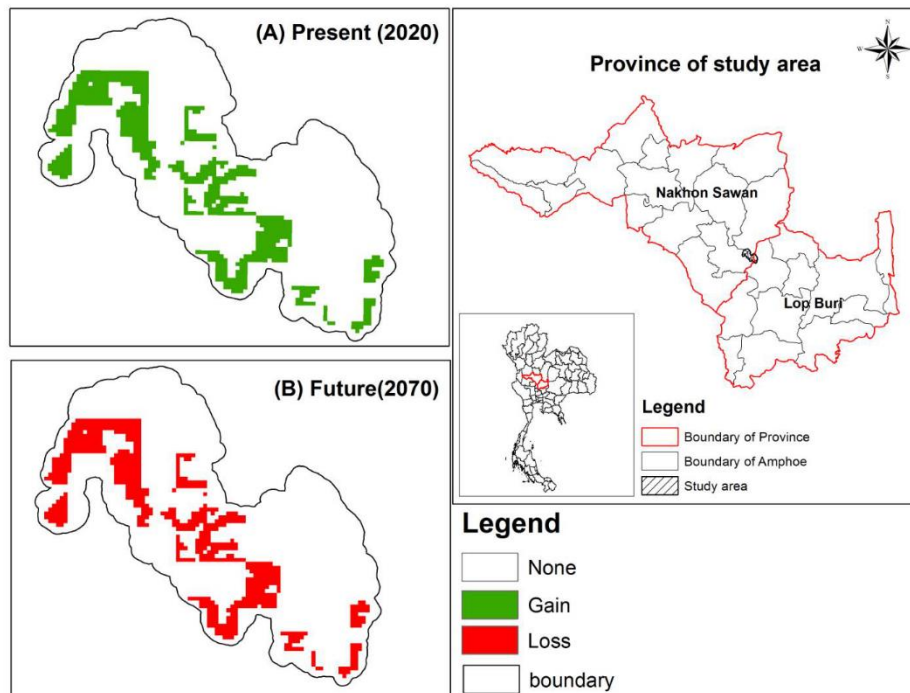
(C) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว



(D) Isothermality (ร้อยละ)

## ภาพที่ 2 ปัจจัยทางด้านนิเวศที่มีผลต่อการกระจายของปรงตากฟ้า

ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง MaxEnt พบว่ามีค่าคะแนนความน่าจะเป็น เท่ากับ 0-0.73 เมื่อนำแผนที่มีความน่าจะเป็นในการกระจายของปรงตากฟ้า ที่มีค่าความน่าจะเป็นในการกระจายต่ำสุดและสูงสุด เท่ากับ 10 percentile training presence logistic threshold ที่มีค่าเท่ากับ 0.37 มาใช้เป็นค่า cut-off values จากค่าเฉลี่ยดังนี้ แบ่งชั้นการปรากฏของปรงตากฟ้า  $P(y) \geq 0.37$  ความน่าจะเป็นในการไม่พบการปรากฏของปรงตากฟ้า  $P(y) < 0.37$  ได้แผนที่แสดงขอบเขตการแพร่กระจาย (extent of occurrence) มีพื้นที่เท่ากับ 7.18 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 3A) บริเวณรอยอำเภอตากฟ้าและอำเภอไพศาลี และมีค่าความถูกต้องสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 82.83 ส่วนในปี ค.ศ. 2070 ไม่พบพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของปรงตากฟ้า (ภาพที่ 3B)



ภาพที่ 3 ขอบเขตการแพร่กระจายของปรงตากฟ้าในปี ค.ศ. 2020 และปี ค.ศ. 2070

### สถานภาพการอนุรักษ์ของปรงตากฟ้า

จากการศึกษาได้แผนที่แสดงขอบเขตการแพร่กระจาย (extent of occurrence) ในปัจจุบัน มีพื้นที่เท่ากับ 7.18 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 3A) เมื่อนำค่าขอบเขตการแพร่กระจายไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การกำหนดสถานภาพการอนุรักษ์ของ IUCN (2014) พบว่าสถานภาพการอนุรักษ์ของปรงตากฟ้า จัดอยู่ในเกณฑ์ “ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (critically endangered; CR)” ตามเกณฑ์ข้อ B1 พื้นที่ขอบเขตการแพร่กระจายน้อยกว่า 100 ตารางกิโลเมตร และตามเกณฑ์ข้อ a แหล่งกระจายพันธุ์ของปรงตากฟ้าปัจจุบันพบการกระจายเพียง 1 กลุ่มประชากรเท่านั้น คือบริเวณรอยต่อระหว่างจังหวัดนครสวรรค์และลพบุรี ซึ่งโอกาสที่ประชากรของปรงตากฟ้าจะสูญพันธุ์มีความเป็นไปได้สูงมาก อันเนื่องมาจากโอกาสในการขยายพันธุ์ลดลง และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า

1. การลดลงของขอบเขตการแพร่กระจาย ตามเกณฑ์ข้อ b (i) จากการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะเวลา 50 ปีข้างหน้า เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าเฉลี่ยปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 4.6 องศาเซลเซียส Isothermality เพิ่มขึ้นร้อยละ 2 และปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน ลดลง 25-61 มิลลิเมตร สามารถอธิบายภาพรวมได้ว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำฝนลดลง มีแนวโน้มเกิดภาวะความแห้งแล้งในพื้นที่ และเมื่อใช้แบบจำลอง Maxent วิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการกระจายของปรงตากฟ้า พบว่าค่าความน่าจะเป็นในการกระจายเท่ากับศูนย์ นั่นหมายความว่า ไม่พบการปรากฏของกลุ่มประชากรปรงตากฟ้าในอนาคต หรือกล่าวได้ว่าปรงตากฟ้าสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่ดังกล่าวเมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 3B)

2. การลดลงของจำนวนประชากรในวัยเจริญพันธุ์ (mature individuals) ตามเกณฑ์ข้อ b (v) ผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นครั้งแรกในการประเมินสถานภาพของปรงตาคฟ้าที่อยู่ในสถานภาพใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง ปรงตาคฟ้าอยู่ในกลุ่ม Cycads Specialist ของ IUCN ในประเทศไทย ผลการศึกษาในครั้งนี้พบจำนวนประชากรในวัยเจริญพันธุ์จำนวน 66 ต้นต่อพื้นที่ 0.05 ตารางกิโลเมตร หรือความหนาแน่นเฉลี่ย 13 ต้นต่อเฮกตาร์ คิดเป็นพื้นที่ที่การกระจายทั้งหมด 7.18 ตารางกิโลเมตร พบประชากรของปรงตาคฟ้า 9,478 ต้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรายงานการประเมินสถานภาพประชากรปรงตาคฟ้าของ Hill (2010) ที่พบจำนวนประชากรในวัยเจริญพันธุ์ 10,000 ต้น พบว่าประชากรปรงตาคฟ้าลดลงร้อยละ 6 ในช่วงระยะเวลา 10 ปี และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Marler *et al.*, (2013) ที่ทำการศึกษา Range, Density and Threatened status of *Cycas nongnoochiae* โดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 508 ต้นต่อเฮกตาร์ นั้นแสดงให้เห็นว่าประชากรปรงตาคฟ้าลดลงถึงร้อยละ 97

## บทสรุป

การศึกษาสถานภาพประชากรและพื้นที่การกระจายของปรงตาคฟ้า พบการกระจายในสังคมพืชป่าเต็งรังบนภูเขาหินปูนที่มีไม้รังเด่น ด้วยแบบจำลอง MaxEnt ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 83 มีขอบเขตพื้นที่การกระจาย 7.18 ตารางกิโลเมตร ปัจจัยทางด้านนิเวศที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขอบเขตของแหล่งกระจายพันธุ์ของปรงตาคฟ้า คือ พบกระจายในกลุ่มชุดดินเหนียว ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว และ Isothermality มีสถานภาพการอนุรักษ์อยู่ในเกณฑ์ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง ตามเกณฑ์ข้อ B1ab (i,v) หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ. 2070 ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณน้ำฝนลดลง มีแนวโน้มเกิดภาวะความแห้งแล้งในพื้นที่ คาดว่าปรงตาคฟ้าจะสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่ดังกล่าว ผลการศึกษานี้สามารถเป็นข้อมูลในการส่งเสริมอนุรักษ์นอกถิ่นกำเนิด (*ex situ* conservation) เช่น การส่งเสริมการกระจายพันธุ์ประชากรปรงตาคฟ้าด้วยวิธีการเพาะเมล็ด ปลูกในสวนพฤกษศาสตร์ สวนรุกขชาติ โดยให้ทุกภาคส่วนร่วมมือกันในการจัดการและอนุรักษ์ประชากรปรงตาคฟ้าให้คงอยู่ต่อไป

## คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 4 สาขานครสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลและดำเนินการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2556ก). แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2556ข). แผนที่กลุ่มชุดดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ
- ชลธิชา รัตนพันธ์แสง. (2551). ไซยาโนแบคทีเรียในรากคอรัลลอยด์ของปรงสกุล *Cycas*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดวงใจ สุขเฉลิม, สันติ สุขสะอาด, และยงยุทธ ไตรสุรัตน์. (2558). คู่มือการศึกษาป่าไม้ไทย. บริษัท ยูโอเฟ้น จำกัด, กรุงเทพฯ
- พูนศักดิ์ วัชรกร. (2548). ปาล์มและปรงในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. บ้านและสวน, กรุงเทพฯ

วิชาญ เอียดทอง. (2548). การศึกษาขนาดประชากรของต้นมะพร้าวลิงในพื้นที่ป่าชุมชนเขาพระบาทน้อย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี. วารสารวนศาสตร์ 24 : 26-34.

Calonje M, S. D., Osborne R. The World List of Cycads, (Online). <https://cycadlist.org/>, February 22, 2019.

Dudik, M., S.J. Phillips and R.E., Schapire. (2004). Performance guarantees for regularized maximum entropy density estimation, pp. 655-662. In Proceedings of the 17<sup>th</sup> Annual Conference on Computational Learning Theory. ACM Press, New York.

Glick, H.B., C.B. Bettigole, D.S. Maynard, K.R. Covey, J.R. Smith and T.W. Crowther. (2016). Spatially explicit models of global tree density. (Online). [https://figshare.com/articles/Global\\_map\\_of\\_tree\\_density/3179986](https://figshare.com/articles/Global_map_of_tree_density/3179986). January 22, 2020.

Hijmans R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. (Online). <http://www.worldclim.org/> version1.

Hill, K.D. 2010. *Cycas nongnoochiae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: (Online). <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T42060A10616197.en>. January 22, 2020.

International Union for Conservation of Nature. (2014). IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Liu, C., P.M. Berry, T.P. Dawson and R.G. Pearson. (2005). Selecting threshold of occurrence in the prediction of species distribution. *Ecography* 28: 385-393.

Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecology Modelling* 190: 231-259.

Marler T.E., A.J. Lindstrom and W. Field. (2018). Rang, Density, and Threatened Status of *Cycas nongnoochiae*. *Conservation* 8:86-92

Ratnaparkhi, A. (1997). A simple introduction to maximum entropy models for natural language processing. Institute for Research in Research in cognitive Science, University of Pennsylvania. (Mimeographed)

Trisurat, Y. and A.G. Toxopeus. (2011). Modeling Species Distribution, Book Modeling Species Distribution, Hershey : 171-197. In Y. Trisurat., R.P. Shrestha and R. Alkemade. Landuse, Climate Change and Biodiversity Modeling : Perspectives and Application. Hershey, USA.

Trisurat, Y., R.P. Shrestha and R. Kjelgren. (2011). Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. *Applied Geography* 31 (2011): 1106-1114

Worldclim. (2020). Global climate Data. (Online). <http://worldclim.org/>. March 27, 2020.

# การวิเคราะห์หลายปัจจัยในการจัดลำดับโครงการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า

## Multiple Criteria Analysis of Project Prioritization for Developing Intermodal Network for Recreational Trips Through River Ports Within Environmental Protection Area of Bangkachao

ชนิศา รุ่งแจ้ง<sup>1</sup> และ อุทัย ยอดสวัสดิ์<sup>2</sup>

Kanisa Rungjang<sup>1</sup> and Uthai Yodsawat<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์การจัดลำดับโครงข่ายพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้าโดยการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย เนื่องด้วยพื้นที่บางกะเจ้าเป็นพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ทำให้มีข้อจำกัดหลายประการในการพัฒนาโครงข่ายทางถนนทำให้การเดินทางเพื่อการท่องเที่ยวมีความหนาแน่นและเสี่ยงต่ออุบัติเหตุการจราจร ดังนั้นการปรับปรุงโครงข่ายการขนส่งจึงไม่เพียงพอแต่การพิจารณาด้านวิศวกรรมเท่านั้น ยังต้องพิจารณาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ด้านกฎหมาย และด้านสังคม งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ การออกแบบโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ และการวิเคราะห์ปัจจัยในการคัดเลือกโครงการโดยวิธีการวิเคราะห์หลายปัจจัย โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process, AHP) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญด้านคมนาคมขนส่ง องค์การบริหารส่วนตำบลและประชาชนผู้มีส่วนร่วมในการจัดลำดับปัจจัยของการคัดเลือกโครงการจำนวน 10 ราย แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัย ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน และปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน ตามลำดับ (ค่าน้ำหนักของปัจจัยเท่ากับ 0.452 0.303 0.158 และ 0.087 ตามลำดับ) และงานวิจัยนี้ได้นำปัจจัยที่วิเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับโครงการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า

**คำสำคัญ:** การจัดลำดับโครงการ, การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ, กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP), การเดินทางท่องเที่ยว

### Abstract

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย  
Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

This research focuses on multicriteria analysis of project prioritization for developing intermodal network for recreational trips through river ports within environmental protection area of Bangkachao using multiple criteria analysis. Since 2019, Bangkachao is an environmental protection area subjected to the environmental regulation, there are many constraints for improving road network. As recreational travel increases further, traffic density and accident risks rise at increasing rate. Hence, the project prioritization to improving transportation network cannot be attributed solely to the engineering criteria, it can also be considered on broad environmental factors, regulation and social factors. The results show the feasibility study, the design of intermodal network, and the multiple criteria analysis of project selection using the Analytical Hierarchy Process (AHP). According to the analysis of 10 survey respondents from the Ministry of Transportation, Subdistrict Administration Organization, and public participations, the important factors of project prioritization for developing intermodal network for recreational trips through river ports within environmental protection area engineering and safety criteria, regulation and environmental criteria, economic and financial feasibility, and the enhancing quality of life and lifestyle, respectively (weighting factor 0.452, 0.303, 0.158, and 0.087, respectively). Then, the project alternatives are ranked based on their weights for the application of the intermodal network for recreational trips through ports within environmental protection area of Bangkachao.

**Keyword:** Project Prioritization, Intermodal Transportation, Analytical Hierarchy Process (AHP), Recreational Trip

## บทนำ

บางกะเจ้าเป็นพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศซึ่งตั้งอยู่ในอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการที่เป็นเขตปริมณฑลที่เดินทางไม่ไกลจากกรุงเทพมหานคร พื้นที่ประมาณร้อยละ 10 ของบางกะเจ้าถูกกำหนดเป็นเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2562 ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา พื้นที่สีเขียวค้ำบางกะเจ้าเป็นพื้นที่โอบล้อมด้วยลำน้ำเจ้าพระยาที่มีแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ที่ผสมผสานซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเลือกเดินทางได้หลายสถานที่ อาทิเช่น การท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ป่าชายเลน รุรภิจ แหล่งอาศัยของสัตว์น้ำและแมลงหึ่งห้อย แหล่งอาหารพืชและสมุนไพร ตลาดน้ำ สวนเกษตร ทั้งนี้ในปัจจุบันนักท่องเที่ยวส่วนมากเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวจากกรุงเทพมหานครและพื้นที่โดยรอบเพื่อท่องเที่ยวในพื้นที่บางกะเจ้าทำให้สภาพการจราจรภายในพื้นที่บางกะเจ้ามีความหนาแน่นแออัด และประสบปัญหาการขาดแคลนที่จอดรถบริเวณแหล่งท่องเที่ยวและพื้นที่หลายแห่งในชุมชน เพราะการเดินทางต้องอาศัยถนนสายหลักเพียงสายเดียวคือถนนเพชรหึงษ์ ซึ่งมีเขตทางคับแคบและมีความคับคั่งของการจราจรที่หลากหลายนอกจากรถยนต์ รถจักรยานยนต์ของคนในชุมชน รถบรรทุกสินค้า รวมทั้งรถยนต์และรถจักรยานของนักท่องเที่ยว ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ การศึกษาวิจัยหลายเรื่องได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์พื้นที่บางกะเจ้า (ชนินันท์ และคณะ (2563) สุทธิพิทย์และปกรณ์ (2560) เบญจวรรณ (2557)) ดังนั้นการปรับปรุงโครงข่ายการเดินทางท่องเที่ยวโดยอาศัยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบผ่านท่าเรือในพื้นที่โดยรอบบางกะเจ้าจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการส่งเสริมการท่องเที่ยวโดยอนุรักษ์พื้นที่และวิถีชีวิตของชุมชนไว้ได้อย่างยั่งยืน

ทั้งนี้การพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการภายใต้การกำกับดูแลของภาครัฐในหลายองค์กร และยังคงคำนึงการมีส่วนร่วมของประชาชนในงานภาครัฐ โดยงานวิจัยมากมายได้ศึกษารวบรวมเกี่ยวกับความสำเร็จของการมีส่วนร่วมของประชาชนไว้ (Robbins et.al. 2008, Ebdon and Franklin 2004, Halvorsen 2003, Crosby et.al. 2000, Webler and Tule 2000, Kathlene and Martin 1991) การจัดลำดับโครงการที่เหมาะสม ทั้งปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัย ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน และปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับโครงข่ายพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า โดยอาศัยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process, AHP) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย (Multicriteria Analysis) ที่พัฒนาขึ้นโดย Thomas L.Saaty ตั้งแต่ทศวรรษ 1970 และได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานในหลายแขนง (Saaty, 1990 และ Saaty, 2012)

### วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การจัดลำดับโครงข่ายพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า

### อุปกรณ์และวิธีการ

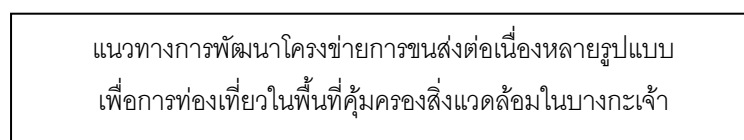
การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจ 2) การศึกษา การออกแบบและการประเมินความเหมาะสมของโครงการ 3) การสำรวจข้อมูลการตัดสินใจโดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ 4) การทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจและการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยและทางเลือกโครงการโดยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ซึ่งมีการดำเนินงาน ดังนี้

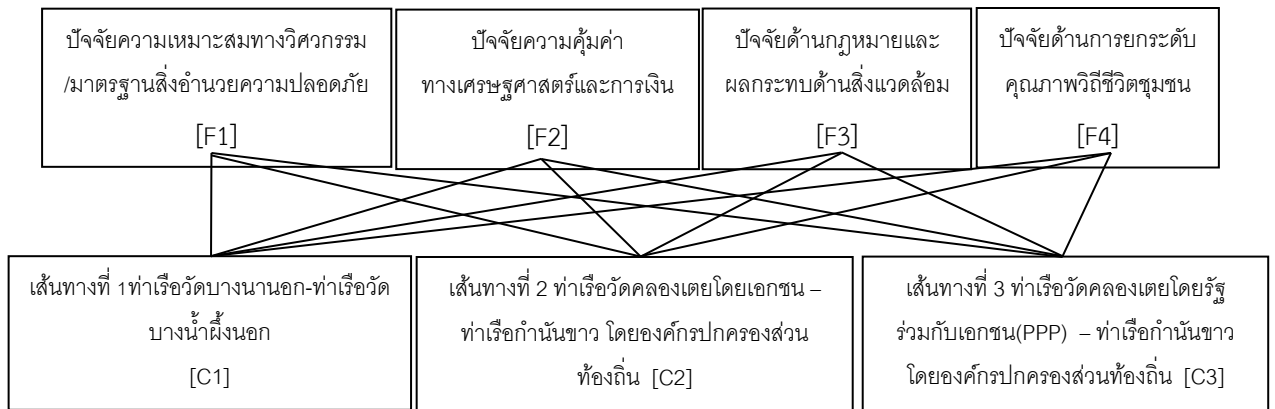
#### 1. การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจ

โดยการจัดแบ่ง (Decomposition) โครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้น (Hierarchy) เป็นโครงสร้าง 3 ระดับ (ดังรูปที่

1) ประกอบด้วย

- โครงสร้างระดับที่ 1 เป้าหมายการตัดสินใจ (Goal) คือแนวทางการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม
- โครงสร้างระดับที่ 2 ปัจจัยหรือหลักเกณฑ์ (Criteria) ในการคัดเลือกโครงการ ประกอบด้วย ปัจจัยความเหมาะสมทางวิศวกรรมและมาตรฐานสิ่งแวดล้อม ปัจจัยความปลอดภัย ปัจจัยความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน
- โครงสร้างระดับที่ 3 ทางเลือกหรือโครงการ (Alternative or Project) ในการคัดเลือกโครงการ ซึ่งออกแบบไว้ 3 ทางเลือก ทั้งเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และการบริหารจัดการ





ภาพที่ 1 โครงสร้างกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

ปัจจัยในการคัดเลือกโครงการ ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัย เป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบทางวิศวกรรมและมาตรฐานสิ่งอำนวยความสะดวกภัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเส้นทางขนส่งและสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการเดินทาง เช่น ที่จอดรถ ท่าเรือ เป็นต้น
2. ปัจจัยความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน เป็นผลการประเมินตามดัชนีทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)
3. ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยความสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ กฎกระทรวง กำหนดให้พื้นที่ตำบลบางกะเจ้า ตำบลบางกอบัว ตำบลบางน้ำผึ้ง ตำบลบางยอ ตำบลบางกระสอบ และตำบลทรงคะนอง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เป็นเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม พุทธศักราช 2562. พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พุทธศักราช 2537 พระราชบัญญัติการเดินเรือในน่านน้ำไทย พุทธศักราช 2456 พระราชบัญญัติการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน พุทธศักราช 2562 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
4. ปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน เป็นปัจจัยที่เป็นผลในการยกระดับคุณภาพชีวิต และวิถีชีวิตของคนในชุมชนอันเป็นผลเกี่ยวเนื่องกับโครงการและการบริหารจัดการโครงการ ซึ่งปัจจัยนี้ได้มาจากการจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นร่วมกับชุมชน

## 2. การศึกษา การออกแบบและการประเมินความเหมาะสมของโครงการ

โดยทำการศึกษารายละเอียดข้อมูลทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิเพื่อนำมาออกแบบและประเมินความเหมาะสมของโครงการ การสำรวจข้อมูลการเดินทางในพื้นที่บางกะเจ้าทั้งข้อมูลการเดินทางและการให้บริการในรูปแบบการขนส่งทางบกและทางน้ำ ของท่าเรือหลักในพื้นที่ 5 ประกอบด้วยท่าเรือตาเลื่อน ท่าเรือบางน้ำผึ้ง ท่าเรือเพชรหึงษ์ ท่าเรือบางกระเจ้า (กำนันขาว) ท่าเรือวัดบางกระเจ้านอก และท่าเรือที่เกี่ยวข้อง การสำรวจจุดต้นทางปลายทางการเดินทาง (Origin-Destination Survey, O-D Survey) (สุรเมศวร์, 2553) จำนวน 200 ชุด และทำการออกแบบโครงการพัฒนาโครงข่ายทั้งหมด 3 ทางเลือก ซึ่งมีทั้งการออกแบบท่าเรือ ที่จอดรถ และสิ่งอำนวยความสะดวกในการเดินทาง โดยอ้างอิงมาตรฐานการ



ออกแบบทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานการออกแบบท่าเรือของกรมเจ้าท่า และมาตรฐานการออกแบบที่จอดรถและทางเท้า เป็นต้น

ทางเลือกของโครงการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า ประกอบด้วย 3 ทางเลือก ได้แก่

1. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่วัดบางนานอก (บริหารจัดการโดยเอกชน) ต่อเรือที่ท่าเรือวัดบางนานอก (บริหารจัดการโดยเอกชน) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือวัดบางน้ำผึ้งนอก (บริหารจัดการโดยเอกชน)
2. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ (บริหารจัดการโดยเอกชน) ต่อเรือที่ท่าเรือคลองเตย (บริหารจัดการโดยเอกชน) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขวาง (บริหารจัดการโดยภาครัฐ)
3. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ (บริหารจัดการโดยภาครัฐ) ต่อเรือที่ท่าเรือคลองเตยบริหารจัดการ (บริหารจัดการแบบรัฐร่วมกับเอกชน หรือ Public Private Partnership, PPP) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขวาง (บริหารจัดการโดยภาครัฐ)

### 3. การสำรวจข้อมูลการตัดสินใจโดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)

โดยรวบรวมข้อมูลการตัดสินใจเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยและทางเลือกโครงการ โดยสำรวจจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 ราย เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านคมนาคมขนส่งที่เกี่ยวข้องจาก กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งอยู่ในแนวเส้นทาง ประกอบด้วย อบต.บางกะเจ้า อบต.บางน้ำผึ้ง ประสิทธิภาพการทำงานอยู่ระหว่าง 4 ถึง 20 ปี (ประสิทธิภาพทำงานเฉลี่ย 9 ปี) การตัดสินใจเป็นการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญ ( $w_i/w_j$ ) ระหว่างปัจจัยหรือทางเลือกเป็นรายคู่  $i$  และ  $j$  ใดๆ จำนวนทั้งสิ้น  $n$  ปัจจัยหรือทางเลือกโดยใช้ตัวเลขแทนค่าความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของส่วนย่อยในแต่ละระดับชั้นเมื่อพิจารณาภายใต้ปัจจัยหรือทางเลือกหรือส่วนประกอบในระดับที่เหนือกว่าขึ้นไปค่ามาตรฐานที่นิยมใช้เปรียบเทียบความสำคัญที่มีระดับความสำคัญที่เป็นตัวเลข 1 ถึง 9 ซึ่งแสดงระดับความสำคัญที่เท่ากันไปจนถึงระดับความสำคัญที่สูงกว่าอย่างมาก ดังแสดงใน ตารางที่ 1 และข้อมูลจากแบบสอบถามที่ได้จะได้นำไปจัดเป็นตารางเมตริกซ์ของค่าเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison Matrix) ซึ่งสมาชิกของเมตริกซ์ Pairwise Comparison กำหนดเป็นเมตริกซ์  $A$  ใน ตารางที่ 2 เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญที่เปรียบเทียบเป็นรายคู่

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำคัญการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยแฉวนอนกับแถวตั้งในตารางเมตริกซ์

ระดับความเข้มข้น ของความสำคัญ	ความหมาย
1	ความสำคัญของปัจจัยมีค่าเท่ากัน (Equal Importance)
3	ความสำคัญของปัจจัยมีค่ามากกว่าในระดับปานกลาง (Moderately Importance)
5	ความสำคัญของปัจจัยมีความสำคัญมาก (Strong Importance)
7	ความสำคัญของปัจจัยมีความสำคัญอย่างมากหรือมากกว่าอย่างชัดเจน (Very Strong or Demonstrated Important)
9	ความสำคัญของปัจจัยมีความสำคัญมากที่สุด (Extremely Importance)
2,4,6,8	สำหรับในกรณีประนีประนอมเพื่อลดช่องว่างระหว่างระดับปัจจัยที่เสมอกัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saaty (2012)

ตารางที่ 2 ตารางเมตริกซ์ของค่าเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ปัจจัย (Criteria)	ปัจจัย (Criteria)			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	...	A <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	w <sub>1</sub> / w <sub>1</sub>	...	...	w <sub>1</sub> / w <sub>n</sub>
A <sub>2</sub>	:	1	...	:
:	:	:	...	:
A <sub>n</sub>	w <sub>n</sub> / w <sub>1</sub>	:	...	w <sub>n</sub> / w <sub>n</sub>

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saaty (2012)

#### 4. การทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจและการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยและแนว ทางเลือกโดยวิธี AHP

ค่าระดับความสำคัญเปรียบเทียบรายคู่ที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมาในแบบเมตริกซ์ถูกนำไปทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจและนำไปวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยและค่าน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกต่อไปซึ่งการตัดสินใจมีความสอดคล้องของเหตุผลจะมีค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R.) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่า Consistency Index (C.I.) และ ค่า Random Consistency Index (R.I.) น้อยกว่า 0.1 ซึ่งแสดงว่าความไม่สอดคล้องของการตัดสินใจมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 ตามการพิสูจน์ของ Saaty ทั้งนี้ ค่า Consistency Index (C.I.) มีค่าเท่ากับ  $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$  โดยที่  $\lambda_{max}$  เป็นค่าสูงสุดของ Eigenvalue ของเมตริกซ์ A และค่า Random Consistency Index (R.I.) สำหรับจำนวนปัจจัยหรือทางเลือก n ปัจจัยหรือทางเลือก แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องกันจากการสุ่มตัวอย่าง (RI) ตามขนาดเมตริกซ์

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

ที่มา: Saaty (2012)

ค่าน้ำหนักคะแนนของรูปแบบทางเลือกนั้นหาได้จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของข้อมูลแต่ละรูปแบบ ปัจจัยหรือทางเลือกดังแสดงในสมการที่ 1 ผลรวมของค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหรือทางเลือกนั้นมีค่าเท่ากับ 1

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

เมื่อ  $W_i$  คือ น้ำหนักคะแนนของแต่ละหลักเกณฑ์

$V_i$  คือ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต  $n$  คือ จำนวนปัจจัยหรือทางเลือกทั้งหมด

### ผลและวิจารณ์

ผลจากการดำเนินทั้ง 4 ขั้นตอนนี้ ได้โครงสร้างการตัดสินใจ แบบทางวิศวกรรมของโครงข่ายการขนส่ง 3 ทางเลือก ความเหมาะสมของโครงการ

แนวทางการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อส่งเสริมการเดินทางเพื่อการท่องเที่ยวในพื้นที่ กลุ่มของสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า ทั้ง 3 ทางเลือก ได้แก่

1. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ เส้นทางท่าเรือวัดบางนาออก-ท่าเรือวัดบางน้ำผึ้งนอก โดยก่อสร้าง ปรับปรุง ติดตั้งระบบควบคุมการเข้าออก ระบบรักษาความปลอดภัยที่จุดรถวัดบางนาออก (บริหารจัดการโดยเอกชน) ต่อเรือที่ท่าเรือวัดบางนาออก โดยปรับปรุงทางเข้า-ออกท่าเรือให้มีความสะดวกมากขึ้น (บริหารจัดการโดยเอกชน) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือวัดบางน้ำผึ้งนอก(บริหารจัดการโดยเอกชน)
2. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ เส้นทางท่าเรือคลองเตย-ท่าเรือก้านขาว โดยออกแบบให้จอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ โดยก่อสร้าง ปรับปรุง ติดตั้งหลังคาคลุม ติดตั้งระบบควบคุมการเข้าออก ระบบรักษาความปลอดภัย (บริหารจัดการโดยเอกชนเจ้าของพื้นที่) ต่อเรือที่ท่าเรือคลองเตย (บริหารจัดการและดำเนินการก่อสร้างท่าเรือขึ้นใหม่โดยเอกชนรายเดิม) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขาว (บริหารจัดการโดยภาครัฐ)
3. โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ เส้นทางท่าเรือคลองเตย-ท่าเรือก้านขาว โดยออกแบบให้จอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ โดยก่อสร้าง ปรับปรุง ติดตั้งระบบควบคุมการเข้าออก ระบบรักษาความปลอดภัย (บริหารจัดการโดยหน่วยงานภาครัฐที่อยู่ในพื้นที่) ต่อเรือที่ท่าเรือคลองเตย (บริหารจัดการแบบรัฐร่วมกับเอกชน หรือ Public Private Partnership, PPP โดยภาครัฐประสานความร่วมมือการดำเนินการก่อสร้างปรับปรุงท่าเรือและการบริหารท่าเรือร่วมกับเอกชนรายเดิมในรูปแบบที่เหมาะสม) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขาว (บริหารจัดการโดยภาครัฐ)

ทั้งนี้ ในอนาคตการปรับปรุงรูปแบบท่าเรือฝั่งบางกะเจ้า ควรออกแบบท่าเรือให้มีรูปแบบที่สื่อถึงอัตลักษณ์วิถีชุมชนบางกะเจ้าในทุกๆท่าเรือ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการตัดสินใจโดยวิธี AHP มีดังนี้

1) ค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจ (C.R.) พบว่าการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องในการตัดสินใจ (ค่าระหว่าง 0.014 ถึง 0.094 โดยมีค่าไม่เกิน 0.1)

2) ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยต่างๆในการคัดเลือกโครงการของผู้เชี่ยวชาญ แสดงดังตารางที่ 4 โดยค่าปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัยมีค่าระหว่าง 0.139 ถึง 0.574

ค่าปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน มีค่าระหว่าง 0.067 ถึง 0.614

ค่าปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม มีค่าระหว่าง 0.197 ถึง 0.382

ค่าปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน มีค่าระหว่าง 0.042 ถึง 0.283

**ตารางที่ 4** ค่าน้ำหนักความสำคัญและอัตราส่วนความสอดคล้องของปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญ

ที่	น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย				อัตราส่วน ความสอดคล้อง
	ด้านความเหมาะสม ทางวิศวกรรม และความปลอดภัย	ปัจจัยความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์ และการเงิน	ปัจจัยด้านกฎหมาย และผลกระทบ ด้านสิ่งแวดล้อม	ด้านการยกระดับ คุณภาพชีวิต ชุมชน	
1	0.139	0.614	0.197	0.050	0.073
2	0.539	0.093	0.282	0.086	0.065
3	0.418	0.081	0.217	0.283	0.051
4	0.455	0.090	0.372	0.083	0.030
5	0.432	0.100	0.382	0.086	0.014
6	0.481	0.067	0.382	0.070	0.019
7	0.574	0.104	0.271	0.051	0.092
8	0.558	0.122	0.263	0.057	0.066
9	0.411	0.148	0.380	0.061	0.015
10	0.515	0.157	0.286	0.042	0.094

3) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัย ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน และปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน ตามลำดับ (ค่าน้ำหนักของปัจจัยเท่ากับ 0.452 0.303 0.158 และ 0.087 ตามลำดับ)

4) ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับโครงการพบว่าโครงการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า โครงการที่มีความสำคัญได้แก่ โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ (บริหารจัดการโดยเอกชน) ต่อเรือที่ทำเรือคลองเตย (บริหารจัดการโดยเอกชน) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขวาง (บริหารจัดการโดยภาครัฐ) (ทางเลือกที่ 2) รองลงมาได้แก่ โครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่วัดบางนาออก (บริหารจัดการโดยเอกชน) ต่อเรือที่ทำเรือวัดบางนาออก (บริหารจัดการโดยเอกชน) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือวัดบางน้ำผึ้งนอก (บริหารจัดการโดยเอกชน) (ทางเลือกที่ 1) และโครงข่ายการขนส่งแบบรถต่อเรือ โดยจอดรถที่สำนักงานศุลกากรส่งออกท่าเรือกรุงเทพ (บริหารจัดการโดยภาครัฐ) ต่อเรือที่ทำเรือคลองเตยบริหารจัดการ (บริหารจัดการแบบรัฐร่วมกับเอกชน หรือ Public Private Partnership, PPP) และเข้าสู่บางกะเจ้าที่ท่าเรือก้านขวาง (บริหารจัดการโดยภาครัฐ) (ทางเลือกที่ 3) ตามลำดับ (ค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.489 0.331 และ 0.179ตามลำดับ)

## สรุป

ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาโครงการขยายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปัจจัยด้านความเหมาะสมทางวิศวกรรมและความปลอดภัย ปัจจัยด้านกฎหมายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน และปัจจัยด้านการยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชน ตามลำดับ (ค่าน้ำหนักของปัจจัยเท่ากับ 0.452 0.303 0.158 และ 0.087 ตามลำดับ) และงานวิจัยนี้ได้้นำปัจจัยที่ได้ไปประยุกต์ในการจัดลำดับโครงการพัฒนาโครงการขยายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อการท่องเที่ยวผ่านท่าเรือในพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบางกะเจ้า ทั้งนี้งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาโครงการขยายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์โดยนำปัจจัยต่างๆมาใช้ในการพิจารณาโดยส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการพัฒนาพื้นที่ของประเทศต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม และข้อเสนอแนะจากบุคลากรกรมเจ้าท่า กรมศุลกากร ผู้อำนวยการบริหารส่วนตำบลบางกะเจ้าและผู้อำนวยการบริหารส่วนตำบลบางน้ำผึ้ง และนายจักริน พูนวดีน นายธนพล เทพวงษ์ และนายเสกฐ์วุฒินันตะพันธ์ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการร่วมสำรวจและออกแบบ โดยงานวิจัยได้รับสนับสนุนงบประมาณโครงการจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวง กำหนดให้พื้นที่ตำบลบางกะเจ้า ตำบลบางกอบัว ตำบลบางน้ำผึ้ง ตำบลบางยอ ตำบลบางกระสอบ และตำบลทรงคนอง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เป็นเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม พุทธศักราช 2562. (2562) ราชกิจจานุเบกษา
- ชนินันท์ ทัพพะวาสน์, ภาคย์ คงนคร, ลัดดา จิตรเอียด, เอกพล ต่ำโชติ, กวรรรณ รุ่งสว่าง, กัลมณี ธรรมิกบวร, วีรภัทร สงวนดีกุล, วีระศักดิ์ สวัสดิ์, วิภาดา แสนตรี, จิรเมธ อุตตสรรคส์สาธิต, นรินทร์ ศรีมงคล. (2558).  
คู่มือบางกะเจ้า. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2563,  
จากเว็บไซต์ <https://issuu.com/kwangraspberri/docs/2016-03-31>
- เบญจวรรณ ยศเสนา. (2557).มูลค่าประโยชน์ของพื้นที่สีเขียวบางกะเจ้า สืบค้นเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2562  
จากเว็บไซต์ <http://dric.nrct.go.th/Search/ShowFulltext/2/277384>
- พระราชบัญญัติการเดินเรือในน่านน้ำไทย พุทธศักราช 2456. (2456) ราชกิจจานุเบกษา
- พระราชบัญญัติการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน พุทธศักราช 2562. (2562) ราชกิจจานุเบกษา
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พุทธศักราช 2537. (2537) ราชกิจจานุเบกษา
- สุชาติพิทย ชวนะเวสสกุล, และ ปกรณ์ เมฆแสงสวย. (2560).การกลายเป็นเมืองจากฝั่งเมืองรวม:กรณีศึกษาบางกะเจ้า. สืบค้น 30 มีนาคม 2562 จาก <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/JOS/article/viewFile/9519/8125>
- สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2553).การสำรวจข้อมูลต้นทางและปลายทาง. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2563,

จากเว็บไซต์ [http://www.surames.com/images/column\\_1227454933/chapter%203%20travel%20demand%20analysis.pdf](http://www.surames.com/images/column_1227454933/chapter%203%20travel%20demand%20analysis.pdf)

Crosby, Ned, Janet M. Kelly, and Paul Schaefer. 2000. Citizens Panels: A New Approach to Citizen Participation. *Public Administration Review* 46(2): 170-178

Ebdon, Carol and Aimee L. Franklin. 2004. "Searching for a Role for Citizens in the Budget Process." *Public Budgeting and Finance* 24(1): 32-49.

Halvorsen, Kathleen E. 2003. Assessing the Effects of Public Participation. *Public Administration Review* 63 (5): 535-543.

Kathlene, Lyn and John A. Martin. 1991. Enhancing Citizen Participation: Panel Designs, Perspectives, and Policy Formation. *Journal of Policy Analysis and Management* 10(1):46-63.

Robbins, Mark D., Bill Simonsen and Barry Feldman. 2008. Citizens and Resource Allocation: Improving Decision Making with Interactive Web-Based Citizen Participation. *Public Administration Review* 68 (3): 564-575.

Saaty, T.L. 2012. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, 2<sup>nd</sup> ed. Mc Graw-Hill, New York.

Saaty, T.L. 1990. *The Analytic Hierarchy Process*, paperback edition, RWS Publications, Pittsburgh. First appeared 1980, Mc Graw-Hill, New York.

Webler, Thomas and Seth Tule. 2000. Fairness and Competence in Citizen Participation: Theoretical Reflections from a Case Study. *Administration and Society* 32(5): 566-595.

## อิทธิพลของชนิดน้ำตาลต่อกระบวนการออสโมซิสของมะม่วง

Effect of type of sugar on osmotic dehydration process of mango

คณางค์ ลิขิตวิวัฒน์<sup>1</sup> ปราโมทย์ คูวิทจรารุ<sup>1</sup> และ บุศราภรณ์ มหาโยธี<sup>1</sup>  
Kakanang Likitwiwat<sup>1</sup> Pramote Khuwijtjaru<sup>1</sup> and Busarakorn Mahayothee<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลต่อกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสของมะม่วง โดยศึกษาผลของน้ำตาล 4 ชนิด ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโทส และไซโคส โดยเตรียมชิ้นมะม่วงพันธุ์แก้วมันขนาด 2 × 2 × 1 เซนติเมตร ที่มีระดับการสุกพอเหมาะ พิจารณาจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 17.2 – 18.2 องศาบริกซ์ นำชิ้นตัวอย่างแช่ลงในสารละลายออสโมติก ที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ศึกษาการเข้าสู่สมดุลของการแพร่ของน้ำตาลแต่ละชนิด โดยสุ่มตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนัก วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นทุกๆ 30 นาที พบว่า การแพร่ของน้ำตาลซูโครสเข้าสู่สมดุลที่เวลา 210 นาที โดยที่เวลาสมดุลชิ้นมะม่วงมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 22.9 องศาบริกซ์ คิดเป็นร้อยละของของแข็งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.22 ซึ่งมีย่าน้อยที่สุด และปริมาณน้ำที่สูญเสียร้อยละ 13.35 ในขณะที่การแพร่ของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโทส และไซโคส เข้าสู่สมดุลที่เวลา 150, 180 และ 180 นาทีตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เวลาสมดุล 26.3, 26 และ 28.5 องศาบริกซ์ตามลำดับ และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.90, 6.44 และ 6.50 ตามลำดับ และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.40, 17.54 และ 18.50 ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** ซูโครส, กลูโคส, ฟรุกโทส, ไซโคส, การแพร่

### Abstract

In this research, effect of type of sugar including sucrose, glucose, fructose, and psicose on osmotic dehydration process of mango was studied. Mango cv. Kaew-Kamin were prepared into 2 × 2 × 1 cm pieces with a total soluble solid of 17.2 – 18.2 °Brix. The samples were soaked in osmotic solutions at the concentration of 40 °Brix, at 30 °C to study the diffusion of each sugar. Samples were taken every 30 min to determine weigh, total soluble solid, and moisture. The results showed that, diffusion of sucrose reached the equilibrium in 210 min with the total soluble solids of 22.9 °Brix representing a solid gain of 2.22 % and water loss of 13.35 %, while it took 150, 180 and 180 min for glucose, fructose and psicose respectively with the total soluble solids of 26.3, 26 and 28.5 °Brix, respectively and in solid gain of 4.90, 6.44 and 6.50 % respectively. And in water loss of 20.40, 17.54 and 18.50 % respectively

**Keyword :** sucrose, glucose, fructose, psicose, diffusion

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakom University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

มะม่วงแก้วขมิ้นเป็นมะม่วงที่นิยมนำมาผลิตมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งกันอย่างแพร่หลาย โดยในการเตรียมผลไม้แช่อิ่มอบแห้งนั้น ขึ้นผลไม้จะผ่านการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (osmosis) ก่อนการนำขึ้นผลไม้ไปทำแห้ง ซึ่งการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซินั้นสามารถใช้สารละลายออสโมติกหลายชนิด เช่น การใช้น้ำตาลซูโครสในสารละลายออสโมติกสำหรับเมล็ดทับทิม (Allahdad และคณะ 2019) และการใช้กลีเซอรอลร่วมกับมอลโทเรคเตอรินในสารละลายออสโมติกสำหรับโกจิเบอร์รี่ (Dermesonlouglou และคณะ 2018)

การออสโมซิสเป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากชิ้นผักและผลไม้ โดยการถ่ายโอนมวลสารจากสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปยังชิ้นผักและผลไม้ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า แต่โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการออสโมซิสจะมีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลองเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสและสี ดังนั้นอาจมีการเติมสารบางชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น การเติมสารให้ความหวานซึ่งเป็นทางเลือกอื่นนอกจากน้ำตาลซูโครส เช่น การเติมหญ้าหวาน การเติมน้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือการเติมน้ำตาลชนิดอื่นที่ให้แคลอรีต่ำ เป็นต้น (Cichowska และคณะ 2019)

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้ในการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ได้แก่ สารละลายที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้นของสารละลายที่มักใช้อยู่ระหว่าง 35-65 องศาบริกซ์ (García-Segovia และคณะ 2010) ซึ่งชนิดของน้ำตาลเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้นั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการแพร่ของน้ำตาลต่างชนิด ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และไซโคสในชิ้นมะม่วง

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้นในสารละลายน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และไซโคส

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่าง

มะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น จากจังหวัดฉะเชิงเทรา ลักษณะดิบแก่ผลสีเขียวไม่มีรอยช้ำ นำมาปอกให้สุกเนื้อแข็ง โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 17.2 – 18.2 องศาบริกซ์ จากนั้นล้างมะม่วงให้สะอาด ปอกเปลือกและนำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด  $2 \times 2 \times 1$  เซนติเมตร และสุ่มตัวอย่างจากแต่ละผลไปวิเคราะห์คุณภาพมะม่วงสดได้แก่ ชั่งน้ำหนัก วัดค่าสี ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

เตรียมสารละลายน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และไซโคส ให้มีความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์

### การศึกษาการออสโมซิส

นำตัวอย่างชิ้นมะม่วงมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นทุกชิ้นก่อนนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และไซโคส ในอัตราส่วนชิ้นมะม่วงต่อสารละลายน้ำตาล 1:2 โดยน้ำหนัก โดยภาชนะที่ใช้มีขนาดเท่ากันในแต่ละระบบ และปิดทับด้วยตาข่ายพลาสติกเพื่ออกให้ชิ้นมะม่วงจมในสารละลาย ควบคุมอุณหภูมิสารละลาย 30 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ตัวอย่างถูกสุ่มมาชั่งน้ำหนัก วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าปริมาณความชื้นครั้งละ 3 ชิ้น ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลาทั้งหมด 240 นาที เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) (Pereira และคณะ 2006)



$$\text{Water loss (\%)} = \frac{w_i X_i - w_f X_f}{w_i} \times 100$$

$$\text{Solid gain (\%)} = \frac{w_f X_{sf} - w_i X_{si}}{w_i} \times 100$$

เมื่อให้  $w_i$  = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (g)

$w_f$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่สารละลายออสโมติก (g)

$X_i$  = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (g water/g sample)

$X_f$  = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการแช่สารละลายออสโมติก (g water/g sample)

$X_{si}$  = ปริมาณของแข็งของตัวอย่างเริ่มต้น (g total solid/g sample)

$X_{sf}$  = ปริมาณของแข็งของตัวอย่างหลังการแช่สารละลายออสโมติก (g total solid/g sample)

การใช้สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 16.0 for Windows Evaluation Version ที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

## ผลและวิจารณ์

มะม่วงที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $17.2 \pm 1$  องศาบริกซ์ และมีค่าสีของขึ้นมะม่วงที่วัดในรูปของค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าสีเขียวไปจนถึงสีแดง ( $a^*$ ) และ ค่าสีน้ำเงินไปจนถึงสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 66.19, 16.07 และ 64.66 ตามลำดับ

ผลการแช่ขึ้นมะม่วงลงในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที พบว่า การแพร่ของน้ำตาลแต่ละชนิดเข้าสู่สมดุลที่เวลาต่างกัน โดยน้ำตาลซูโครสเข้าสู่สมดุลที่เวลา 210 นาที ซึ่งใช้เวลานานที่สุด โดยขึ้นมะม่วงมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 22.9 องศาบริกซ์ (ภาพที่ 1) เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลสูง เมื่อเทียบกับน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และไซโคส ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกต่ำ ส่งผลให้สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้าสู่สภาวะสมดุลช้า (Marani และคณะ 2007) ในขณะที่การแพร่ของน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่สมดุลที่เวลา 150 นาที โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 26.3 องศาบริกซ์ (ภาพที่ 2) สำหรับการแพร่ของฟรุคโทส และไซโคส เข้าสู่สมดุลพร้อมกันที่เวลา 180 นาที และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 26 และ 28.5 องศาบริกซ์ตามลำดับ (ภาพที่ 3 และ 4)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำที่สูญเสียที่เวลา (WL) ที่เวลา 240 นาที (ภาพที่ 5) พบว่า การแพร่ของน้ำตาลซูโครสแตกต่างจากน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และไซโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแพร่ของน้ำตาลซูโครสเข้าสู่ขึ้นมะม่วงน้อยกว่าน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และไซโคส ทำให้การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสมีค่าน้อยกว่าเมื่อพิจารณาจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.22 และปริมาณน้ำที่ลดลงร้อยละ 13.35 (ภาพที่ 5) ในขณะที่การแพร่ของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และไซโคส มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.90, 6.44 และ 6.50 ตามลำดับ และปริมาณน้ำที่ลดลงร้อยละ 20.40, 17.54 และ 18.50 ตามลำดับ

## สรุป

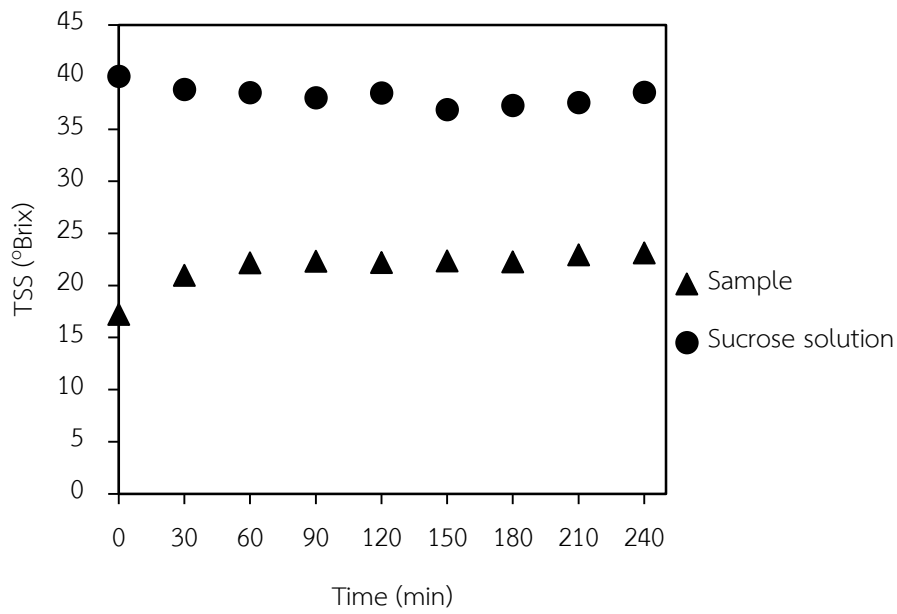
การศึกษาดัชนีการแพร่ของน้ำตาลต่างชนิดต่อกระบวนการออสโมซิสของมะม่วง แสดงให้เห็นว่าสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้าสู่สมดุลช้ากว่าสารละลายน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และไซโคส ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

## คำขอบคุณ

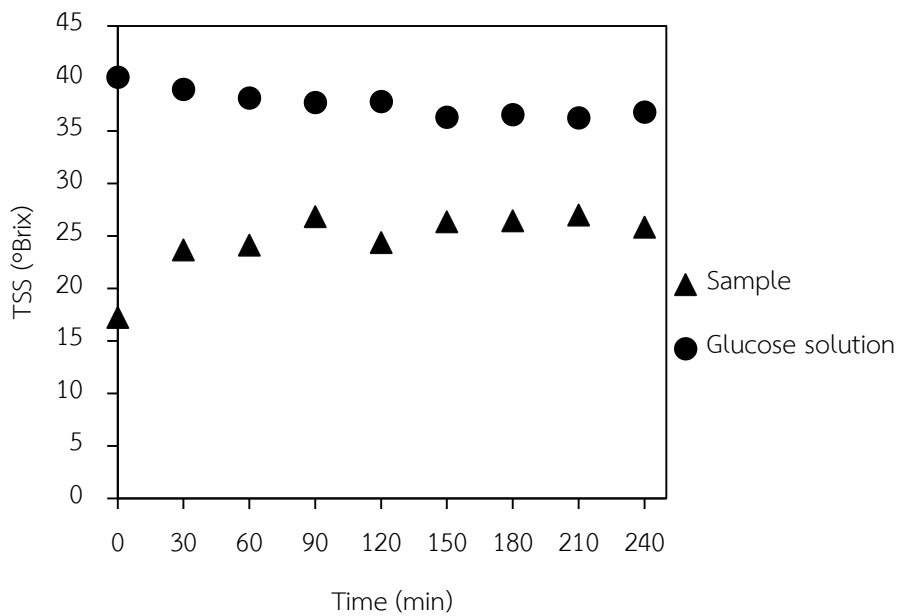
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการใช้น้ำตาลไซโคสในผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่า” ได้รับทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2562 (SURIC 620102) ผ่านสำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## เอกสารอ้างอิง

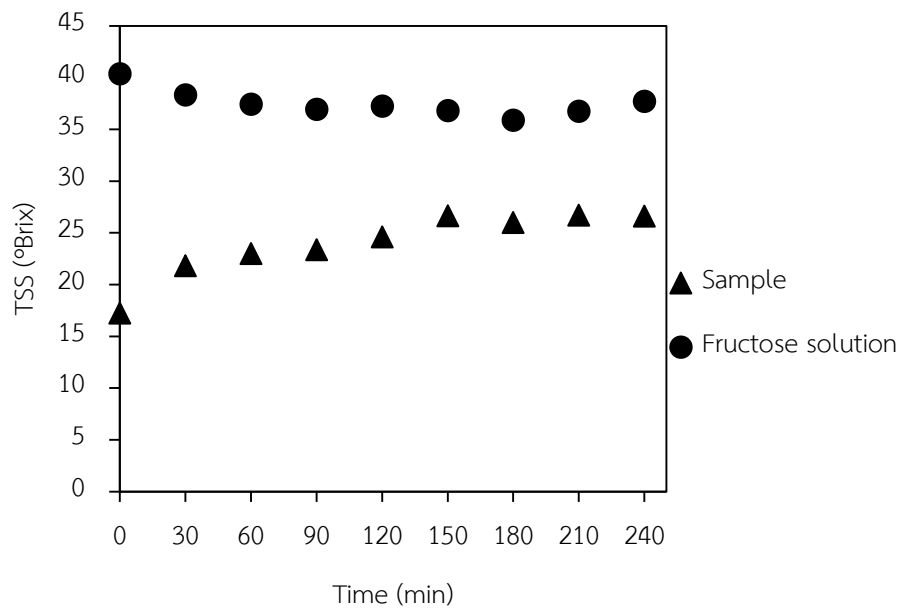
- Allahdad, Z., Nasiri, M., Varidi, M., & Varidi, M. J. (2019). Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils. *Journal of Food Engineering*, 244, 202-211.
- Cichowska, J., Witrowa-Rajchert, D., Stasiak-Rozanska, L., & Figiel, A. (2019). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of apples in polyols and dihydroxyacetone (DHA) solutions. *Molecules*, 24(19).
- Dermesonlouoglou, E., Chalkia, A., & Taoukis, P. (2018). Application of osmotic dehydration to improve the quality of dried goji berry. *Journal of Food Engineering*, 232, 36-43.
- García-Segovia, P., Moggetti, C., Andrés-Bello, A., & Martínez-Monzó, J. (2010). Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). *Journal of Food Engineering*, 97(2), 154-160.
- Marani, C.M., Agnelli, M.E., & Mascheroni, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79, 1122–1130.
- Pereira, L. M., Ferrari, C. C., Mastrantonio, S. D. S., Rodrigues, A. C. C., & Hubinger, M. D. (2006). Kinetic aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 24(4), 475-484.



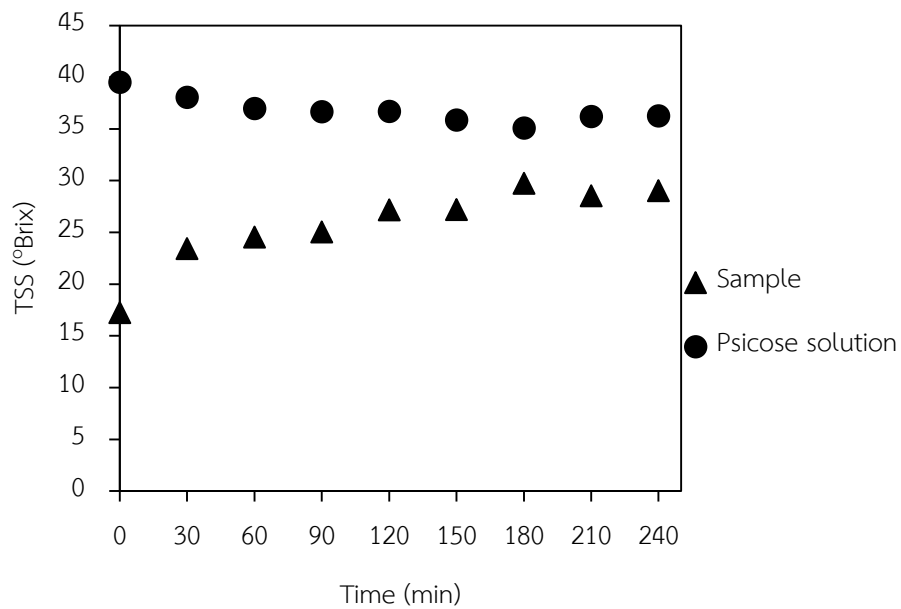
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นมะม่วงและสารละลายน้ำตาลซูโครส



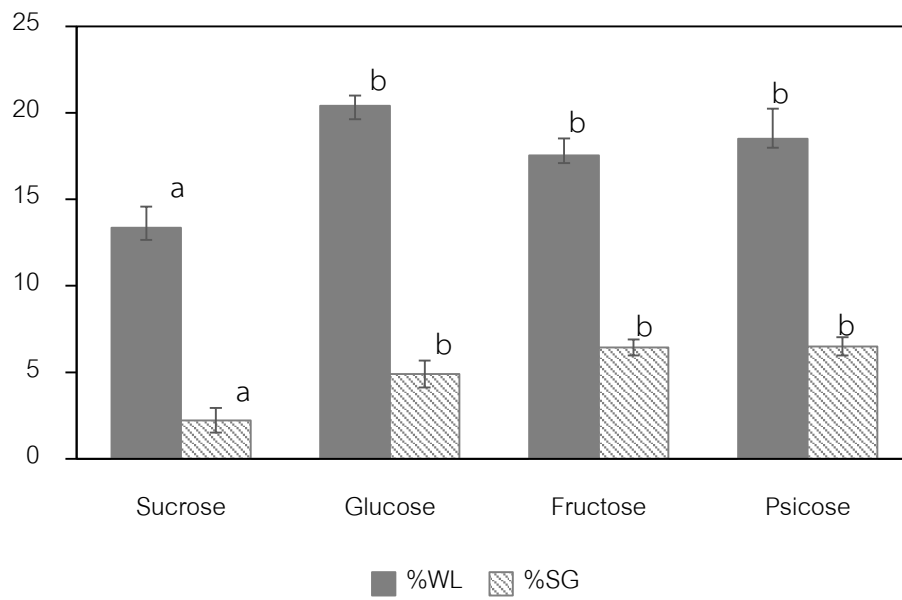
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นมะม่วงและสารละลายน้ำตาลกลูโคส



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นมะม่วงและสารละลายน้ำตาลฟรุกโตส



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นมะม่วงและสารละลายน้ำตาลไซโคส



ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของซึ้นมะม่วงในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่เวลา 240 นาที

## การเปรียบเทียบสัญญาณทางสรีรวิทยาที่บ่งชี้การตกไข่ ในลิงหางยาว (*Macaca fascicularis*) ทางตอนเหนือ และตอนใต้ของประเทศไทย

Comparing the physiological signs of ovulation timing between northern and southern Thai long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*)

### บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์ autosomal SNP ของ Bunlungsup et al. (2017b) พบว่าลิงหางยาวทางตอนเหนือของประเทศไทยที่จังหวัดพิจิตร (WHM) ที่อาศัยอยู่ใกล้พื้นที่ที่มีรายงานการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างลิงวอกและลิงหางยาว มีพันธุกรรมของลิงวอกปะปนถึง 50% ในขณะที่ลิงหางยาวทางตอนใต้ที่จังหวัดสงขลา (KN/KTK) มีพันธุกรรมของลิงวอกปะปนเพียง 15% ด้วยการบวมแดงของผิวหนังรอบอวัยวะเพศในลิงเพศเมียที่บ่งชี้การตกไข่และสามารถส่งสัญญาณผ่านการมองเห็นต่อลิงเพศผู้ได้ มีความแตกต่างกันระหว่างลิงวอกและลิงหางยาว โดยลิงวอกพบการแดงเป็นบริเวณกว้างปราศจากการบวม ในขณะที่ลิงหางยาวมีการแดงเป็นบริเวณแคบแต่มีการบวมที่โคนหาง จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะผิวหนังรอบอวัยวะเพศระหว่างลิง WHM และ KN/KTK คัดเลือกลิงเพศเมียโตเต็มวัย 10 ตัวต่อพื้นที่ ติดตามถ่ายรูปลงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ในทุกเดือน นาน 12 เดือน โดยกำหนดระดับการบวมแดงจาก 0 ถึง 4 พบว่าค่าเฉลี่ยการบวมที่โคนหางในลิง KN/KTK ( $1.50 \pm 0.85$ ) มากกว่า WHM ( $0.70 \pm 0.48$ ) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแดงของลิง WHM ( $2.70 \pm 0.82$ ) มากกว่า KN/KTK ( $2.00 \pm 0.00$ ) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าความแตกต่างของระดับการปะปนทางพันธุกรรมของลิงวอกในลิงหางยาวมีผลต่อสัญญาณทางสรีรวิทยาที่บ่งชี้การตกไข่ในลิงหางยาวเพศเมียหรืออีกนัยหนึ่งคือมีผลต่อการสืบพันธุ์

**คำสำคัญ :** การปะปนทางพันธุกรรม, การบวมของผิวหนังอวัยวะเพศ, การแดงของผิวหนังอวัยวะเพศ, ลิงหางยาว

### Abstract

Using autosomal SNP makers, Bunlungsup et al. (2017b) reported that northern Thai long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*; *Mf*) at Pichit province ( $16^{\circ}30'N$ ; WHM population) living close to the hybrid zone between *Mf* and rhesus macaques (*M. mulatta*; *Mm*) carried higher levels of genetic admixture of rhesus ancestry than the southern one at Songkhla province ( $7^{\circ}12'N$ ; KN/KTK population). Changes of sex skin reddening and swelling which can indicate the ovulation timing and transmit the visual signals to male macaques were different between female *Mf* and *Mm*; *Mm* had sex skin reddening in a large area without swelling while *Mf* showed a narrow area of swelling at the base of tail. Thus, it is of interest to compare the sex skin patterns between the WHM and KN/KTK population. Ten adult female macaques from each population were randomly selected as focal animals, followed, and photographed for one week in every month for 12 months. The levels of sex skin swelling and reddening were scored from 0 to 4. The sex skin swelling at the base of the tail in the KN/KTK population ( $1.50 \pm 0.85$ ) was

significantly larger than the WHM population ( $0.70 \pm 0.48$ ) ( $p < 0.05$ ), while the sex skin reddening area in the WHM population ( $2.70 \pm 0.82$ ) was significantly wider than the KN/KTK population ( $2.00 \pm 0.00$ ) ( $p < 0.01$ ). Our results indicate that the different level of genetic admixture of rhesus ancestry into long-tailed populations had an effect on physiological signs of ovulation timing of female long-tailed macaques, implying the effect on reproduction.

**Keywords:** genetic admixture, sex skin swelling, sex skin reddening, long-tailed macaques

## Introduction

Long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*) are the most encountered species among 17 species of non-human primates in Thailand (Grove, 2001; Malaivijitnond and Hamada, 2008). They distributed from the lower northern (Pichit and Mukdahan province at approximately  $16^{\circ} 30'N$ ) to the southern part (Yala and Satun province at approximately  $6^{\circ} 30'N$ ) of Thailand. They also live closely with rhesus macaques (*M. mulatta*) at  $15 - 21^{\circ}N$ , which was proposed as a hybrid zone and a hybridization between the two species was confirmed by morphological characteristics (Hamada et al., 2016), ABO blood group (Kanthaswamy et al., 2017; Malaivijitnond et al., 2008) and various genetic markers including mitochondrial DNA, Y-chromosome, nuclear DNA, microsatellite DNA and single nucleotide polymorphism (SNP) (Tosi et al., 2002; Street et al., 2007; Kanthaswamy et al., 2008; Bonhomme et al., 2009; Stevison and Kohn, 2009; Osada et al., 2010; Bunlungsup et al., 2017a; 2017b). Because rhesus and long-tailed macaques are the two most species used for biomedical research, thus, in the past two decades there have been a lot of research on their genetic and morphological characteristics and the hybrids.

Using uniparental markers such as Y-chromosome gene or mitochondrial DNA (Tosi et al., 2002; Bunlungsup et al., 2017a), the hybridization between rhesus and long-tailed macaques was terminated around the Isthmus of Kra ( $10^{\circ} 20'N$ ), a zoogeographical barrier between Indochina and Sunda. However, the recent results using the sensitive markers such as genome-wide level and SNP, the hybridization was far beyond the Isthmus of Kra to the southernmost Thailand and the genetic admixture by the introgression of male rhesus macaques into the population of long-tailed macaques was diluted when it was far from the proposed hybrid zone (Osada et al., 2010; Bunlungsup et al., 2017b). By morphological characteristics, the pelage color and relative tail length are different between rhesus and long-tailed macaques. Rhesus macaques have a bipartite pattern of the pelage color that the lower part of their body is more reddish-yellowish than the upper part, while it is absence in long-tailed macaques. Rhesus macaques have a shorter relative tail length (RTL < 70%) than those of long-tailed macaques (%RTL > 90%) (Fooden, 1995; Hamada et al., 2006). Thus, the northern long-tailed macaques living close to the hybrid zone had the lighter pelage color and shorter RTL than the southern ones (Hamada et al., 2008).

In view of the reproductive pattern, rhesus macaques showed strong reproductive and birth seasonality (or strictly seasonal breeder) (Vandenbergh and Vessey, 1968), while long-tailed macaques are weak (or non-seasonal breeder; Hobbs et al., 1987; Tardif et al., 2012). Rhesus and long-tailed macaques live in multi-male multi-female group in which adult males mate with multiple females and *vice versa*. Thus, changes of sex skin which indicates the fertile phase in females and increases attractiveness to male conspecifics is very important (Nunn, 1999). Rhesus macaques have large areas of sex skin reddening around hindquarter including anogenital area, legs and thighs without swelling (Dixon, 1998; Dubuc et al., 2009), while long-tailed macaques show narrow area of sex skin reddening from subcaudal to inguinal regions, but a sex skin swelling at the base of tail is conspicuous (Engelhardt et al., 2005). Up to now, no reports on changes of sex skin of long-tailed macaques that carry different degree of genetic admixture of rhesus ancestry. Reproduction is essential for the existing of the species, thus understanding the influence of hybridization on physiological signs of ovulation timing in long-tailed macaques is important. Two populations of Thai long-tailed macaques that carried 50% and 15% of genetic admixture of rhesus ancestry are subjected for this study (Bunlungsup et al., 2017b), and sex skin swelling and reddening are the indicators of the physiological signs on ovulation timing.

## Objective

To compare the physiological signs on ovulation timing between two populations of Thai long-tailed macaques that carry different levels of genetic admixture of rhesus ancestry.

## Materials and Methods

### Animals and study sites

Two populations of Thai long-tailed macaques which carried different levels of genetic admixture of rhesus ancestry analysed using autosomal SNP markers (Bunlungsup et al., 2017b) were subjected for this study. The Wat Haad Moon Kra Beau (WHM) population at Pichit province ( $16^{\circ}30'N$ ) and Khao Noi Khao Tangkuan (KN/KTK) population at Songkhla province ( $7^{\circ}12'N$ ) that carried 50% and 15% of rhesus ancestry, respectively, were selected as representatives of the northern and the southern population. Ten adult females in each population were randomly selected as focal animals.

### Data collection and assessment

Focal female monkeys were followed and photographed for one week in every month for 12 months from January to December 2018 using a digital camera (Canon EOS 700D). The photographs were taken in the distance of at least three meters from the monkeys in an avoidance to the disturbance of their daily activities and they should not be under the shade. Scoring of sex skin swelling at the base of the tail was followed Engelhart et al. (2015) with slight modification; scoring ranging from 0 to 4 (Fig. 1).



Scoring of sex skin reddening was modified from Jedjaroen et al. (2015). The scoring ranged from Level 1 to 4 as follows; Level 1: reddening area is between ischial callosity and/or at the base of the tail; Level 2: reddening area of Level 1 plus the inguinal part; Level 3: reddening area of Level 2 plus the hindquarter area (or outside the ischial callosity); and Level 4: reddening area of Level 3 plus the thigh. (Fig.2). The experimental protocol was approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of Faculty of Science, Chulalongkorn University (Protocol review number 1723017).

#### Statistical analysis

We used the mode of the 12-month data as a representative value for each individual and presented as average  $\pm$  SD for each population. Mann-Whitney U test was used to determine the significant difference between two populations. Statistic tests were conducted with SPSS software program for Windows and a significant level was set at  $p < 0.05$ .

### **Result and Discussion**

The average score of sex skin swelling and reddening between the two populations of long-tailed macaques were significantly different. Although most of the female macaques had the mode of the scoring of the sex skin swelling as 1 for two populations, the average score of the WHM population ( $0.70 \pm 0.48$ ) was significantly lower than the KN/KTK population ( $1.50 \pm 0.85$ ;  $p < 0.05$ ; Fig. 3). Three female macaques in the WHM population did not show sex swelling (mode of scoring was 0), our results are in line with the previous report denoting that some female macaque did not show any physiological signs although her reproduction was normal (Furtbauer et al. 2010). Contrarily, most of the animals at the WHM and KN/KTK population had the modes of scoring of sex skin reddening at 3 and 2, respectively. As such, the average score of the WHM population ( $2.70 \pm 0.82$ ) was significantly higher than the KN/KTK population ( $2.00 \pm 0.00$ ;  $p < 0.01$ ; Fig. 3).

Exaggerated sex skin swelling in long-tailed macaques and large reddening area in rhesus macaques reflected high serum estrogen levels and ovulation time. These changes can transmit the visual signals to male macaques. In rhesus macaques, there are a plexus of large, thin-walled blood vessel below the epidermis around sex skin (Collings, 1926), thus, sex skin reddening covers a large area (Dixon, 1998). Sex skin reddening in rhesus macaques indicates the start of the mating season (Fooden, 2000) and sex skin swelling at the base of the tail in non-seasonal breeders as long-tailed macaques indicates the ovulation time (Fooden, 1995; Engelhart et al., 2015). Although sex skin swelling and reddening in macaques very fluctuated throughout the year, we used the mode from 12 months of observation to represent the value of each individual which supports the reliability of our results.

Based on our results, the WHM female long-tailed macaques who carried 50% of genetic admixture of rhesus ancestry had a smaller sex skin swelling at the base of the tail but larger sex skin

reddening area than the KN/KTK females who gained only 15% of genetic admixture of rhesus ancestry. In conclusion, the sex skin pattern in the WHM females tends to be similar to the rhesus macaques and that of the KN/KTK population is inclined to the long-tailed macaques (Fig. 4). This finding confirms our previous study reporting that Indochinese long-tailed macaques less developed the swelling at the base of the tail, only Level 1 or 2, comparing to the Sundaic ones which were mostly at Level 4 (Malaivijitnond et al., 2007a). In multi-male and multi-female group of macaques, males leave their natal group before sexual maturity (or male dispersal) while females live permanently in the group (or female philopatry). Thus, the scenario of hybridization in long-tailed macaques was that the male rhesus macaques introgressed into and mated with females of long-tailed populations (Tosi et al., 2002; Bunlungsup et al., 2017a). Our results indicate that the genetic admixture of rhesus ancestry has an effect on physiological signs of ovulation timing of female long-tailed macaques, implying the effect on reproduction. To the best of our knowledge, this is the first report during the past two decades of research on hybridization between rhesus and long-tailed macaques on physiological characteristics. It is therefore of interest to pursue if the genetic admixture of rhesus ancestry has an effect on reproductive pattern; seasonal or non-seasonal breeders, of northern and southern Thai long-tailed macaques.

## Conclusion

The different level of genetic admixture of rhesus ancestry into long-tailed populations had an effect on physiological signs of ovulation timing in female long-tailed macaques. The northern population living closer to the hybrid zone and carrying higher level of genetic admixture of rhesus ancestry (the WHM population) were likely to exhibit the sex skin pattern of rhesus macaques than the southern population (the KN/KTK population).

## Acknowledgement

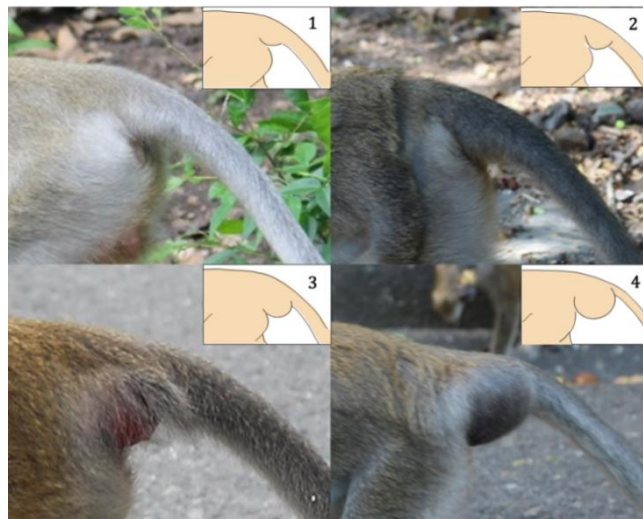
We thank all staff of the National Primate Research Center of Thailand-Chulalongkorn University and Nitichai's family for support and help in the field. This study was financially supported by the Thailand Research Fund-Chinese Academy of Science (grant number DBG60), Thailand Research Fund Senior Scholar (grant number RTA6280010), and Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund.

## References

- Bonhomme M., Cuartero S., Blancher A. and Crouau-Roy B. (2009). Assessing natural introgression in 2 biomedical model species, the rhesus macaque (*Macaca mulatta*) and the long-tailed macaque (*Macaca fascicularis*). *J Hered.* 100:158-169.
- Bunlungsup S., Imai H., Hamada Y., Matsudaira K. and Malaivijitnond S. (2017a). Mitochondrial DNA and two Y-chromosome genes of common long-tailed macaques (*Macaca fascicularis fascicularis*) throughout Thailand and vicinity. *Am J Primatol.* 79(2) :1-13.

- Bunlungsup S., Kanthaswamy S., Oldt R.F., Smith D.G., Houghton P., Hamada Y., et al. (2017b). Genetic analysis of samples from wild populations opens new perspectives on hybridization between long-tailed (*Macaca fascicularis*) and rhesus macaques (*Macaca mulatta*). *Am J Primatol.* 79(12).
- Collings M. R. (1926). A study of the cutaneous reddening and swelling about the genitalia of the monkey *Macacus rhesus*. *Anat. Rec.* 33: 271-287.
- Dubuc C., Brent L. J. N., Accamando A. K., Gerald M. S., MacLarnon A., Semple S., Heistermann M. and Engelhardt. (2009). Sexual skin colour contains information about the timing of the fertile phase in free-ranging *Macaca mulatta*. *Int J Primatol.* 30(6): 777-789.
- Engelhardt A., Hodges J. K., Niemitz C. and Heistermann M. (2015). Female sexual behaviour, but not sex skin swelling, reliably indicates the timing of the fertile phase in wild long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*). *Horm Behav.* 47: 195-204.
- Fooden J. (1995). Systematic review of Southeast Asian long tail macaques, *Macaca fascicularis* (Raffles, 1821). *Fieldiana Zool.* 81: 1-206.
- Fooden J. (2000). Systematic review of rhesus macaque, *Macaca mulatta* (Zimmermann, 1780). *Fieldiana Zool.* 96: 1-180.
- Groves C. (2001). *Primate Taxonomy*. Washington, USA: Smithsonian Institution Press.
- Hamada Y., Hadi I., Malaivijitnond S. and Urasopon N. (2006). Body size and proportions and pelage colour of free-ranging *Macaca mulatta* from a zone of hybridization in northeastern Thailand. *Int J Primatol.* 27: 497-513.
- Hamada Y., Suryobroto B., Goto S. and Malaivijitnond S. (2008). Morphological and body color variation in Thai *Macaca fascicularis fascicularis* north and south of the Isthmus of Kra. *Int J Primatol.* 29 : 1271-1294.
- Hamada Y., San A. M. and Malaivijitnond S. (2016). Assessment of the hybridization between rhesus (*Macaca mulatta*) and long-tailed macaques (*M. fascicularis*) based on morphological characters. *Am J Phys Anthropol.* 159 :189-198.
- Jadejaroen J., Hamada Y., Kawamoto Y. and Malaivijitnond S. (2015). Use of photogrammetry as a means to assess hybrids of rhesus (*Macaca mulatta*) and long-tailed (*M. fascicularis*) macaques. *Primates.* 56: 77-88.
- Kanthaswamy S., Ng J., Oldt R., Valdivia L., Houghton P. and Smith D. G. (2017). ABO blood group phenotype frequency estimation using molecular phenotyping in rhesus and cynomolgus macaques. *HLA.* 90 :295-299.
- Kanthaswamy S., Satkoski J. A., George D., Kou A., Erickson B. J. and Smith D. G. (2008). Interspecies hybridization and the stratification of nuclear genetic variation of rhesus (*Macaca Mulatta*) and long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*). *Int J Primatol.* 29: 1295-1311.

- Malaivijitnond S., Hamada Y., Suryobroto B. and Takenaka O. (2007). Female long-tailed macaques with scrotum-like structure. *Am J Primatol.* 69: 721-735.
- Malaivijitnond S. and Hamada Y. (2008). Current situation and status of long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*) in Thailand. *Nat Hist J Chula Univ.* 8: 185-204.
- Malaivijitnond S., Sae-low W. and Hamada Y. (2008). The Human-ABO blood groups of free-ranging long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*) and parapatric rhesus macaques (*M. mulatta*) in Thailand. *J Med Primatol.* 37: 31-37.
- Nunn CL. (1999). The evolution of exaggerated sexual swellings in primates and the graded-signal hypothesis. *Anim Behav.* 58(2):229-246.
- Osada N., Uno Y., Mineta K., et al. (2010). Ancient genome-wide admixture extends beyond the current hybrid zone between *Macaca fascicularis* and *M. mulatta*. *Mol Ecol.* 19: 2884-2895.
- Stevison L.S. and Kohn MH. (2009). Divergence population genetic analysis of hybridization between rhesus and cynomolgus macaques. *Mol Ecol.* 18:2457-2475.
- Tosi A.J., Morales J.C. and Melnick D. J. (2002). Y-chromosome and mitochondrial markers in *Macaca fascicularis* indicate introgression with Indochinese *M. mulatta* and a biogeographic barrier in the Isthmus of Kra. *Int J Primatol.* 23:161-178.



**Figure 1.** Sex skin swelling at the base of the tail, from Level 1 to 4.

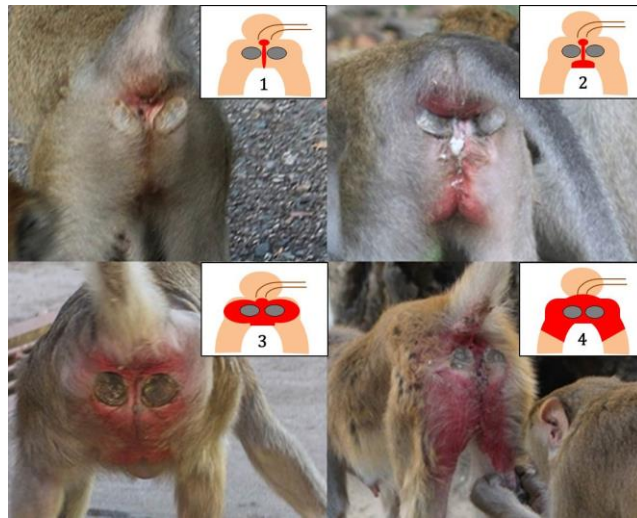


Figure 2. Sex skin reddening from Level 1 to 4.

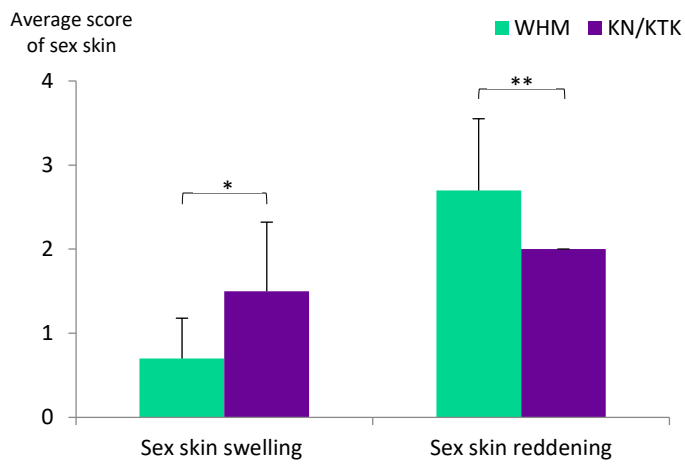


Figure 3. Average score of sex skin swelling and reddening of WHM and KN/KTK population. \* and \*\* represents  $p < 0.05$  and  $0.01$ , respectively.



Figure 4. Representative photos of patterns of sex skin reddening of the WHM population (left panel) and sex skin reddening and swelling at the base of the tail and of the KN/KTK population (right panel).

# การจำแนกสปีชีส์ *Mycobacterium avium* complex ด้วยการหาลำดับเบสของยีน *gyrB*

## Differentiation of *Mycobacterium avium* complex species by *gyrB* gene sequencing

เท็ดศักดิ์ สุทธา<sup>1</sup>, พิทักษ์ สันตนิรันดร์<sup>2</sup>, ปาหนัน รัฐวงษ์ศิริกุล<sup>3</sup>

Thertsuk Suthat<sup>1</sup>, Pitak Santanirand<sup>2</sup>, Panan Ratthawongjirakul<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

อุบัติการณ์ผู้ติดเชื้อที่มีสาเหตุมาจาก *Mycobacterium avium* complex (MAC) มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน เนื่องมาจากแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของผู้ป่วยที่มีภาวะภูมิคุ้มกันต่ำ ในขณะที่การวินิจฉัยจำแนกเชื้อโดยวิธีดั้งเดิมไม่สามารถจำแนกเชื้อในกลุ่มดังกล่าวออกจากกันได้และใช้ระยะเวลาในการทดสอบ จุดประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือการนำลำดับเบสของยีน *gyrB* ซึ่งเป็นยีนอนุรักษ์ มาใช้จำแนกสายพันธุ์ของ MAC จำนวน 98 สายพันธุ์ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจ โดยทำการเปรียบเทียบลำดับเบสกับเชื้อ *Mycobacterium* สายพันธุ์มาตรฐาน จำนวน 24 สายพันธุ์ พบว่าเชื้อส่วนใหญ่ที่ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่ม *M. intracellulare* และ *Mycobacterium* สายพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงทางพันธุกรรม อาทิเช่น *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. yongonense* และ *M. indicus pranii* และกลุ่ม *M. avium* ซับสปีชีส์ต่างๆ ซึ่งเชื้อทั้งสองกลุ่มดังกล่าวเป็นเชื้อก่อโรคหลักที่สำคัญของ MAC ที่พบได้บ่อย ผลการวิเคราะห์แผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการแสดงให้เห็นว่า ทั้ง *M. avium* และ *M. intracellulare* มีลำดับวิวัฒนาการที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน โดยมี Signature nucleotides ที่แตกต่างกันถึง 57 ตำแหน่ง ในขณะที่เชื้อในกลุ่ม MAC มีวิวัฒนาการไกลออกไปจาก *Mycobacterium tuberculosis* complex มากกว่าเชื้อในกลุ่ม Nontuberculous mycobacteria ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการนำลำดับเบสของยีน *gyrB* มาใช้ในการจำแนกและศึกษาความสัมพันธ์ของ MAC ซึ่งเป็นกลุ่มเชื้อที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรม

**คำสำคัญ:** Phylogenetic tree, *Mycobacterium*, MAC, *gyrB*

<sup>1</sup> หลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับโมเลกุลทางจุลชีววิทยาทางการแพทย์และวิทยาภูมิคุ้มกัน, คณะสหเวชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Program of Molecular Sciences in Medical Microbiology and Immunology, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup> หน่วยจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย  
Microbiology Unit, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>3</sup> หน่วยวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา, คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Research Unit of Innovative Diagnosis of Antimicrobial Resistance, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

## Abstract

The incidence of infections caused by *Mycobacterium avium* complex (MAC) has been increased owing to the rising in immunocompromised patients. Conventional phenotypic tests do not discriminate between these closely related species and are time-consuming. This study aimed to use the nucleotide sequences of partial housekeeping *gyrB* gene for differentiation of 98 strains of MAC comparing to 24 strains of the *Mycobacterium* standard strains. When sequencing analysis was performed, MAC was clearly identified. Most of the species were classified in the *M. intracellulare* group, which comprised of *M. intracellulare* and the closely related species including *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. yongonense* and *M. indicus pranii*, and in the *M. avium* group. While both of *M. avium* and *M. intracellulare* are the most common etiologic agents among MAC, the phylogenetic tree demonstrates a clearly distinguish between these two groups. There were total of 57 signature nucleotides that were different between *M. avium* and *M. intracellulare*. Furthermore, MAC was found to be genetically far from the *Mycobacterium tuberculosis* complex rather than the Nontuberculous mycobacteria. The results obtained here suggested that *gyrB* sequence is useful for the species identification of MAC and phylogenetic analysis.

**Keywords:** Phylogenetic tree, *Mycobacterium*, MAC, *gyrB*

## บทนำ

*Mycobacterium avium* complex หรือ MAC เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีความสำคัญทางคลินิก จัดอยู่ในกลุ่ม *Mycobacterium* สายพันธุ์ที่ไม่ใช่เชื้อก่อวัณโรค (Nontuberculous mycobacteria: NTM) ปัจจุบันพบอุบัติการณ์การติดเชื้อที่มีสาเหตุมาจาก MAC เพิ่มขึ้นทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทย เนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่มีภาวะภูมิคุ้มกันของร่างกายบกพร่อง อาทิเช่น ผู้ป่วยโรคเอดส์ โรคมะเร็งทางโลหิตวิทยา ผู้ป่วยที่ได้รับยากดภูมิคุ้มกัน เป็นต้น เชื้อในกลุ่ม MAC ประกอบด้วย 2 สปีชีส์ที่ก่อโรคหลักที่สำคัญ ได้แก่ *Mycobacterium avium* และ *Mycobacterium intracellulare* ซึ่งไม่สามารถถูกจำแนกออกจากกันด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและผลการทดสอบปฏิกิริยาทางชีวเคมี เชื้อทั้งสองสปีชีส์สามารถก่อโรคได้เกือบทุกระบบของร่างกาย แต่การก่อโรคที่พบได้บ่อยที่สุด คือ การติดเชื้อในปอด (MAC-associated lung diseases) (Griffith, et al., 2007) อย่างไรก็ตามพบว่า *M. avium* ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ซับสปีชีส์ ได้แก่ *M. avium subsp. avium*, *M. avium subsp. hominissuis*, *M. avium subsp. paratuberculosis*, และ *M. avium subsp. silvaticum* (Thorel, et al., 1990) มักก่อโรคแบบแพร่กระจาย ในขณะที่ *M. intracellulare* มักพบการก่อโรคเฉพาะที่ปอดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริเวณที่เชื้อเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ยังมีการพบสปีชีส์ใหม่ของ MAC ที่มีความใกล้ชิดทาง

พันธุกรรมและมักถูกวินิจฉัยสับสนกับ *M. intracellulare* เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ได้แก่ *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. colombiense*, *M. arosiense*, *M. vulneris*, *M. marseillense*, *M. timonense*, *M. bouchedurhonense*, *M. mantenii*, *M. yongonense*, และ *M. indicus pranii* (Van Ingen, et al., 2018) การตรวจวินิจฉัย MAC ในปัจจุบันอาศัยผลการตรวจอาการทางคลินิกประกอบกับผลการเอ็กซ์เรย์ปอด การย้อมเชื้อด้วยสีทึบกรด การเพาะเลี้ยงเชื้อ และการทดสอบปฏิกิริยาทางชีวเคมี อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดที่ต้องอาศัยระยะเวลาและไม่สามารถจำแนกเชื้อระหว่าง *M. avium* และ *M. intracellulare* ออกจากกันได้ ส่งผลให้ผู้ป่วยไม่ได้รับการวินิจฉัยเพื่อรับการรักษาที่เหมาะสมและทันทั่วถึง และเป็นหนึ่งในสาเหตุของการเพิ่มอุบัติการณ์การติดเชื้อของ MAC ในปัจจุบัน การทดสอบทางน้ำเหลืองวิทยาถือเป็นวิธีมาตรฐานในการจำแนก MAC แต่มีข้อจำกัดของความหลากหลายของน้ำยาซีรัมที่นำมาทำปฏิกิริยา ในขณะที่เทคนิคทางอณูชีววิทยาได้เข้ามามีบทบาทในการตรวจวินิจฉัย MAC เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความไว และความจำเพาะที่สูง ประกอบกับใช้เวลาการทดสอบที่รวดเร็วกว่าวิธีดั้งเดิม อีกทั้งยังสามารถจำแนกสายพันธุ์ของเชื้อที่มีความใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาระบาดวิทยาของการแพร่กระจายเชื้อในกลุ่มดังกล่าว

การวิเคราะห์ลำดับเบสเพื่อวินิจฉัยจำแนกและศึกษาความสัมพันธ์ของ MAC ที่ผ่านมานิยมใช้ยีน 16S rRNA แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจำแนกเชื้อสายพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงกันทางพันธุกรรม เช่น *M. intracellulare* และ *M. chimaera* ออกจากกันได้ ในขณะที่การใช้ยีน 16S-23S rRNA internal spacer (ITS) ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างออกจากเชื้อบางสายพันธุ์ในกลุ่ม *Mycobacterium tuberculosis* complex (MTBC) (Roth, et al., 1998) รวมไปถึงการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ใช้ยีน *hsp65* จำแนกเชื้อในกลุ่ม *Mycobacterium* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kim, et al., 2005) การศึกษาในครั้งนี้ได้วิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* ซึ่งเป็นยีนที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ Topoisomerase II และจัดเป็น Housekeeping gene ที่มีลำดับเบสอนุรักษ์และมีความจำเพาะต่อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ รวมไปถึงเชื้อในกลุ่ม *Mycobacterium* โดยนำข้อมูลลำดับเบสของยีน *gyrB* ของเชื้อในกลุ่ม MAC จำนวนทั้งหมด 98 สายพันธุ์ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วย มาวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยจำแนกและจัดทำแผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการ (Phylogenetic tree) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของลำดับเบสของเชื้อดังกล่าว

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อจำแนกสายพันธุ์ในระดับสปีชีส์ของ MAC ด้วยการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB*
2. เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของลำดับเบสของเชื้อในกลุ่ม MAC ด้วยการจัดทำแผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการ

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. การพิจารณาทางจริยธรรมการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็น DNA เหลือใช้ (Left-over DNA) ซึ่งสกัดได้จากโคลนนิ่งของเชื้อในกลุ่ม MAC ที่เพาะแยกได้จากสิ่งส่งตรวจ และได้รับการวินิจฉัยเบื้องต้นโดยวิธีการหาลำดับเบสของยีน 16S rRNA จากห้องปฏิบัติการ



จุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย จำนวนทั้งสิ้น 98 สายพันธุ์ การศึกษาครั้งนี้ได้รับการอนุมัติการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย เลขที่รับรองโครงการ COA. MURA2020/265

## 2. การสกัด DNA

ตัวอย่าง DNA ทั้งหมดถูกสกัดจากโคโลนีของ MAC ด้วยวิธีการต้ม โดยห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยการเขี่ยโคโลนีของเชื้อมา 1 loop ผสมกับ Lysis buffer (10mM Tris-HCl, 2mM EDTA, 1% SDS) ปริมาตร 400  $\mu$ l ต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที ปั่นที่ความเร็ว 14000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนน้ำใสที่ได้ไปวัดปริมาณและความบริสุทธิ์ของ DNA ที่สกัดได้ด้วยเครื่องวัดปริมาณ DNA (Nanodrop™ 1000 spectrophotometer) เก็บ DNA ที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอทำการทดสอบในขั้นตอนถัดไป

## 3. การเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยเทคนิค PCR

นำ DNA ที่สกัดได้มาเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยเทคนิค PCR ในหลอดปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 1x PCR buffer (1x Buffer : 7.5 mM Tris-HCl pH=8.75, 25 mM KCl, 1mM MgCl<sub>2</sub>), 200  $\mu$ M Deoxynucleotide triphosphate (dNTPs), 1.25 U *Taq* DNA polymerase, DNA ต้นแบบ 20 ng/ $\mu$ l ปริมาตร 2  $\mu$ l, MAC *gyrB* forward primer (5' TACGGYGCTTCRGCATCACCG 3') และ MAC *gyrB* reverse primer (5' CCGTTCCACTGCATCGCGATYTCG 3') อย่างละ 0.08  $\mu$ M ซึ่งเป็นไพรเมอร์ที่ถูกออกแบบขึ้นเองในการศึกษานี้ เติมน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้ได้ปริมาตรรวม 50  $\mu$ l ทำปฏิกิริยา PCR ในสภาวะดังต่อไปนี้ Initial denaturation ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำปฏิกิริยา 40 รอบ โดยใช้อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 1 นาที สำหรับ Denaturation อุณหภูมิ 66°C เป็นเวลา 50 วินาที สำหรับ Annealing และอุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 1 นาที สำหรับ Extension และปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้ายคือ Final extension ที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้ DNA ต้นแบบที่ถูกยืนยันด้วยวิธีหาลำดับเบสของเชื้อ *M. avium* และ *M. intracellulare* เป็นตัวควบคุมบวก และน้ำกลั่นปราศจากเชื้อเป็นตัวควบคุมลบ ตรวจสอบผลผลิตที่เกิดขึ้นบน Agarose gel electrophoresis ความเข้มข้น 2% ที่ผสมสีย้อม UltraPower DNA/RNA Safedye ความเข้มข้น 100 เท่า ภายใต้กระแสไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 45 นาที อ่านผลแถบ DNA ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตโดยเปรียบเทียบกับ DNA มาตรฐานขนาด 100 bp บันทึกภาพที่เกิดขึ้น

## 4. การจำแนกสปีชีส์ของ MAC ด้วยวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* ด้วยเทคนิค Sanger DNA sequencing

นำผลผลิต PCR ข้างต้น มาวิเคราะห์ลำดับเบสเพื่อจำแนกและยืนยันสายพันธุ์ของเชื้อในระดับสปีชีส์ โดยเตรียมผลผลิตให้มีปริมาณความเข้มข้นของ DNA มากกว่าหรือเท่ากับ 50 ng/ $\mu$ l พร้อมทั้งไพรเมอร์ MAC *gyrB* forward ความเข้มข้น 5  $\mu$ M ส่งไปวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยเทคนิค Sanger DNA sequencing (Karger, et al., 2009) โดยบริษัท Bioneer Sequencing Service จำกัด ประเทศเกาหลีใต้ จากนั้นนำผลลำดับเบสของยีน *gyrB* มาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบกับ

ลำดับเบสของเชื้อสายพันธุ์มาตรฐานในกลุ่ม *Mycobacterium* จำนวนทั้งสิ้น 24 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อที่อยู่ในกลุ่ม MAC ประกอบไปด้วย *M. avium* subsp. *avium* สายพันธุ์ ATCC 25291 (GenBank accession No. NZ\_ACFI01000001.1), *M. avium* subsp. *silvaticum* สายพันธุ์ ATCC 49884 (GenBank accession No. AYOC01000741.1), *M. avium* subsp. *hominissuis* สายพันธุ์ MAC 109 (GenBank accession No. CP029332.1), *M. avium* subsp. *paratuberculosis* สายพันธุ์ k10 (GenBank accession No. AE016958.1), *M. intracellulare* สายพันธุ์ ATCC 13950 (GenBank accession No. CP003322.1), *M. paraintracellulare* สายพันธุ์ JCM 30622 (GenBank accession No. AP022597.1), *M. chimaera* สายพันธุ์ SJ42 (GenBank accession No. CP023151.1), *M. indicus pranii* สายพันธุ์ MTCC 9506 (GenBank accession No. CP002275.1), *M. yongonense* สายพันธุ์ Asan 36527 (GenBank accession No. CP015965.1) *M. marseillense* สายพันธุ์ FLAC0026 (GenBank accession No. CP023147.1), *M. bouchedurhonense* สายพันธุ์ DSM 45439 GenBank accession No. MVHL01000001.1), *M. timonense* สายพันธุ์ JCM 30726 (GenBank accession No. BLLA01000001.1), *M. colombiense* สายพันธุ์ CECT 3035 (GenBank accession No. AFVW02000001.1), *M. mantenii* สายพันธุ์ JCM 18113 (GenBank accession No. AP022590.1), *M. arosiense* สายพันธุ์ ATCC BAA 1401 (GenBank accession No. MVHG01000026.1) เชื้อที่อยู่ในกลุ่ม NTM ประกอบไปด้วย *M. abscessus* สายพันธุ์ ATCC 19977 (GenBank accession No. CU458896.1), *M. kansasii* สายพันธุ์ ATCC 12478 GenBank accession No. CP006835.1), *M. fortuitum* สายพันธุ์ CT6 (GenBank accession No. CP011269.1), *M. chelonae* สายพันธุ์ CCUG 47445 (GenBank accession No. CP007220.1), *M. shigaense* สายพันธุ์ JCM 32072T (GenBank accession No. AP018164.1), *M. gordonae* สายพันธุ์ DSM 44160 (GenBank accession No. MAEM01000380.1), *M. vulneris* (GenBank accession No. CCBG010000001.1), *M. marinum* สายพันธุ์ E11 (GenBank accession No. HG917972.2) และเชื้อที่อยู่ในกลุ่ม MTBC ได้แก่ *M. tuberculosis* สายพันธุ์ H37Rv (GenBank accession No. NC\_000962.3) ซึ่งมีฐานข้อมูลลำดับเบสปรากฏอยู่ใน Gene bank

#### 5. การจัดทำแผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการ

นำผลการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* ที่ได้ข้างต้น มาจัดทำแผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการแบบ Cladogram เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของเชื้อแต่ละสายพันธุ์ด้วยโปรแกรม MegAlign (DNA star Lasergene program ver. 7.1, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

### ผลและวิจารณ์

ไพรเมอร์ MAC *gyrB* forward primer และ MAC *gyrB* reverse primer สามารถเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมของยีน *gyrB* มีขนาดผลผลิตเท่ากับ 858 bp แต่เลือกวิเคราะห์ลำดับเบสเพียงช่วงกลางของสายนิวคลีโอไทด์ที่มีความยาวเพียง 773 bp ของเชื้อทุกสายพันธุ์ จากผลการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* ของเชื้อทั้งหมด 98 สายพันธุ์ โดยเปรียบเทียบกับลำดับเบสของเชื้อสายพันธุ์มาตรฐานในกลุ่ม *Mycobacterium* จำนวน 24 สายพันธุ์ในฐานข้อมูล พบว่า

สามารถจำแนกเชื้อได้ถึงระดับสปีชีส์จำนวน 91 สายพันธุ์ ในขณะที่เชื้อจำนวน 7 สายพันธุ์ไม่สามารถจำแนกได้ถึงระดับสปีชีส์และถูกวินิจฉัยเป็นเพียง MAC เท่านั้น ผลการจำแนกเชื้อด้วยลำดับเบสสามารถจำแนกเชื้อออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 45 สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนของลำดับเบสใกล้เคียงกับ *M. intracellulare* สายพันธุ์ ATCC 13950, *M. paraintracellulare* สายพันธุ์ JCM 30622, *M. chimaera* สายพันธุ์ SJ42, *M. yongonense* สายพันธุ์ Asan 36527 และ *M. indicus pranii* สายพันธุ์ MTCC 9506 (ค่าความเหมือนของลำดับเบส หรือ Sequence identity อยู่ในช่วง 96.9% - 100%) ทั้งนี้ *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. yongonense* และ *M. indicus pranii* เป็นเชื้อสปีชีส์ใหม่ในกลุ่มของ MAC ที่มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับ *M. intracellulare* เป็นอย่างมาก (Van Ingen, et al., 2018) การวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* เพียงอย่างเดียว อาจไม่มีความจำเพาะพอที่จะจำแนกความแตกต่างของสปีชีส์ของเชื้อในกลุ่มนี้ได้

กลุ่มที่ 2 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 5 สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนของลำดับเบสใกล้เคียงกับ *M. timonense* สายพันธุ์ JCM 30726 และ *M. marseillense* สายพันธุ์ FLAC0026 (ค่าความเหมือนของลำดับเบสอยู่ในช่วง 94.2% - 100%) กลุ่มที่ 3 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 6 สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนของลำดับเบสใกล้เคียงกับ *M. colombiense* สายพันธุ์ CECT 3035 (ค่าความเหมือนของลำดับเบสอยู่ในช่วง 97.8% - 99.5 %) กลุ่มที่ 4 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 3 สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนของลำดับเบสใกล้เคียงกับ *M. arosiense* สายพันธุ์ ATCC BAA 1401 (ค่าความเหมือนของลำดับเบสอยู่ในช่วง 94.2% - 94.4%) กลุ่มที่ 5 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 32 สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนของลำดับเบสใกล้เคียงกับ *M. avium* ทั้ง 4 ซับสปีชีส์ ได้แก่ *M. avium subsp. avium* สายพันธุ์ ATCC 25291, *M. avium subsp. silvaticum* สายพันธุ์ ATCC 49884, *M. avium subsp. hominissuis* สายพันธุ์ MAC109, *M. avium subsp. paratuberculosis* สายพันธุ์ k10 และ *M. bochodurhonense* สายพันธุ์ DSM 45439 (ค่าความเหมือนของลำดับเบสอยู่ในช่วง 98.7% - 100%) กลุ่มที่ 6 ประกอบไปด้วยเชื้อจำนวน 7 สายพันธุ์ ที่สามารถระบุได้เพียงว่าเป็นเชื้อที่อยู่ในกลุ่ม MAC และไม่สามารถระบุกลุ่มสปีชีส์ได้ (ค่าความเหมือนของลำดับเบสอยู่ในช่วง 89.5% - 93.3%) เนื่องจากมีค่าความเหมือนของลำดับเบสน้อยกว่า 94%

การวินิจฉัยด้วยลำดับเบสสามารถจำแนก MAC ในระดับสปีชีส์ได้จำเพาะกว่าการทดสอบด้วยวิธีการเพาะเลี้ยง และการทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมี ที่ไม่สามารถจำแนกเชื้อระหว่าง *M. avium* และ *M. intracellulare* ออกจากกันได้ รวมไปถึงเชื้อสายพันธุ์อื่นในกลุ่ม MAC ที่มีความใกล้เคียงกันมาก (Griffith, et al., 2007) นอกจากนี้การวิเคราะห์ลำดับเบสยังมีความจำเพาะมากกว่าการทดสอบจำแนกเชื้อด้วยเทคนิค PCR ที่ต้องอาศัยการออกแบบไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อเชื้อแต่ละสายพันธุ์ เนื่องจากเชื้อในกลุ่ม MAC มีลำดับเบสที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้เกิดข้อจำกัดในการออกแบบไพรเมอร์เพื่อใช้ในการวินิจฉัย การจำแนกสายพันธุ์เชื้อเบื้องต้นก่อนนำมาใช้ในการศึกษา อาศัยการวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยยีน 16S rRNA ซึ่งวินิจฉัยได้ว่าเป็นเพียงเชื้อกลุ่ม MAC เท่านั้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* ในการศึกษาครั้งนี้ ให้ผลการจำแนกสายพันธุ์ของเชื้อที่มีความจำเพาะมากกว่า กล่าวคือ สามารถจำแนกเชื้อออกเป็นกลุ่มต่างๆ ทั้งเชื้อที่มักถูกพบบ่อย ได้แก่ *M. avium* และ *M. intracellulare* และ MAC สายพันธุ์อื่นที่มีความใกล้เคียงกันทางพันธุกรรม

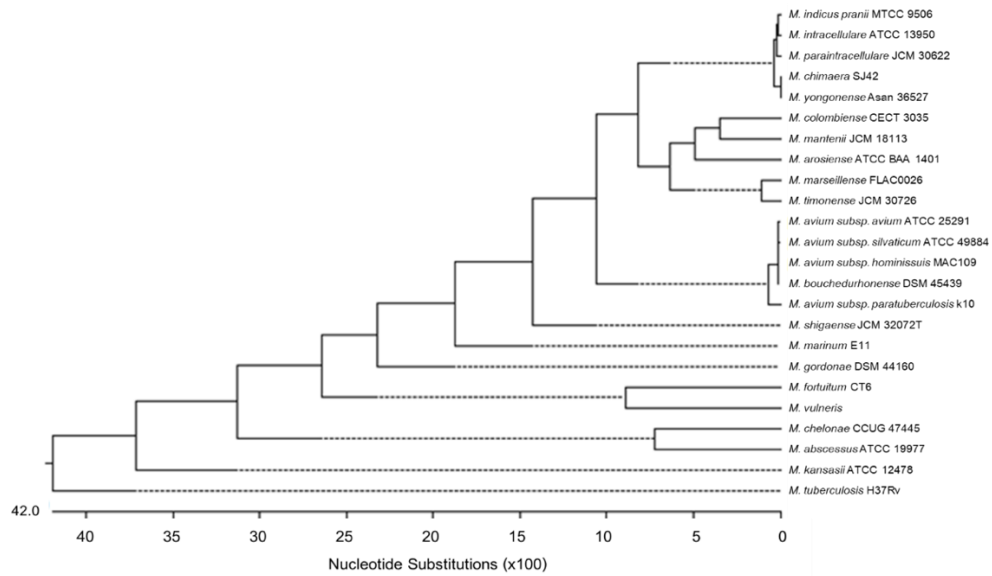
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของลำดับเบสของเชื้อทั้งหมด 98 สายพันธุ์ แสดงผลที่สอดคล้องไปในทางเดียวกันกับการศึกษาก่อนหน้า ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ *Mycobacterium* โดยใช้ยีน 16S rRNA ยีน *rpoB* และยีน *hsp65* (Ben Salah, et al., 2008; Van Ingen, et al., 2018) เมื่อจัดทำแผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการโดยอาศัยข้อมูลลำดับเบสของยีน *gyrB* ของ *Mycobacterium* สายพันธุ์มาตรฐาน 24 สายพันธุ์ (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นถึงเชื้อในกลุ่ม MAC (ได้แก่ *M. avium* ซับสปีชีส์ต่างๆ *M. intracellulare* และ *Mycobacterium* สายพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงทางพันธุกรรม อาทิ เช่น *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. yongonense* และ *M. indicus pranii*) มีวิวัฒนาการไกลออกไปจาก MTBC (ในที่นี้คือ *M. tuberculosis*) มากกว่าเชื้อกลุ่ม NTM อาทิเช่น *M. abscessus*, *M. kansasii*, *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. gordonae* และ *M. marinum*) และสามารถแยก MAC ออกจากเชื้อดังกล่าวทั้งสองกลุ่มได้อย่างชัดเจน เป็นที่น่าสนใจว่าเชื้อทั้งหมด 32 สายพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มของ *M. avium* ซับสปีชีส์ต่างๆ มีลำดับวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดและถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันเช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมาหลายการศึกษา (Ben Salah, et al., 2008; Kim, et al., 2005) อย่างไรก็ตาม *M. avium* ทั้ง 32 สายพันธุ์มีลำดับวิวัฒนาการที่แยกออกจาก *M. intracellulare* และสายพันธุ์ที่ใกล้เคียงทางพันธุกรรมกับ *M. intracellulare* ทั้งหมด 45 สายพันธุ์อย่างชัดเจน ทั้งนี้ *M. avium* และ *M. intracellulare* มี Signature nucleotide ที่แตกต่างกันในตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งสิ้น 57 ตำแหน่ง ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 การวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยยีน *gyrB* ยังไม่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่าง *M. intracellulare* กับ *M. chimaera* ซึ่งเชื้อทั้งสองมีความเหมือนกันของลำดับเบสถึง 99.4% ขณะที่การวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน 16S rRNA มีความเหมือนกันของลำดับเบสถึง 99.9% โดยมีเบสที่แตกต่างกันเพียงตำแหน่งเดียว การใช้ลำดับเบสของยีน *gyrB* มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกเชื้อ *Mycobacterium* ในระดับสปีชีส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับยีนอื่น อาทิเช่น ยีน 16S rRNA ยีน 16-23S rRNA ยีน *hsp65* และยีน *rpoB* ในการจำแนกและศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรม

## สรุป

ผลการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน *gyrB* สามารถนำมาใช้ในการจำแนกสายพันธุ์และแสดงลำดับวิวัฒนาการของเชื้อในกลุ่ม MAC จำนวน 98 สายพันธุ์ ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเชื้อส่วนใหญ่ที่วินิจฉัยจำแนกได้ คือเชื้อในกลุ่ม *M. intracellulare* และ *Mycobacterium* สายพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงทางพันธุกรรม อาทิเช่น *M. paraintracellulare*, *M. chimaera*, *M. yongonense* และ *M. indicus pranii* (จำนวน 45 สายพันธุ์) รองลงมาคือเชื้อในกลุ่ม *M. avium* ซับสปีชีส์ต่างๆ (จำนวน 32 สายพันธุ์) และเชื้อ *Mycobacterium* สายพันธุ์อื่นๆ ในกลุ่ม MAC (จำนวน 14 สายพันธุ์) ในขณะที่เชื้อ *Mycobacterium* อีก 7 สายพันธุ์ไม่สามารถถูกจำแนกถึงระดับสปีชีส์ได้ ทั้ง *M. avium* และ *M. intracellulare* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคที่พบบ่อยของเชื้อในกลุ่ม MAC สามารถถูกจำแนกออกจากกันได้อย่างชัดเจน ลำดับเบสของยีน *gyrB* อาจนำมาใช้ในออกแบบไพรเมอร์สำหรับใช้ตรวจวินิจฉัย MAC และใช้ร่วมกับยีนอนุรักษ์อื่นในการจำแนกและศึกษาลำดับวิวัฒนาการเชื้อที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรม

## เอกสารอ้างอิง

- Ben Salah, I., Adékambi, T., Raoult, D., Drancourt, M. (2008). *rpoB* sequence-based identification of *Mycobacterium avium* complex species. *Microbiology*. 154(Pt 12), 3715–3723. doi:10.1099/mic.0.2008/020164-0
- Griffith, D.E., Aksmit, T., Brown-Elliott, B.A., Catanzaro, A., Daley, C., Gordin, F., et al. (2007). An official ATS/IDSA statement: diagnosis, treatment, and prevention of nontuberculous mycobacterial diseases. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 175(4), 367-416.
- Karger, B. L., & Guttman, A. (2009). DNA sequencing by CE. *Electrophoresis*, 30 Suppl 1(Suppl 1), S196–S202. <https://doi.org/10.1002/elps.200900218>
- Kim, H., Kim, S.H., Shim, T.S., et al. (2005). Differentiation of *Mycobacterium* species by analysis of the heat-shock protein 65 gene (*hsp65*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 55(Pt 4), 1649–1656. doi:10.1099/ijms.0.63553-0.
- Kim, S.Y., Shin, S.H., Moon, S.M., Yang, B., Kim, H., Kwon, O.J., et al. (2017). Distribution and clinical significance of *Mycobacterium avium* complex species isolated from respiratory specimens. *Diagnostic microbiology and infectious disease*. ,88(2), 125-37.
- Thorel, M.F., Krichevsky, M., Levy-Frebault, V.V. (1990). Numerical taxonomy of mycobactin-dependent mycobacteria, emended description of *Mycobacterium avium*, and description of *Mycobacterium avium* subsp. *avium* subsp. nov., *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* subsp. nov., and *Mycobacterium avium* subsp. *silvaticum* subsp. nov. *International journal of systematic bacteriology*. 40(3), 254-60.
- Roth, A., Fischer, M., Hamid, M.E., Michalke, S., Ludwig, W., Mauch, H. (1998). Differentiation of phylogenetically related slowly growing mycobacteria based on 16S-23S rRNA gene internal transcribed spacer sequences. *Journal of Clinical Microbiology*. 36(1), 139–147.
- Van Ingen, J., Turenne, C.Y., Tortoli, E., Wallace, R.J.Jr., Brown-Elliott, B.A. (2018). A definition of the *Mycobacterium avium* complex for taxonomical and clinical purposes, a review. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 68(11), 3666–3677. doi:10.1099/ijsem.0.003026



รูปที่ 1 แผนภูมิต้นไม้สายวิวัฒนาการแบบ Cladogram แสดงความสัมพันธ์ของลำดับเบสยีน *gyrB* ของเชื้อ *Mycobacterium* สายพันธุ์มาตรฐาน 24 สายพันธุ์ ด้วยโปรแกรม MegAlign (DNA star Lasergene program ver. 7.1, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของ Signature nucleotide บนยีน *gyrB* ของ *M. avium* และ *M. intracellulare* ที่แตกต่างกันรวมทั้งสิ้น 57 ตำแหน่ง

ชื่อ/ตำแหน่งเบส	105 120 159 168 183 187 190 191 207 210 243 255 294 303 307 309 333 345 363 392 417 418 432 441 452 468 474 477 489
<i>M. avium</i>	C A G A C G C G C G C C G G G G C C T C C A C G A G C C C
<i>M. intracellulare</i>	G T C G T A A A A C G G C C A T T T C G G G T A T A A G A
ชื่อ/ตำแหน่งเบส	504 507 516 520 570 579 615 616 647 654 672 705 711 727 735 744 774 792 801 810 812 816 822 837 842 843 846 859
<i>M. avium</i>	C C C C A C C C C A G G G G G C C A T A A C C T G T G G
<i>M. intracellulare</i>	G G G A G G G T G G C C A A A T T G C G G G G C A C C A

**ฝุ่นละอองข้ามพรมแดน : กรณีศึกษาเหตุการณ์ฝุ่นละอองในประเทศไทยช่วงต้นปี พ.ศ. 2563**  
Cross – boundary aerosols : A case study of aerosol episode in Thailand at the beginning of 2020

จุไรรัตน์ โพธิ์มัน<sup>1</sup> สมเจตต์ ภัทรพานิชชัย<sup>2</sup> สุมามาลย์ บรรเทิง<sup>3</sup> และ เสริม จันทร์ฉาย<sup>4</sup>  
Jurairat Phoman<sup>1</sup> Somjet Pattarapanitchai<sup>2</sup> Sumaman Buntoung<sup>3</sup> and Serm Janjai<sup>4</sup>

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยฝุ่นละอองข้ามพรมแดนจากประเทศทางตะวันออกของไทย ในการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวจะอาศัยการสังเกตการณ์จุดที่มีการเผาไหม้จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ในประเทศทางตะวันออกของไทย แผนที่ลมจากกรมอุตุนิยมวิทยา และการคำนวณทางเดินของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยใช้แบบจำลอง HYSPLIT ของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) นอกจากนี้งานวิจัยยังใช้ข้อมูลการแจกแจงความถี่ขนาดของฝุ่นละอองจากเครื่อง sunphotometer และสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องบิน จากการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่ามีฝุ่นละอองข้ามพรมแดนจากประเทศทางตะวันออกของประเทศไทยเข้ามาในประเทศไทยในช่วงเหตุการณ์ฝุ่นละอองหนาแน่นระหว่างเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

**คำสำคัญ** : ฝุ่นละออง, ข้ามพรมแดน, การสังเกตการณ์, มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

**Abstract**

Cross - boundary aerosols from the countries situated in the east of Thailand during aerosol episode in January – February, 2020 was investigated. The investigation was based on the observation of number of fire spots obtained from MODIS, wind maps from Thai Meteorological Department and the back trajectory of aerosols from HYSPLIT model of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). In addition, data on aerosol size distribution obtained from sunphotometers and physical and chemical characteristics of aerosol samples was collected by aircraft. Based on the data and observation, it is concluded that there were cross - boundary aerosols from countries in the east of Thailand during January - February 2020 aerosol episode.

**Keywords** : Aerosols, cross-boundary , observation, January – February 2020

---

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

## บทนำ

ฝุ่น (dust) เป็นส่วนหนึ่งของฝุ่นละออง (aerosols) ซึ่งอาจอยู่ที่พื้นผิวโลกหรือในบรรยากาศ โดยฝุ่นละอองในบรรยากาศ (atmospheric aerosols) จะหมายถึงอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ ทั้งนี้ไม่นับรวมถึงอนุภาคของน้ำในสถานะของเหลวและของแข็งที่ประกอบกันเป็นเมฆ หมอก เกล็ดน้ำแข็ง และหิมะ สำหรับฝุ่นในบรรยากาศโดยทั่วไปจะหมายถึงอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่แขวนลอยในบรรยากาศซึ่งนับรวมถึงควันไฟด้วย โดยทั่วไปฝุ่นละอองในบรรยากาศจะอยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้พื้นผิวโลก (boundary layer) ซึ่งโดยทั่วไปมีความสูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 2 กิโลเมตร และเคลื่อนที่ไปตามอิทธิพลของกระแสลมและแรงโน้มถ่วงของโลก (Iqbal, 1983)

ฝุ่นละอองมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural aerosols) เช่น ละอองเกลือจากน้ำทะเล และฝุ่นจากทะเลทราย เป็นต้น และฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic aerosols) เช่น ฝุ่นละอองจากการจราจร และฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ฝุ่นละอองบางชนิด เช่น ฝุ่นละอองจากการระเบิดของภูเขาไฟสามารถขึ้นไปอยู่ในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (20-50 กิโลเมตร จากพื้นผิวโลก) และคงอยู่ได้หลายปี ส่วนฝุ่นละอองที่อยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้พื้นผิวโลกจะคงอยู่ 1-2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะร่วงหล่นลงสู่พื้นผิวโลก หรือถูกฝนชะล้างออกจากบรรยากาศ (Boucher, 2015)

ในทางวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม มักจะเรียกฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็งซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนว่า PM2.5 ซึ่งเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ทางระบบทางเดินหายใจ (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ฝุ่นละอองส่งผลเสียต่อสุขภาพ (วิรุฬ ลิ้มสวาท และคณะ, 2562) นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบต่อระบบบรรยากาศ (Boucher, 2015) ทั้งนี้เพราะฝุ่นละอองเป็นแกนกลางการควบแน่นของไอน้ำในบรรยากาศและเป็นตัวกลางที่ดูดกลืนหรือสะท้อนรังสีอาทิตย์ด้วย (Iqbal, 1983) โดยฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นหนาแน่นในประเทศหนึ่งอาจเกิดจากฝุ่นละอองที่ข้ามพรมแดนมาจากอีกประเทศหนึ่ง (Tsedendamba et al. 2019; Lee et al. 2018)

เนื่องจากในช่วงต้นปี 2563 มีฝุ่นละอองปกคลุมกรุงเทพอย่างหนาแน่นและหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงสาเหตุของฝุ่นละอองว่ามาจากการจราจร การก่อสร้าง และโรงงานอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากในบริเวณปริมณฑลของกรุงเทพซึ่งได้มีปัญหาคารจราจร การก่อสร้าง และโรงงานอุตสาหกรรม แต่ก็ประสบปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศหนาแน่น เช่น นครปฐม ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าฝุ่นละอองหนาแน่นในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑลมีเพียงแต่เกิดจากฝุ่นละอองในท้องถิ่นเท่านั้น แต่อาจมีฝุ่นละอองข้ามพรมแดน (Cross-boundary aerosols) เข้ามาร่วมกับฝุ่นละอองท้องถิ่น (local aerosols) ในช่วงเวลาดังกล่าวด้วย

## วัตถุประสงค์

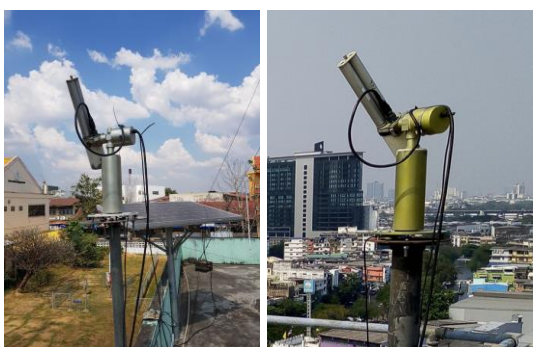
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฝุ่นละอองข้ามพรมแดนจากประเทศทางตะวันออกของไทยเข้ามายังประเทศไทยในช่วงต้นปี พ.ศ. 2563



## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

ในการศึกษาฝุ่นละอองข้ามพรมแดนจากประเทศทางตะวันออกของไทยที่เข้ามาไทยในช่วงต้นปี พ.ศ. 2563 ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัดฝุ่นละออง sunphotometer (CIMEL รุ่น CE - 318) ที่ชายแดนไทยกัมพูชา จ. สระแก้ว และที่กรุงเทพฯ (รูปที่ 1) เครื่อง sunphotometer ดังกล่าวเข้าร่วมในเครือข่าย AERONET ของ NASA นอกจากนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจุดที่มีการเผาไหม้ในประเทศทางตะวันออกของไทยจากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS และแผนที่อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา รวมถึงได้ใช้แบบจำลอง HYSPLIT สำหรับคำนวณย้อนกลับหาแหล่งที่มาของฝุ่นละออง และการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้เครื่องบินที่ระดับความสูงต่างๆ ในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล (รูปที่ 2)



(ก)

(ข)

รูปที่ 1 (ก) เครื่อง sunphotometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้วและ (ข) ที่กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2 เครื่องบิน HS-pon sq-4440 ที่สมาคมการบิน Friends Flying CLUB จ. สมุทรสาคร ซึ่งใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองระดับสูง

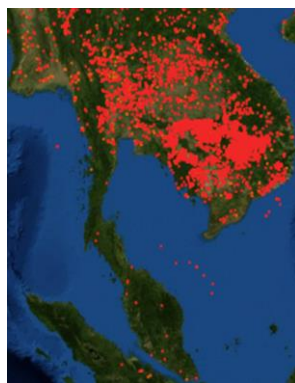
### วิธีการ

ในการศึกษาฝุ่นละอองข้ามพรมแดน ผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลจุดเผาไหม้ในประเทศทางตะวันออกของไทย ข้อมูลแผนที่ลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 800 เมตร ในเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และใช้แบบจำลอง HYSPLIT คำนวณทางเดินของฝุ่นละออง นอกจากนี้จะรวบรวมข้อมูลการแจกแจงความถี่ของขนาดของ

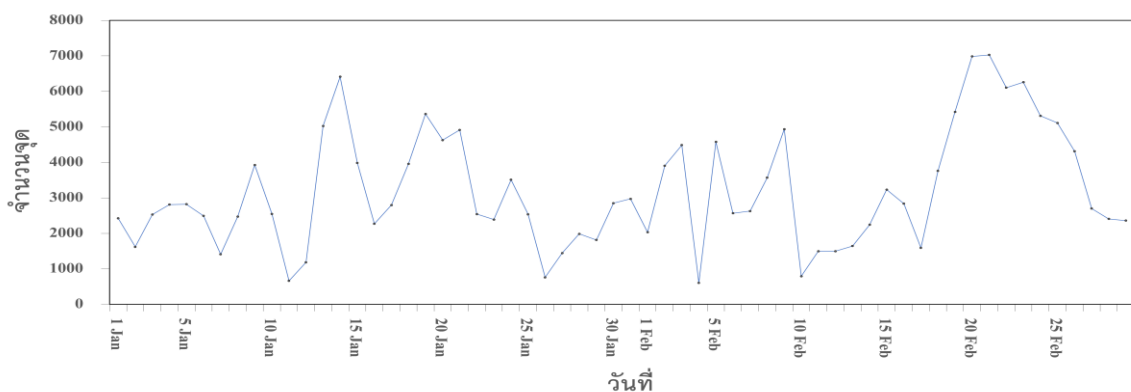
ฝุ่นละอองจาก sunphotometer ซึ่งติดตั้งที่ชายแดนไทย - กัมพูชา และใช้เครื่องบินเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองระดับสูง และเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ผิวพื้น เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางฟิสิกส์และเคมี

## ผลและวิจารณ์

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจุดที่มีการเผาไหม้ (fire-spot) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS (รูปที่ 3) ของเดือน มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ของแต่ละวันมาเขียนกราฟกับเวลา (รูปที่ 4) จากกราฟจะเห็นว่ามีการเผาไหม้ในประเทศไทยทางตะวันออกของไทยค่อนข้างมากทั้งสองเดือน ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงฤดูแล้งทำให้สะดวกต่อการเผาป่าและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ช้างข้าว เพื่อเตรียมสำหรับฤดูกาลเพาะปลูก



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม MODIS วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2563 (สีแดง คือจุดที่มีการเผาไหม้)

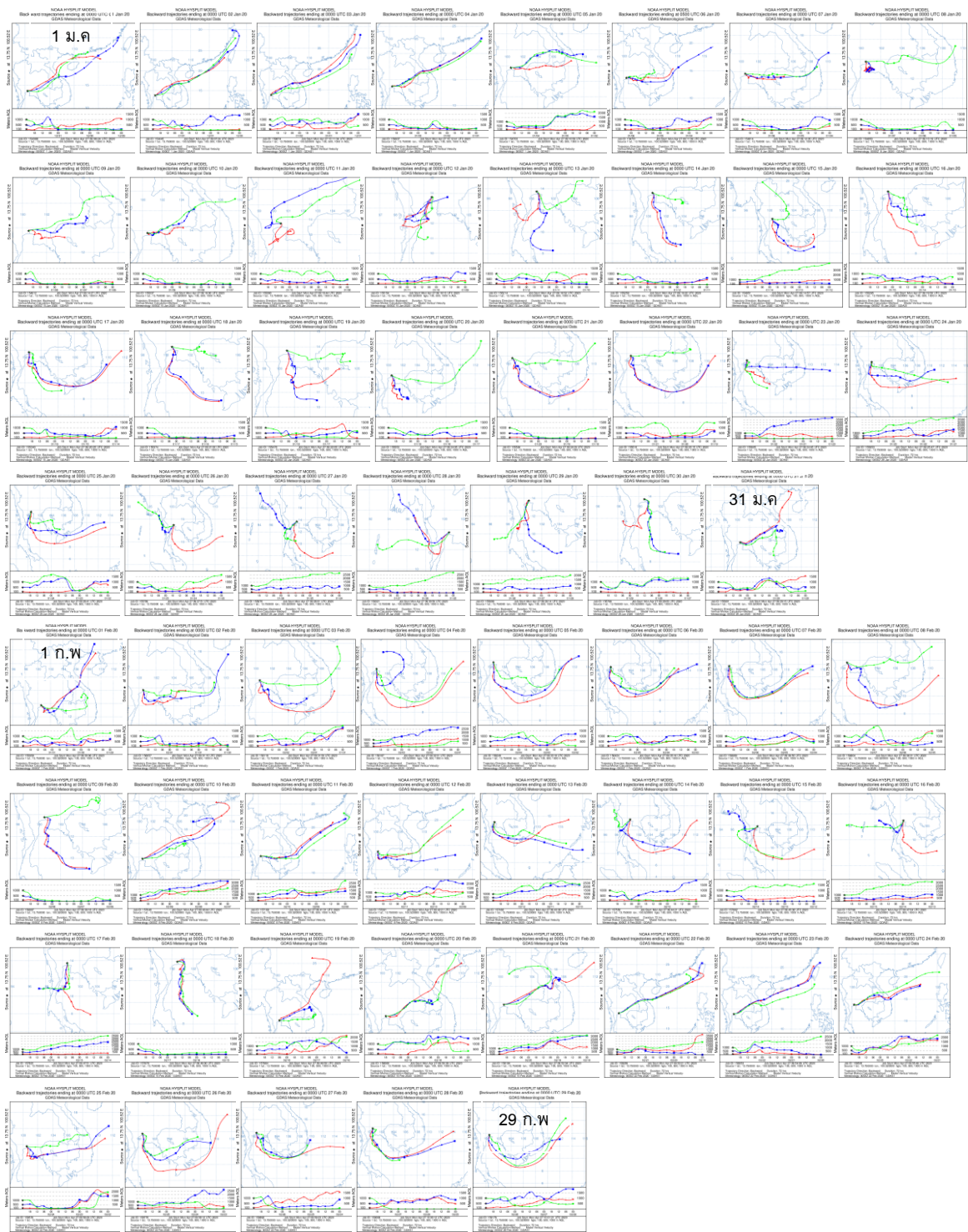


รูปที่ 4 ข้อมูลจำนวนจุดเผาไหม้ในประเทศไทยทางตะวันออกของไทย เดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

จากข้อมูลแผนที่อากาศที่ระดับความดันบรรยากาศ 925 hPa หรือประมาณความสูง 800 เมตร (รูปที่ 5) จะเห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่แสดงว่ามีกระแสลมตะวันออกเข้ามายังประเทศไทย ดังนั้นจากข้อมูลจำนวนจุดเผาไหม้และข้อมูลกระแสลมบ่งชี้ว่าควันจากการเผาไหม้ในประเทศไทยทางตะวันออกสามารถถูกกระแสลมพัดพาเข้ามาในประเทศไทยได้ และจากทางเดินของฝุ่นละอองที่ได้จากแบบจำลอง HYSPLIT (รูปที่ 6) จะพบว่าทางเดินของฝุ่นละอองส่วนใหญ่มาจากประเทศไทยทางตะวันออกของไทย

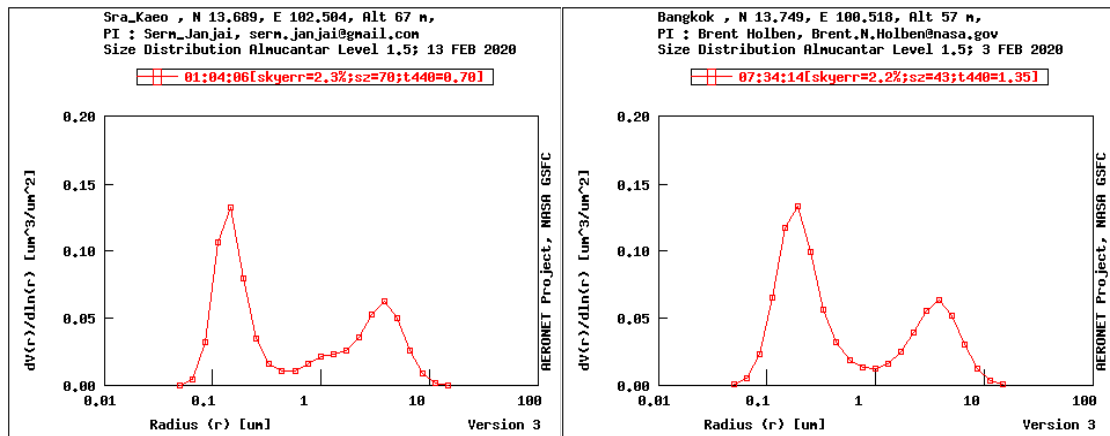


รูปที่ 5 แผนที่ทิศทางลมที่ความดันบรรยากาศ 925 hPa ของเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (ที่ระดับความสูงจากพื้นดินประมาณ 800 เมตร)



รูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองในเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากแบบจำลอง HYSPLIT

จากข้อมูลการแจกแจงความถี่ของขนาดของฝุ่นละอองที่ได้จาก sunphotometer ซึ่งติดตั้งที่ชายแดนไทย - กัมพูชา และที่กรุงเทพฯ (รูปที่ 7) พบว่าขนาดของฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งสามารถเกิดจากการเผาไหม้ของชีวมวล

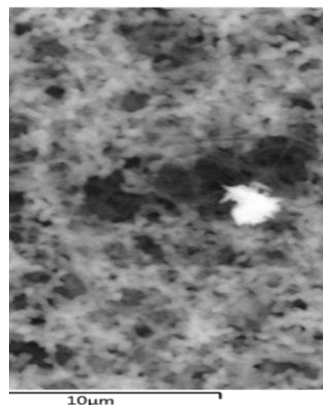


(ก)

(ข)

รูปที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลการแจกแจงความถี่ของขนาดของฝุ่นละออง (ก) ที่ชายแดนไทย - กัมพูชาและ (ข) ที่กรุงเทพฯ

จากข้อมูลของฝุ่นละอองที่ระดับสูง พบว่ามีลักษณะและองค์ประกอบต่างจากข้อมูลที่ผิวพื้น และพบว่ามีองค์ประกอบของโพแทสเซียม ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล (ภักดิ์วัฒน์ ทองแสง และคณะ, 2562) นอกจากนี้จากการดูภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (รูปที่ 8) พบว่าฝุ่นละอองมีลักษณะคล้ายกับฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ชีวมวล



รูปที่ 8 ลักษณะของฝุ่นละอองที่ระดับสูง 700 เมตร จากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบิน

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นบ่งชี้ว่ามีฝุ่นละอองข้ามพรมแดนเข้ามาในประเทศไทยในช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 อย่างไรก็ตาม เราไม่สามารถบ่งชี้เป็นปริมาณได้ ทั้งนี้เพราะยังขาดข้อมูลอัตราการปล่อยฝุ่นละอองของจุดที่มีการเผาไหม้ และขาดข้อมูลอัตราการไหลของอากาศข้ามพรมแดน

## สรุป

จากการพิจารณาจุดที่มีการเผาไหม้ในประเทศทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ทิศทางของกระแสลม การคำนวณทิศทางเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง ประกอบกับข้อมูลการแจกแจงขนาดของฝุ่นละออง ตลอดจนจนวนอย่างฝุ่นละอองที่ระดับสูง 700 เมตร สามารถสรุปได้ว่า ในช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีฝุ่นละอองข้ามพรมแดนจากประเทศทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทยเข้ามาในประเทศไทย

## คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเครือข่าย AERONET ของ NASA ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการแจกแจงความถี่ของขนาดของฝุ่นละออง (size distribution)

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). สถานการณ์มลพิษประเทศไทย ปี 2558 รอบ 6 เดือน (มกราคม - มิถุนายน). กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ภักดีวัฒน์ ทองแสง, สุดจิต ครุจิต, ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล. (2562). การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเมืองนครราชสีมาโดยใช้แบบจำลอง PMF. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 100 – 110.
- วิรุฬ ลิ้มสวาท, คณิงนิจ ศรีบัวเอี่ยม, นิธิพัฒน์ เจียรกุล, นิอร สิริมงคลเลิศกุล, วิษณุ อรรถวานิช, ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์, เอื้อมพร มัชฌิมวงศ. (2562). สมุดปกขาว อากาศสะอาด. สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, 7 – 13.
- Boucher O. (2015). Atmospheric aerosols properties and climate impacts. *Springer*, Berlin.
- Iqbal M. (1983). An Introduction To Solar Radiation. *Academic Press*, New York.
- Lee, H.J.; Kim, J.E.; Cha, J.W.; Song, S.; Ryoo, S.; Kim, Y.P. (2018). Characteristics of long-lasting haze episodes observed in Seoul, South Korea, for 2009-2014. *Theoretical and Applied Climatology* 136, 55 – 64.
- Tsedendamba, P.; Dulam, J.; Baba, K.; Hagiwara, K.; Noda, J.; Kawai, K.; Sumiya, G.; McCarthy, C.; Kai Ken, K.; Hoshino, B. (2019). Northeast Asian Dust Transport: A Case Study of a Dust Storm Event from 28 March to 2 April 2012. *Atmosphere*, 10(2), 1 - 69.

# การใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อบุคคลคิดสร้างสรรค์เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี

The Use of Mind Mapping Technique with Collaborative Learning in Think-Pair-Square-Share to Develop Creative Thinking about the Function of Mathayomsuksa IV students at Benchamarachuthit Pattani School

นาอิม บินอับรอเฮง<sup>1</sup> ผกามาส พะวงษ์<sup>2</sup> และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภารัตน์ แสงจันทร์<sup>3</sup>

## บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน 2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sample) จำนวน 1 ห้องเรียน นักเรียน 39 คน ใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 10 คาบ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจ แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์เป็นแบบอัตนัยซึ่งมีค่าความยากง่าย ( $P_E$ ) และอำนาจจำแนก (D) เป็น 0.51 และ 0.51 ตามลำดับ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบปรนัยซึ่งมีค่าความยาก (P) และค่าอยู่ตั้งแต่ 0.26-0.52 อำนาจจำแนก (B) ซึ่งมีค่าอยู่ตั้งแต่ 0.29-0.88 ตามลำดับ แบบแผนการวิจัยเป็นแบบ One-Group Posttest-Only Design สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าทีแบบกลุ่มเดียว (t-Test for One Sample)

ผลการศึกษาพบว่า 1) นักเรียนมีคะแนนความคิดสร้างสรรค์หลังการจัดการเรียนรู้ด้านความคล่องในการคิดสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในขณะที่คะแนนความคิดสร้างสรรค์หลังการจัดการเรียนรู้ด้านความยืดหยุ่นในการคิด ด้านความคิดริเริ่ม และคะแนนความคิดสร้างสรรค์รวมต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน หลังจากรับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 3) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับดีมาก

**คำสำคัญ :** เทคนิคแผนผังความคิด, การเรียนรู้แบบร่วมมือ, ความคิดสร้างสรรค์

---

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department of Mathematics, Faculty of Science, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย  
Department Faculty of, Thailand.

<sup>3</sup> ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน 10900 ประเทศไทย  
Department of Teacher Education, Faculty of Education, , Thailand.

## Abstract

The purposes of this research were 1) to develop the creative thinking on relation and function learning; 2) to determine mathematics achievement on relation and function learning; and 3) to evaluate satisfaction of students. The samples of this research included 39 students from Benchamarachuthit Pattani School who were purposively selected from 1 class of Mathayomsuksa IV students during academic year 2019. The duration of the experiments lasted for 10 periods. The research instruments composed of lesson plans, the creative thinking test, the mathematics achievement test and satisfaction. The creative thinking test is multiple choice test with difficulty ( $P_E$ ) of 0.51 and discrimination (D) of 0.51. The mathematics achievement test is objective test with difficulty (P) of 0.26-0.52 and discrimination (B) of 0.29-0.88. The research design was One-Group Posttest-Only Design. Average, percentage, standard deviation and t-Test for One Sample were used for data analysis.

The results showed that after learning management; 1) the creative thinking in fluency domain was higher than 70-percent criteria at the significance level of .05 while the creative thinking in flexibility domain, originality domain and creative thinking overview were lower than 70-percent criteria at the significance level of .05; 2) the learning achievement on relation and function learning was higher than 70-percent criteria at the significance level of .05; and 3) The satisfaction of students was at very good level.

**Keyword :** Mind Mapping Technique, Collaborative Learning, Creative Thinking

## บทนำ

ความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะหนึ่งของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 แสดงถึงสมรรถภาพทางด้านสมองที่มีอยู่ในตัวของมนุษย์ทุกคน ซึ่งจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล จากทฤษฎีโครงสร้างทางสติปัญญาเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ โดยทอแรนซ์ (Torrance) เป็นผู้ที่น่าแนวคิดและองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ของกิลฟอร์ด (Guilford) มาใช้ในการศึกษาวิจัยในรูปแบบของการเรียนการสอน ซึ่งทอแรนซ์สนใจที่จะศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโดยเน้นความคิดสร้างสรรค์ใน 3 องค์ประกอบ คือ ความคล่องในการคิด (Fluency) เป็นความสามารถในการผลิตความคิดทางภาษาได้หลากหลาย เพื่อตอบสนองต่อคำถามปลายเปิดและคำถามอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นความคิดทางภาษาหรือท่าทาง เช่น ความสามารถทางคณิตศาสตร์ ดนตรี และศิลปะ เป็นต้น หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความคิดคล่องทางการเชื่อมโยงสัมพันธ์ (Associational Fluency) ความยืดหยุ่นในการคิด (Flexibility) เป็นความสามารถในการกระทำต่อปัญหาได้หลากหลาย คิดได้หลากหลาย และสามารถแปลงความรู้หรือประสบการณ์ให้เกิดประโยชน์ได้หลาย ๆ ด้าน ความคิดริเริ่ม (Originality) เป็นความคิดที่แปลกใหม่ที่แตกต่างไปจากความคิดธรรมดาหรือความคิดที่แตกต่างไปจากบุคคลอื่น ๆ หรือเป็นการรวมกันของความคิดที่ไม่มีความสัมพันธ์กันมาก่อนทั้งในด้านของความคิดหรือการกระทำ ปัญหาของระบบการศึกษาปัจจุบันที่เกี่ยวกับการเรียนการสอน ส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนานักเรียนให้มีความคิดสร้างสรรค์ซึ่งในความเป็นจริงนั้นมนุษย์ต่างมีความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ แต่ขาดการฝึกฝนและเสริมสร้างความรู้อย่างถูกวิธี (สาลินี เรื่องจ้อย, 2554: 26) ดังนั้นความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งสำคัญที่ควรส่งเสริมให้นักเรียน การที่จะส่งเสริมให้นักเรียนเป็นนักคิดสร้างสรรค์ได้นั้น ผู้สอนต้องจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสและกระตุ้นให้นักเรียนคิด สนุกกับการคิดจินตนาการที่มีเหตุผล (สาลินี เรื่องจ้อย, 2554: 2)



เครื่องมือที่นิยมใช้ในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในปัจจุบันมีมากมาย หนึ่งในนั้นคือแผนผังความคิด การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิด (Mind Mapping) เป็นการจัดการเรียนรู้โดยส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ (สมองซีกขวา) ซึ่งแผนผังความคิดเป็นการถ่ายทอดความคิดหรือข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสมองลงกระดาษโดยการใช้อักษร สี เส้น และการโยงใยแทนการจดย่อแบบเดิมที่เป็นบรรทัด ๆ เรียงจากบนลงล่าง ขณะเดียวกันก็เป็นสื่อนำข้อมูลจากภายนอก เช่น หนังสือ คำบรรยาย การประชุม ส่งเข้าสมองให้เก็บรักษาไว้ได้ดีกว่าเดิมให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ได้ (จิตพร พิชญกุล, 2558: 172) สอดคล้องกับการศึกษาของวิจายาคูมารี และคาวิธาโมล (Vijayakumari and Kavithamole, 2014: 246) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับแผนผังความคิดสำหรับการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์กับนักเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาซึ่งเรียนวิชาคณิตศาสตร์ในตำบลปาลักกัต เมืองเกอร์ละ ประเทศอินเดีย พบว่า การทดสอบหลังเรียนของกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ .01 และคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชายและนักเรียนหญิงในกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ .05

นอกจากความคิดสร้างสรรค์ที่กล่าวมาข้างต้น อีกทักษะหนึ่งของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่น่าสนใจคือทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ ซึ่งรูเฟียนา (Rufiana, 2017: 12) กล่าวว่า การเรียนรู้แบบร่วมมือมีหลายกลยุทธ์โดยไลแมน (Lyman) ได้พัฒนาโครงสร้างการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหาย (Think-Pair-Square-Share) มาจากการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิด (Think-Pair-Share) แต่การเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหายจะเป็นกลยุทธ์ที่มีการอภิปรายเป็นคู่ในขั้น Square แล้วอภิปรายอีกครั้งหน้าชั้นเรียนในขั้น Share ซึ่งปรีสตาวาตี (Prestawati, 2017: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการจัดเรียนรู้แบบเพื่อนคู่คิดสี่สหายในการวัดทักษะการพูดของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ของ MTs NU HASAN MUCHYI ปีการศึกษา 2015/2016 พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญ .05 นักเรียนมีทักษะการพูดภาษาอังกฤษหลังได้รับการเรียนรู้แบบเพื่อนคู่คิดสี่สหายเพิ่มขึ้น

จากที่กล่าวมาพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิดและการเรียนรู้แบบร่วมมือจะช่วยส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และสอดคล้องทักษะการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ใน 2 ทักษะ ได้แก่ ทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม และทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหายเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิดเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และร่วมกันแบ่งปันแนวคิดจากการเรียนรู้แบบร่วมมือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนความคิดและแก้ปัญหา นำไปสู่การแตกแขนงทางความคิดและสามารถนำองค์ความรู้ไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังจากการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหาย เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานีที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 7 ห้อง รวม 220 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/2 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานีที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวนนักเรียน 39 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sample) เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากครูประจำชั้นของห้องดังกล่าว

### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยศึกษาตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 หลักสูตรในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6) มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ต่อจากนั้นจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้เสนอและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้นำร่องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา) วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม ปรับปรุงแก้ไขแล้วใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี

2.2 แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์เป็นแบบอัตนัยจำนวน 1 ข้อคิดเป็น 12 คะแนน ใช้เวลา 20 นาที ผู้วิจัยศึกษาการให้คะแนนของแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ซึ่งผู้วิจัยปรับปรุงมาจากเกณฑ์การตรวจให้คะแนนของ รุฮายู และคณะ (Rahayu et al., 2015: 231-233) และซุเซียน่า (Susiana, 2013: 5) ต่อจากนั้นจัดทำแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ เนื่องจากเนื้อหาในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้และแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์มีความแตกต่างกัน เกณฑ์การให้คะแนน (Scoring Rubric) จึงมีความแตกต่างกัน จากนั้นนำแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์เสนอและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ต่อจากนั้นนำแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ที่ปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้นำร่องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี นำผลการวิเคราะห์ข้อสอบมาพิจารณาคัดเลือกแบบทดสอบที่ผ่านเกณฑ์ซึ่งมีค่าความยากง่าย ( $P_e$ ) และอำนาจจำแนก (D) เป็น 0.51 และ 0.51 ตามลำดับ

2.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก 25 ข้อคิดเป็น 25 คะแนน ใช้เวลา 60 นาที ผู้วิจัยศึกษาการสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยวิเคราะห์กิจกรรมและจุดประสงค์การเรียนรู้ จากนั้นจัดทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเสนอและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ต่อจากนั้นนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้นำร่องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี คัดเลือกข้อสอบโดยพิจารณาจากค่าความยาก (P) ซึ่งมีค่าอยู่ตั้งแต่ 0.26-0.52 อำนาจจำแนก (B) ซึ่งมีค่าอยู่ตั้งแต่ 0.29-0.88 นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผ่านเกณฑ์ทดสอบนำร่องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา) วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม นำผลการทดสอบนำร่องที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบถูกต้อง

2.4 แบบวัดความพึงพอใจ แบบมาตรฐานประเมินค่า 5 ระดับจำนวน 11 ข้อ ผู้วิจัยศึกษาเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบวัดความพึงพอใจ จากนั้นจัดทำแบบวัดความพึงพอใจเสนอและปรับปรุงแก้ไขตาม คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ

### 3. การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนักคิดสี่สหาย เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน จำนวน 5 แผนการจัดการเรียนรู้รวม 10 คาบ ต่อจากนั้นเก็บข้อมูลโดยให้นักเรียนทำ แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจ ตรวจสอบให้คะแนน แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจแล้วนำคะแนนที่ได้ ไปวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล

## ผลและวิจารณ์

1. ผลการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำคะแนนรวมของแบบวัดทดสอบความคิดสร้างสรรค์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดความพึงพอใจ มาวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

1.1 ผู้วิจัยได้นำคะแนนรวมแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-Test for One Sample ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และค่าสถิติทดสอบที ของคะแนนความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์	<i>n</i>	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	<i>S</i>	$\mu_0$	<i>df</i>	<i>t</i>
คะแนนความคล่องในการคิด	39	4	3.79	0.61	2.8	38	10.11*
คะแนนความยืดหยุ่นในการคิด	39	4	2.36	1.63	2.8	38	-1.69
คะแนนความคิดริเริ่ม	39	4	2.79	1.56	2.8	38	-0.02
รวม		12	8.95	2.81	8.4	38	1.22

\* ที่ระดับนัยสำคัญ .05  $t_{(.05, 38)} = 1.686$

จากตาราง พบว่า คะแนนความคิดสร้างสรรค์ในด้านความคล่องในการคิดสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 แต่คะแนนความคิดสร้างสรรค์ในด้านความยืดหยุ่นในการคิดและความคิดริเริ่มต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05

1.2 ผู้วิจัยได้นำคะแนนรวมแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-Test for One Sample ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และค่าสถิติทดสอบที ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

กลุ่มตัวอย่าง	<i>n</i>	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	<i>S</i>	$\mu_0$	<i>df</i>	<i>t</i>
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	39	25	18.74	2.76	17.5	38	2.81*

\* ที่ระดับนัยสำคัญ .05  $t_{(.05, 38)} = 1.686$

จากตาราง พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05

1.3 แบบประเมินความพึงพอใจมาวิเคราะห์ ซึ่งแสดงผลดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและการแปลผลของผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน

การประเมิน	$\bar{x}$	S	แปลผล
ด้านเนื้อหา	4.06	0.66	ดีมาก
ด้านการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้	3.93	0.86	ดี
ด้านสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้	3.88	0.77	ดี
ด้านความพึงพอใจในภาพรวม	4.3	0.68	ดีมาก
รวม	4.06	0.14	ดีมาก

จากตาราง พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังจากการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหาย เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน อยู่ในระดับดีมาก โดยคะแนนความพึงพอใจด้านเนื้อหา ด้านการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้ และด้านความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ดี ดี และดีมาก ตามลำดับ

2. การใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหายเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

2.1 คะแนนความคิดสร้างสรรค์ในด้านความคล่องในการคิดสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดทำให้นักเรียนคิดอย่างเป็นระบบ มีความเชื่อมโยงสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล สามารถฟื้นความจำ วิเคราะห์ข้อมูล และตัดสินใจในการแก้ปัญหาได้หลากหลาย สอดคล้องกับอัจฉรา อินทร์น้อย (2555: 45) กล่าวว่า แผนผังความคิดสามารถนำมาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสมต่อครูและนักเรียน กล่าวคือ ครูนำแผนผังความคิดมาใช้สำหรับการวางแผนการจัดการเรียนรู้และตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน สำหรับนักเรียนนั้นแผนผังความคิดเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจำ การวางแผนการทำงาน การทบทวนความรู้เดิมและการสรุปเรื่องราวต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน (2559: 60-62) กล่าวว่า ความคิดสร้างสรรค์สามารถเรียนรู้และเสริมพลังสร้างให้พัฒนาสูงขึ้นได้ ด้วยการฝึกฝน ฝึกปฏิบัติ ลงมือกระทำ ภายใต้บรรยากาศแห่งความอิสระ อบอุ่น ปลอดภัยและท้าทาย และด้วยเทคนิควิธีการต่าง ๆ ที่นักคิด นักจิตวิทยาได้ศึกษาค้นคว้า โดยเทคนิคการระดมพลังสมองเป็นเทคนิคหนึ่งในการแก้ปัญหของออสบอร์น (Osborn, 1963) จุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมให้บุคคลมีความคิดหลายทิศทาง คิดคล่องแคล่ว ได้ปริมาณมากในช่วงเวลาจำกัด โดยการให้บุคคลคิดเป็นกลุ่มหรือรายบุคคลก็ได้ จดรายการความคิดต่าง ๆ ที่คิดได้โดยไม่คำนึงถึงการประเมินความคิดแต่เน้นปริมาณความคิด คิดให้ได้มาก คิดให้แปลก หลังจากได้รวบรวมความคิดต่าง ๆ แล้วจึงค่อยประเมินเลือกความคิดที่ดีที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาและจัดลำดับทางเลือกหรือทางแก้ปัญหารอง ๆ ไว้อีกด้วย

คะแนนความคิดสร้างสรรค์ในด้านความยืดหยุ่นในการคิดและความคิดริเริ่มต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถเขียนคำตอบเดียวกันในรูปแบบที่หลากหลายได้ เขียนคำตอบไม่แตกต่างจากคนอื่นเพราะนักเรียนไม่พยายามที่จะหาหนทางอื่น ไม่กล้าที่จะออกจากกรอบแนวคิด ไม่กล้าเสี่ยงที่จะเขียนคำตอบที่แปลกเพราะกลัวผิด รีบเขียนคำตอบอันแรกที่คิดออกเท่านั้น สอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน (2559: 51-54) ได้กล่าวว่า อุปสรรคด้านวัฒนธรรม (Cultural Block) เป็นผลเนื่องจากกฎเกณฑ์ของสังคมซึ่งกำหนดให้บุคคลต้องมีพฤติกรรมอยู่ในกรอบระเบียบแบบแผน ทำให้มีผลต่อการกีดกันความท้าทายต่อการคิดค้นและความเปลี่ยนแปลง อันเป็นคุณลักษณะความคิดสร้างสรรค์ของตัวบุคคล อุปสรรคด้านการรับรู้ (Perceptual Block) การที่คนเรา

ไม่สามารถมองเห็นปัญหาที่แท้จริงได้เป็นเหตุให้การแก้ปัญหาที่ดำเนินไปโดยปราศจากเป้าหมายที่ชัดเจนและแน่นอน ประกอบกับผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจด้านการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้ อยู่ในระดับดี ซึ่งมีน้อยกว่าด้านอื่น ๆ อาจเป็นเพราะสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้เกี่ยวกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ยังน้อยเกินไปและไม่หลากหลายส่งผลกระทบต่อความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน สอดคล้องกับ สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน (2559: 51) ได้กล่าวว่า อุปสรรคด้านการรับรู้ (Perceptual Block) การที่คนเราไม่สามารถมองเห็นปัญหาที่แท้จริงได้เป็นเหตุให้การแก้ปัญหาที่ดำเนินไปโดยปราศจากเป้าหมายที่ชัดเจนและแน่นอน ได้แก่ 1) ความยากในการมองเห็นความสัมพันธ์ของวัตถุ 2) การมองข้ามสิ่งที่ใกล้เคียงหรือสิ่งที่เด่นชัด 3) มีหลายสถานการณ์ที่ยากแก่การแยกแยะได้อย่างชัดเจนว่าอะไรเป็นผลแก่กัน

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดช่วยทำให้นักเรียนมีการจัดระบบความคิดที่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงความคิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านการลากเส้นโยงและสีสันทันประกอบกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ เพื่อนคู่คิดสี่สหายทำให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดและร่วมกันต่อยอดองค์ความรู้ ค้นหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย จัดหมวดหมู่ทางความคิด วิธีการที่แปลกและแตกต่างจากเดิม ช่วยกันตรวจสอบความถูกต้องภายในกลุ่ม นักเรียนที่เข้าใจจะช่วยกันอธิบายนักเรียนที่ไม่เข้าใจจึงส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับ ญัฐทิศา โรจนประศาสน์ และคณะ (2561: 112-113) ได้ศึกษาการใช้แผนที่ความคิดสรุปเนื้อหาบทเรียนในการพัฒนาการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนรู้โดยใช้แผนที่ความคิดสรุปเนื้อหาบทเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์เมื่อกำหนดเกณฑ์การประเมินผ่านร้อยละ 50 มี 11 รายวิชาจากทั้งหมด 15 รายวิชาที่นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ สอดคล้องกับเซปติวานี (Septivany, 2018: บทคัดย่อ) กล่าวว่า การเรียนรู้แบบเพื่อนคู่คิดสี่สหายทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาภาษาอังกฤษเกี่ยวกับทักษะการพูดภาษาอังกฤษสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเรียนรู้แบบร่วมมือที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความกล้าแสดงออก และมีความมั่นใจเพิ่มขึ้น

2.3 ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังจากการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อนคู่คิดสี่สหาย เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน อยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากนักเรียนได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านแผนผังความคิดและแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนจึงทำให้นักเรียนมีความกล้าที่จะแสดงความคิดเห็น รับฟังความคิดเห็นที่ต่างจากตน และร่วมกันสร้างสรรค์ผลงานให้ดี สอดคล้องกับอารี พันธุ์มณี (2540: 31-32, อ้างถึงใน สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน, 2559: 23) ที่กล่าวว่า บุคคลที่กล้าเล่น กล้าทดลองกับความคิดของตนเองจะพอใจยินดีที่จะเผชิญกับผลที่เกิดขึ้น แม้ว่าจะยังไม่สำเร็จก็ตาม แต่จะคิดว่าทุกครั้งของความพยายาม ความสำเร็จจะใกล้เข้ามา และในที่สุดความคิดของตนเองก็จะสำเร็จ ทำให้บุคคลเกิดความเชื่อมั่นในผลของความมานะบากบั่น และรู้สึกภูมิใจกับความสำเร็จที่เกิดจากการคิด ทดลองเสี่ยง ซึ่งอาจต้องใช้เวลากว่าจะได้คำตอบ สอดคล้องกับพรพรรณทิพย์ ชับชุตต และคณะ (2560: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิดในรายวิชาการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิต พบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก เฉลี่ย 3.81 ( $SD = 0.80$ ) สอดคล้องกับ สำราญ ไผ่นวล (2556: 27-28) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจในวิธีสอนวิชาสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการเรียนแบบร่วมมือกิจกรรมแบบเพื่อนคู่คิด พบว่า นักศึกษามีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ครูประจำชั้น และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## บทสรุป

1. นักเรียนมีคะแนนความคิดสร้างสรรค์หลังการจัดการเรียนรู้ด้านความคล่องในการคิดสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในขณะที่คะแนนความคิดสร้างสรรค์หลังการจัดการเรียนรู้ด้านความยืดหยุ่นในการคิด ด้านความคิดริเริ่ม และคะแนนความคิดสร้างสรรค์รวมต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน หลังได้รับการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ .05
3. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนจัดการเรียนการสอนอยู่ในระดับดีมาก

## เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการข้าราชการพลเรือน, สำนักงาน. (2559). *หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ การคิดเชิงสร้างสรรค์*. ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2563 จาก <https://www.ocsc.go.th/sites/default/files/document/ocsc-2017-eb13.pdf>
- จิตติพร พิษณุกุล. (2558). *การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนที่ทางความคิดเพื่อพัฒนาความสามารถในการถ่ายโยงการเรียนรู้ของนักศึกษาครุศาสตร์บัณฑิต หลักสูตรวิชาการศึกษาศาสตรบัณฑิต วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*. 10(1) : 169-181.
- ณัฐทิศา โจนนประศาสน์, สุดคะนึง ณ ระนอง, สุนันทา ช่างสาย, มาลินี ฉินนานนท์, จันทรา ชุ่มแข็ง, ลักษณ์มี วิทยา และณฤทธิ กล่อมพงษ์. (2561). *การใช้แผนที่ความคิดสรุปเนื้อหาบทเรียนในการพัฒนาการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง*. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 10(1) : 112-131.
- พรรณนทิพย์ ชับชุตต, ปรางทิพย์ ทาเสนาะ เอลเทอร์ และพิศมัย อุบลศรี. (2560). *ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังความคิดในรายวิชาการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิต*. วารสารวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. 11(2) : 39-48.
- สลินี เรืองจ้อย. (2554). *ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาปลายเปิด เรื่อง ลำดับและอนุกรมที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5*. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ลำราญ ไผ่นวล. (2556). *การศึกษามผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจในวิธีสอนวิชาสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการเรียนแบบร่วมมือกิจกรรมแบบเพื่อนคู่คิด*. รายงานการวิจัย : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- อัจฉรา อินทร์น้อย. (2555). *ผลการสอนโดยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบแผนที่ความคิดที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชา*

- สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย  
ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายประถม). รายงานการวิจัย : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
- Devi Rufiana. (2017). *Using Think-Pair-Square-Share Strategy to Improve Students' Speaking Ability for Indonesian Senior High School Students*. Journal of Applied Linguistics and Literature, Vol. 2(1), 1-11.
- Marviona Septivany. (2018). *Students' Perception on the Use of Think-Pair-Square-Share Technique in Speaking*. Widya Mandala Catholic university.
- Nancy Susianna. (2013). *Development of Mind Map Rubric to Measure Creativity of Students in Basic Chemistry Course for the Concept of "Material And Its Changes"*. International conference on Science and Mathematics Education, 1-11.
- Ninuk Prestawati. (2017). *The Effect of Think Pair Square Share to the Students' Speaking Ability at the Second Grade Students of MTs Nu Hasan Muchyi Academic Year 2015/2016*. University of Nusantara PGRI Kediri.
- Puji Rahayu et al. (2018). *Development of Creative Mind Map Rubric to Assess Creative Thinking Skills in Biology for the Concept of Environmental Change*. Volume 5(2) ISSN (Online) : 2349–5219.
- Vijayakumari, K and Kavithamole, M.G., (2014). *Mind Mapping: A tool for Mathematical Creativity*. Guru Journal of Behavioral and Social Sciences 2 (1), 241-246, 2014.

# การตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค Helicase dependent amplification

## Detection of bacterial contamination in platelet product by helicase dependent amplification technique

วรางคณา แยมเกต<sup>1</sup>, ปาหนัน รัฐวงศ์จิระกุล<sup>2</sup>

Warangkana Yamket<sup>1</sup>, Panan Rattawongjirakul<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย อาจก่อให้เกิดการติดเชื้อในกระแสโลหิตที่รุนแรงและนำไปสู่การเสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานในทางธนาคารโลหิต ทำการตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วย เพื่อลดอาการไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้น แม้ว่าวิธีการตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตในปัจจุบันมีหลายวิธี แต่ยังมีข้อจำกัดที่พบได้บางประการ ทั้งในเรื่องการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ในห้องปฏิบัติการทางธนาคารโลหิต การทดสอบที่ใช้เวลานาน ซึ่งไม่เหมาะสมกับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่สั้นประมาณ 5 วัน และต้นทุนของการทดสอบบางวิธีที่มีราคาแพง วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อพัฒนาเทคนิคทางอณูชีววิทยา ได้แก่ เทคนิค Helicase dependent amplification (HDA) สำหรับตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมาตรฐานทางพีซีอาร์โดยเครื่องอัตโนมัติ BacT/ALERT พบว่าเทคนิค HDA ตรวจพบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตได้ภายในเวลาน้อยกว่า 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ความเข้มข้น  $10^7$  ถึง  $10^5$  CFU/ml และตรวจการปนเปื้อนของเชื้อได้ต่ำสุดที่ 45 CFU/ml โดยมีความไวและความจำเพาะเท่ากับ 71% และ 100% ตามลำดับ และมีความสอดคล้องในระดับพอใช้ เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kappa เท่ากับ 0.40 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามเทคนิค HDA มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน อาศัยเพียงกล่องควบคุมอุณหภูมิที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิตทั่วไปในการทำปฏิกิริยา และให้ผลการตรวจที่รวดเร็ว เหมาะสำหรับนำไปพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตในอนาคต

**คำสำคัญ:** เกล็ดโลหิต, การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย, Helicase dependent amplification, BacT/ALERT

<sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับโมเลกุลทางจุลชีววิทยาทางการแพทย์และวิทยาภูมิคุ้มกัน, คณะสหเวชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Program of Molecular Sciences in Medical Microbiology and Immunology, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา, คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Research Unit of Innovative Diagnosis of Antimicrobial Resistance, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.



## Abstract

Bacterial contamination of platelet products may lead to severe sepsis that can be fatal to the recipient's death. Thus early detection of bacterial contamination in the platelet products should be performed, in order to minimise any adverse reaction that may occur. Up to now, several methods have been evaluated; however, some limitations are still existing. These include an unsuitable practice for bacterial culture in the blood banking working area, time-consuming that not agree with a 5-day short shelf life of the platelet, and also the high cost of the assay. This study aimed to develop a molecular technique named Helicase dependent amplification (HDA) to detect bacterial contamination in platelet product and compare performance with the gold standard phenotypic method, BacT/ALERT. In this study, HDA was able to detect bacterial contamination ranging from  $10^7$  to  $10^5$  CFU/ml in the platelet product within less than 2 hours. The minimum bacterial concentration that could be detected by HDA was 45 CFU/ml. Sensitivity and specificity of HDA were 71% and 100%, respectively, while the two methods agreed at the fair level, the value of kappa was 0.40 at 95% confidence interval. HDA is rapid and simplistic, and only requires an easy-to-find heat box in the blood banking laboratory for the amplification step. This technique is suitable for further development as the alternative methods to detect bacterial contamination in the platelet product in future.

**Keywords:** Platelet, Bacterial contamination, Helicase dependent amplification, BacT/ALERT

## บทนำ

การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในส่วนประกอบโลหิตเป็นปัญหาที่พบบ่อยยาวนาน หากผู้ป่วยได้รับส่วนประกอบโลหิตที่ปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียเข้าไป อาจเกิดการติดเชื้อในกระแสโลหิตอย่างรวดเร็วและรุนแรง นำไปสู่การเสียชีวิตได้ ในปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงและควบคุมกระบวนการต่างๆ ในการเจาะเก็บโลหิต รวมไปถึงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในส่วนประกอบโลหิต (Ibáñez-Cervantes, et al., 2017) แต่สำหรับผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-24 °C ภายใต้การเขย่า (Janda and Abbott, 2007) ซึ่งอุณหภูมิและสภาวะดังกล่าวสามารถเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้มีการเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนเข้ามาในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตได้ สมาคมธนาคารโลหิตแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานให้งานธนาคารโลหิต ทำการตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วย เพื่อลดอาการไม่พึงประสงค์จากการติดเชื้อแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนเข้ามา การเพาะเลี้ยงเชื้อแม้ว่ายังคงเป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียจากผลิตภัณฑ์โลหิตต่างๆ แต่ด้วยข้อจำกัดของห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิต ที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียภายในพื้นที่ปฏิบัติการ ประกอบกับใช้เวลาในการทดสอบเพาะเลี้ยงนาน ทำให้เทคนิคดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานประจำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นประมาณ 5 วัน และหาก

ต้องการที่จะตรวจหาเชื้อแบคทีเรียในช่วงวันที่ใกล้จะนำเกล็ดโลหิตไปให้ผู้ป่วยมากที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้วิธีที่ให้ผลรวดเร็ว ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคทางอณูชีววิทยา มาใช้ในการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต เพิ่มมากขึ้น อาทิเช่น เทคนิค Real-time PCR หรือเทคนิค PCR อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานประจำ สำหรับการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต เนื่องจากมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายที่สูง และต้องอาศัยเครื่องมือที่จำเพาะซึ่งต้องมีการดูแลรักษาต่อเนื่อง (Palavecino, Yomtovian, and Jacobs, 2010) ในขณะที่เทคนิค Helicase dependent amplification หรือ HDA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวินิจฉัยเชื้อจุลินทรีย์อย่างแพร่หลาย HDA อาศัยหลักการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมภายใต้อุณหภูมิคงที่ (Isothermal amplification) และมีจุดเด่นหลายประการ อาทิเช่น มีขั้นตอนในการทดลองไม่ซับซ้อน มีความสะดวก รวดเร็ว สามารถอ่านผลด้วยเทคนิคต่างๆ ได้ง่าย มีความไวในการตรวจจับและความจำเพาะต่อเป้าหมายในการตรวจสูง และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ โดยใช้เพียงกล่องควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนการบ่มเพื่อดำเนินปฏิกิริยาเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม จึงเหมาะสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีอุปกรณ์จำกัด ไม่มีเครื่องมือเฉพาะทาง (Barreda-García et al., 2018)

ดังนั้น เทคนิคที่สามารถตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ให้ผลการทดสอบถูกต้อง และรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นสำหรับการตรวจคัดกรองการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย ก่อนนำผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตไปให้กับผู้ป่วย ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการติดเชื้อแบคทีเรียในกระแสโลหิตได้ การศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคอณูชีววิทยาที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน มีระยะเวลาทดสอบและอ่านผลที่รวดเร็ว และยังคงมีความไวและความจำเพาะสูง ในการตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต เทคนิคที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ เทคนิค HDA ซึ่งอาศัยการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยเอนไซม์ Helicase ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 65 °C โดยขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดใช้เวลาน้อยกว่า 2 ชั่วโมง และอาศัยเพียงกล่องควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายในงานประจำของห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิต

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเทคนิค HDA สำหรับตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีทางอณูชีววิทยา ได้แก่ เทคนิค HDA และ PCR กับวิธีทางพีโนไทป์ที่ใช้เครื่องอัตโนมัติ BacT/ALERT ในการตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. การพิจารณาทางจริยธรรมการวิจัย

ตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่หมดอายุ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา จากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 4 จังหวัดราชบุรี สภากาชาดไทย การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้รับการอนุมัติการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย เลขที่รับรองโครงการ COA. NBC 15/2019

## 2. การเตรียมผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียแบบจำลอง

นำเชื้อแบคทีเรียตัวอย่าง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อ *Staphylococcus aureus* (ATCC 29523), *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) และ *Serratia marcescens* มาเจือจางในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Tryptic soy broth และปรับความเข้มข้นเชื้อให้ได้  $10^8$  CFU/ml ใช้เข็มฉีดยาดูดเชื้อแบคทีเรียที่เจือจางแต่ละสายพันธุ์ แยกฉีดใส่ถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่มีปริมาตรเท่ากับ 40 ml โดยให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อในถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตมีค่าเจือจางเป็นลำดับเท่ากับ  $10^7$  ถึง  $10^4$  CFU/ml เขย่าส่วนผสมภายในให้เข้ากัน ดูดสารละลายในถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตแต่ละถุง ปริมาตร 100  $\mu$ l เกลี่ยลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ในแต่ละความเข้มข้นที่เพาะได้จากถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต นำผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ไปทำการสกัด DNA ในขั้นตอนต่อไป

## 3. การสกัด DNA

ดูดสารละลายจากถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1000  $\mu$ l นำไปสกัด DNA โดยใช้ชุดทดสอบ QIAamp DNA Microbiome (บริษัท QIAGEN, สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี) วัดปริมาณและความบริสุทธิ์ของ DNA ที่สกัดได้ เก็บ DNA ที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

## 4. การตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิค PCR

นำ DNA ที่สกัดได้จากข้างต้นมาใช้เป็น DNA ต้นแบบ สำหรับตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ Primer ที่ออกแบบให้จำเพาะต่อส่วนบริเวณอนุรักษ์ของยีน 16s rRNA ที่พบในแบคทีเรียทุกชนิด ซึ่งใช้ลำดับเบสของยูแบคทีเรียส่วนบริเวณอนุรักษ์จำนวน 275,057 ชนิด จากฐานข้อมูล Ribosomal Database Project (RDP) อ้างอิงจากการศึกษาของ Yong Wang et al., (2009) เป็นต้นแบบ ในปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 10x PCR buffer, 10 mM dNTPs, 1U Taq DNA polymerase, Forward primer และ Reverse primer (5'CCARACTCCTACGGGAGGCAGCAGTRRGA3' และ 5'ATTACCGCGGCTGCTGGCAGDAGTTAGCC 3' ตามลำดับ ซึ่งให้ขนาดผลผลิตเท่ากับ 200 bp) อย่างละ 10  $\mu$ M DNA ต้นแบบ 10 ng เติมน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้ได้ปริมาตรรวม 50  $\mu$ l ทำปฏิกิริยา PCR ในสภาวะต่อไปนี้ อุณหภูมิ 94 °C เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นใช้อุณหภูมิ 94 °C เป็นเวลา 30 วินาที อุณหภูมิ 68 °C เป็นเวลา 1 นาที อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที จำนวน 30 รอบ และอุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 5 นาที ใช้น้ำกลั่นปราศจากเชื้อและสารละลายจากถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปราศจากเชื้อเป็นตัวควบคุมลบ ตรวจสอบผลผลิต PCR ที่เกิดขึ้นบน 1.5% Agarose gel electrophoresis อ่านผลแถบ DNA ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตโดยเปรียบเทียบกับ DNA มาตรฐานขนาด 100 bp บันทึกภาพที่เกิดขึ้น ส่งผลผลิต PCR ของเชื้อแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยเทคนิค Sanger DNA sequencing โดยบริษัท Bioneer

sequencing service จำกัด ประเทศเกาหลีใต้ วิเคราะห์ลำดับเบสด้วยโปรแกรม BioEdit Version 7.1.3 (Carolina state University, USA) เพื่อยืนยันผลผลิต PCR

#### 5. การตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิค HDA

นำ DNA ที่สกัดได้จากข้างต้นมาใช้เป็น DNA ต้นแบบ สำหรับตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค HDA โดยใช้ Primer ที่ออกแบบให้จำเพาะต่อส่วนบริเวณอนุภาคของยีน 16s rRNA ที่พบในแบคทีเรียทุกชนิด ซึ่งใช้ลำดับเบสของยูแบคทีเรียส่วนบริเวณอนุภาคจำนวน 275,057 ชนิด จากฐานข้อมูล Ribosomal Database Project (RDP) อ้างอิงจากการศึกษาของ Yong Wang et al., (2009) เป็นต้นแบบ โดยใช้น้ำยา HDA (บริษัท BioLabs จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 10X Annealing buffer II ปริมาตร 5  $\mu$ l  $MgSO_4$  ปริมาตร 2  $\mu$ l NaCl ปริมาตร 4  $\mu$ l IsoAmp dNTPs solution ปริมาตร 3.5  $\mu$ l IsoAmp enzyme mix ปริมาตร 3.5  $\mu$ l Forward primer และ Reverse primer (5'AGTCCCRYAACGAGCGCAACCC3' และ 5'TTGACGTCRTCCCCRCCTTCC3' ตามลำดับ ซึ่งให้ขนาดผลผลิตเท่ากับ 104 bp) อย่างละ 1  $\mu$ l DNA ต้นแบบ 2  $\mu$ l และน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 26  $\mu$ l บ่มที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากเชื้อและสารละลายจากถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปราศจากเชื้อเป็นตัวควบคุมลบ ตรวจสอบผลผลิต HDA ที่เกิดขึ้นบน 2% Agarose gel electrophoresis อ่านผลแถบ DNA ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตโดยเปรียบเทียบกับ DNA มาตรฐานขนาด 100 bp บนที่กภาพที่เกิดขึ้น

#### 6. การตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียด้วยเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert System

ดูสารละลายในถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตปริมาตร 10 ml ใส่ในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ BacT/Alert® BPA (บริษัท bioMérieux จำกัด ประเทศฝรั่งเศส) บ่มด้วยเครื่อง BacT/Alert System เป็นเวลา 7 วัน ทำการดูสารละลายภายในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลการทดสอบเป็นบวก เพราะเลี้ยงเชื้อลงบน Tryptic soy agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง จำแนกเชื้อด้วยการทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมี

#### 7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์หาค่าความไว (sensitivity) ความจำเพาะ (specificity) และค่าสถิติ Kappa coefficient (K) โดยโปรแกรม SPSS statistical (Version 22 for windows)

## ผลและวิจารณ์

เมื่อทำการเตรียมผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียแบบจำลอง ประกอบไปด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ที่พบอุบัติการณ์ปนเปื้อนได้บ่อยในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต (Yomtovian, et al., 2006) จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อ *S. aureus* (ATCC 29523), *S. epidermidis*, *E. coli* (ATCC 25922), *P. aeruginosa* (ATCC 27853) และ *S. marcescens* โดยเตรียมให้มีความเข้มข้นของเชื้อเท่ากับ  $10^7$  ถึง  $10^4$  CFU/ml ภายหลังจากเลี้ยงเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar สามารถนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

เทคนิค PCR สามารถตรวจพบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตได้ทุกสายพันธุ์ ตั้งแต่ความเข้มข้น  $10^7$  ถึง  $10^4$  CFU/ml โดยตรวจการปนเปื้อนของเชื้อได้ต่ำสุด  $\leq 5.5$  CFU/ml (ตารางที่ 1) ภายในเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที และเมื่อนำผลผลิต PCR ไปวิเคราะห์ลำดับเบสเพื่อยืนยันสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียที่ถูกรวบรวม พบว่ามีความถูกต้องกับสายพันธุ์ของเชื้อที่ได้ฉีดใส่เข้าไปในถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตในขั้นตอนการเตรียม การศึกษาก่อนหน้านี้ใช้เทคนิค Real-time PCR ตรวจหายีน 16s rRNA ของเชื้อแบคทีเรียที่ฉีดเข้าไปในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต โดยสามารถตรวจพบ *Enterobacter cloacae* และ *S. marcescens* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1 CFU/ml และตรวจพบ *S. aureus* และ *S. epidermidis* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 CFU/ml (Viana, et al., 2018) ในขณะที่เทคนิค HDA ตรวจพบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตได้ทุกสายพันธุ์ ภายในเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที ตั้งแต่ความเข้มข้น  $10^7$  ถึง  $10^5$  CFU/ml (รูปที่ 1) และตรวจการปนเปื้อนของเชื้อได้ต่ำสุดที่ 45 CFU/ml (ตารางที่ 1) ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับที่เทคนิค PCR ตรวจวัดได้ประมาณ 10 เท่า อย่างไรก็ตามผลการตรวจด้วยเทคนิค HDA ในการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Gill et al., (2008) ที่พัฒนาเทคนิค HDA ร่วมกับ Gold nanoparticle probes เพื่อใช้ตรวจหายีน *ureC* ของ *Helicobacter pylori* และสามารถตรวจหาเชื้อได้ต่ำสุดที่ 10 CFU/ml เมื่อตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียด้วยเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert System สามารถตรวจการปนเปื้อนของเชื้อได้ต่ำสุด  $\leq 5.5$  CFU/ml ภายในเวลา 9 ชั่วโมง 36 นาที (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Brecher et al., (2005) ที่ตรวจพบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียจำนวน 10 สายพันธุ์ ได้ระดับต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6 CFU/ml

เมื่อเปรียบเทียบวิธีทางอณูชีววิทยาที่ใช้ตรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิต ได้แก่ เทคนิค PCR ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลาย และเทคนิค HDA ที่อาศัยการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมภายใต้อุณหภูมิคงที่ และเป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ กับวิธีทางฟิโนไทป์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert System ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่รับรองโดยองค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา พบว่าเทคนิค PCR มีความไวและความจำเพาะเท่ากับ 100% และมีค่าสถิติ Kappa เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องในระดับดีมาก ในขณะที่เทคนิค HDA มีความไวและความจำเพาะเท่ากับ 71% และ 100% ตามลำดับ และมีค่าสถิติ Kappa เท่ากับ 0.40 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องในระดับพอใช้ เทคนิค PCR เป็นเทคนิคที่มีความไวและความจำเพาะสูง ใช้ปริมาณตัวอย่างในการตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตน้อยกว่าเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert System แต่มีข้อจำกัดเรื่องราคาต่อการทดสอบค่อนข้างสูง และต้องใช้เครื่องมือที่จำเพาะนอกเหนือจากเครื่องมือประจำในห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิต จึงเป็นข้อจำกัดของการนำมาใช้ในงานธนาคารโลหิตของห้องปฏิบัติในหลายแห่ง เทคนิค HDA สามารถให้ผลการตรวจที่รวดเร็วภายในระยะเวลาน้อยกว่า 2 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าเทคนิค PCR อีกทั้งยังใช้อุปกรณ์เพียงกล่องควบคุมอุณหภูมิ ที่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิต อย่างไรก็ตามความไวของเทคนิค HDA อาจขึ้นอยู่กับคุณภาพของ DNA ต้นแบบที่ใช้ในปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมของ DNA ต้นแบบที่อยู่ในสิ่งส่งตรวจจากร่างกายมนุษย์ เนื่องมาจากชิ้นส่วนของ Human genomic DNA อาจเข้าแย่งจับกับเอนไซม์ Helicase ทำให้รบกวนการเกิดปฏิกิริยา HDA ได้ การศึกษาของ Dosseva, et al., (2011) พบว่า

การมี Human genomic DNA ในสิ่งส่งตรวจมากกว่า 200 ng ขึ้นไป ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา HDA ได้ ดังนั้นกรรมวิธีสกัด DNA ต้นแบบที่สามารถลดการปนเปื้อนของ Human genomic DNA ในสิ่งส่งตรวจจึงมีความสำคัญ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยา HDA ให้ดีขึ้น นอกจากนี้การลดโอกาสของการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมแบบไม่จำเพาะและ Primer dimer ที่มักพบในปฏิกิริยาของเทคนิค HDA มากกว่าเทคนิค PCR อาจเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิค HDA การตรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert เป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการแนะนำโดยสมาคมธนาคารโลหิตแห่งสหรัฐอเมริกา (American Association of Blood Banks: AABB) แม้ว่าจะมีความไวสูง แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานหลายชั่วโมง จึงจะสามารถตรวจพบแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในระดับต่ำได้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ German Evaluation of Regular Bacterial Monitoring Study (2005) พบว่าเครื่องอัตโนมัติ BacT/Alert ให้ผลบวกปลอมได้ระหว่าง 0.2% ถึง 3.2% และในการตรวจแต่ละครั้งต้องใช้เกล็ดโลหิตปริมาตรมากถึง 5-10 ml ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตชนิด Platelet concentrates เนื่องจากมีปริมาตรเพียง 60 ml/unit (Mohammadi, et al., 2005)

## สรุป

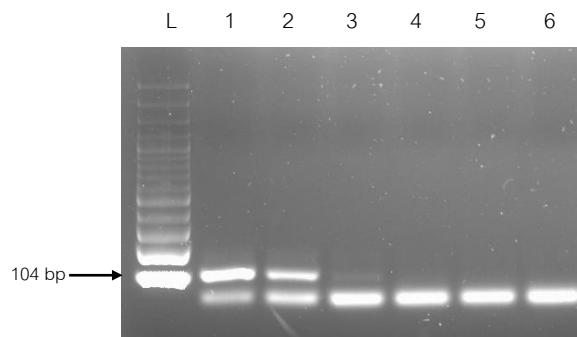
การตรวจหาการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตมีความจำเป็นในงานธนาคารโลหิต เพื่อป้องกันการให้ผลิตภัณฑ์ที่อาจปนเปื้อนแก่ผู้รับบริจาคหรือผู้ป่วย และช่วยลดอัตราการติดเชื้อหรือเสียชีวิตที่อาจเกิดขึ้น วิธีการตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตควรเป็นวิธีที่มีความไวและความจำเพาะสูง ให้ผลรวดเร็วเนื่องจากเกล็ดเลือดมีอายุการจับเก็บที่สั้น และราคาไม่แพง การตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค HDA ยังมีข้อจำกัดที่พบได้บางประการ อาทิเช่น หากปริมาณเชื้อแบคทีเรียค่อนข้างต่ำ เช่น ในระยะแรกของช่วงอายุเกล็ดโลหิต อาจทำให้โอกาสการตรวจพบเชื้อแบคทีเรียค่อนข้างน้อย และอาจถูกรบกวนปฏิกิริยาโดยชิ้นส่วนของ Human genomic DNA ที่ปนอยู่ในสิ่งส่งตรวจ ทำให้ความไวในการตรวจมีประสิทธิภาพที่ลดลง อย่างไรก็ตามเทคนิค HDA มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน อาศัยเพียงกล่องควบคุมอุณหภูมิที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการธนาคารโลหิตทั่วไปในการทำปฏิกิริยา และให้ผลการตรวจที่รวดเร็ว สามารถนำไปปรับพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สำหรับตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- Barreda-García S., Miranda-Castro R., de-los-Santos-Álvarez N., Miranda-Ordieres A. J., & Lobo-Castañón M. J. (2018). Helicase-dependent isothermal amplification: a novel tool in the development of molecular-based analytical systems for rapid pathogen detection. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 410(3), 679-693.
- Brecher M., Hay S., Rose A., & Rothenberg S. (2005). Evaluation of BacT/ALERT plastic culture bottles for use in testing pooled whole blood-derived leukoreduced platelet-rich plasma platelets with a single contaminated unit. *Transfusion*, 45(9), 1512-1517.
- Doseeva V., Forbes T., Wolff J., Khripin Y., O'Neil D., Rothmann T., & Nazarenko I. (2011). Multiplex isothermal helicase-dependent amplification assay for detection of *Chlamydia trachomatis* and *Neisseria gonorrhoeae*. *Diagnostic microbiology and infectious disease*, 71(4), 354-365.
- German Evaluation of Regular Bacterial Monitoring Study. (2005). False-positive alarms for bacterial screening of platelet concentrates with BacT/ALERT new-generation plastic bottles: a multicenter pilot study. *Transfusion*, 45(8), 1267-1274.
- Gill P., Alvandi A.-H., Abdul-Tehrani H., & Sadeghizadeh M. (2008). Colorimetric detection of *Helicobacter pylori* DNA using isothermal helicase-dependent amplification and gold nanoparticle probes. *Diagnostic microbiology and infectious disease*, 62(2), 119-124.
- Ibáñez-Cervantes G., Bello-López J., Fernández-Sánchez V., Domínguez-Mendoza C., & Acevedo-Alfaro L. (2017). Prevalence of bacterial contamination in platelet concentrates at the National Center of Blood Transfusion (Mexico). *Transfusion Clinique et Biologique*, 24(2), 56-61.
- Janda J. M., & Abbott S. L. (2007). 16S rRNA gene sequencing for bacterial identification in the diagnostic laboratory: pluses, perils, and pitfalls. *Journal of clinical microbiology*, 45(9), 2761-2764.
- Mohammadi T., Pietersz R. N., Vandenbroucke-Grauls C. M., Savelkoul P. H., & Reesink H. W. (2005). Detection of bacteria in platelet concentrates: comparison of broad-range real-time 16S rDNA polymerase chain reaction and automated culturing. *Transfusion*, 45(5), 731-736.
- Palavecino E. L., Yomtovian R. A., & Jacobs M. R. (2010). Bacterial contamination of platelets. *Transfusion and Apheresis Science*, 42(1), 71-82.
- Viana J., Ferreira S., Matana S., Rossi F., Patel P., Garson J., . . . Levi J. (2018). Detection of bacterial contamination in platelet concentrates from Brazilian donors by molecular amplification of the ribosomal 16S gene. *Transfusion Medicine*, 28(6), 420-426.

Wang, Y., & Qian, P.-Y. (2009). Conservative fragments in bacterial 16S rRNA genes and primer design for 16S ribosomal DNA amplicons in metagenomic studies. *PLoS One*, 4(10).

Yomtovian R. A., Palavecino E. L., Dysktra A. H., Downes K. A., Morrissey A. M., Bajaksouzian S., . . . Jacobs M. R. (2006). Evolution of surveillance methods for detection of bacterial contamination of platelets in a university hospital, 1991 through 2004. *Transfusion*, 46(5), 719-730.



รูปที่ 1 ผลของการตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยเทคนิค HDA บน 2% Agarose gel electrophoresis จากรูปเป็นตัวอย่างการตรวจหาการปนเปื้อนของถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปนเปื้อนด้วย *S. aureus* ที่ระดับความเข้มข้น  $10^7$  ถึง  $10^4$  CFU/ml (เลนส์ที่ 1 ถึง 4) โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ (เลนส์ที่ 5) และสารละลายจากถุงผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตที่ปราศจากเชื้อ (เลนส์ที่ 6) เป็นตัวควบคุมลบ เปรียบเทียบกับ DNA มาตรฐานขนาด 100 bp (L)

ตารางที่ 1 สรุปผลการตรวจการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เกล็ดโลหิตด้วยวิธีทางอนุชีววิทยาและพีโนไทป์

ระดับความเข้มข้น	<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)				<i>S. epidermidis</i>				<i>E. coli</i> (ATCC 25922)				<i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853)				<i>S. marcescens</i>			
	CFU/ml	PCR	HDA	BPA (hr:min)	CFU/ml	PCR	HDA	BPA (hr:min)	CFU/ml	PCR	HDA	BPA (hr:min)	CFU/ml	PCR	HDA	BPA (hr:min)	CFU/ml	PCR	HDA	BPA (hr:min)
$10^7$	22000	+	+	3:36	5250	+	+	4:06	21000	+	+	3:06	15500	+	+	4:28	24000	+	+	3:00
$10^6$	1250	+	+	4:06	410	+	+	5:06	2100	+	+	3:42	1850	+	+	6:24	2350	+	+	4:00
$10^5$	335	+	+	5:24	45	+	+	6:36	170	+	+	4:24	225	+	+	8:06	185	+	+	5:00
$10^4$	16.5	+	-	6:06	5.5	+	-	9:36	14.5	+	-	5:06	19.5	+	-	9:48	16	+	-	6:00



# เทคนิคใหม่ทางคอมพิวเตอร์ในการอ่านผล *Treponema pallidum* Particle Agglutination Test (TPPA)

## A Novel Computer Reading for *Treponema pallidum* Particle Agglutination Test (TPPA)

ภาคภูมิ เดชหัสดิน<sup>1</sup>, ปาหนัน รัฐวงศ์จิรกุล<sup>2</sup>

Parkphum Dejhsutsadin<sup>1</sup>, Panan Ratthawongjirakul<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ซิฟิลิสเป็นโรคติดต่อที่มีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรีย *Treponema pallidum* โดยสามารถติดต่อผ่านทางกระแสโลหิตและสารคัดหลั่งของร่างกาย และการติดต่อผ่านทางเพศสัมพันธ์ การติดเชื้อดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพยาธิสภาพของร่างกายหลายระบบ จากข้อมูลสถานการณ์โรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2560 พบอัตราผู้ป่วยโรคซิฟิลิสที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในอย่างต่อเนื่อง ซิฟิลิสสามารถติดต่อผ่านการรับโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิต ดังนั้นในปัจจุบันจึงจำเป็นต้องทำการตรวจซิฟิลิสในโลหิตบริจาคทุกราย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ได้มีการตรวจคัดกรองและยืนยันซิฟิลิสในโลหิตของผู้บริจาคทุกราย ด้วยวิธี Chemiluminescent Microparticle Immunoassay (CMIA) และวิธี *Treponema pallidum* Particle Agglutination (TPPA) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าการทดสอบด้วยวิธี TPPA มีข้อจำกัดที่ใช้ระยะเวลานาน ต้องอาศัยทักษะของผู้ปฏิบัติงานสูงในการอ่านผล จึงอาจเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนในการแปลผลได้ การศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อช่วยในการแปลผลการอ่านปฏิกิริยาแบบจับกลุ่มของวิธี TPPA เปรียบเทียบกับการอ่านผลด้วยตาเปล่าโดยผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เมื่อทำการทดสอบกับพลาสมาของผู้บริจาคโลหิตจำนวน 65 ราย พบว่าการอ่านผลและแปลผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากวิธี TPPA ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ให้ผลสอดคล้องกับการอ่านผลด้วยผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 64 ราย (98.46%) ซึ่งถือว่ามีผลสอดคล้องดีมากเมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kappa (Kappa = 0.88) และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานประจำสำหรับตรวจวินิจฉัยซิฟิลิส ในโลหิตของผู้บริจาคที่มีปริมาณมาก อันเป็นการช่วยลดระยะเวลาการอ่านผลของผู้ปฏิบัติงาน และลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการแปลผลทดสอบเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงานหลายคนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ** : *Treponema pallidum* particle agglutination Test, เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล, ซิฟิลิส

<sup>1</sup> หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาทางการแพทย์และวิทยาภูมิคุ้มกัน คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Program of Molecular Sciences in Medical Microbiology and Immunology, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

<sup>2</sup> กลุ่มวิจัยนวัตกรรมวินิจฉัยตรวจเชื้อดื้อยา ภาควิชาเวชศาสตร์การธนาคารเลือดและจุลชีววิทยาคลินิก คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย  
Research Group of Innovative Diagnosis of Antimicrobial Resistance, Department of Transfusion Medicine and Clinical Microbiology, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

## Abstract

Syphilis is a transmitted disease caused by *Treponema pallidum* through the bloodstream, secretions, and sexual intercourse. The pathogenesis can occur in multiple body systems. The data between 2012 – 2017 demonstrate that infection caused by syphilis has become increase continuously. Due to syphilis can be transmitted via a blood transfusion and components; thus, syphilis screening must be performed in every donated blood component. The National Blood Centre, The Thai Red Cross Society has screened and confirmed donated blood components using Chemiluminescent Microparticle Immunoassay (CMIA) and *Treponema pallidum* Particle Agglutination (TPPA), respectively. However, TPPA has some limitations, including a time-consuming and high-skill requirement for result interpretation that may lead to a discrepancy when interpreted by the individual. This study aimed to develop the Digital Image Processing technique for reading and interpret an agglutination reaction derived from TPPA, compared to naked eye examination by the laboratory staffs. Total of 65 donated plasma units were tested for syphilis using TPPA assay. The Digital Image Processing technique showed a conclusive result in 64 plasma units (98.46%). The Kappa analysis demonstrated a strong agreement (Kappa = 0.88) between the Digital Image Processing technique and a conventional interpretation. The Digital Image Processing technique can be applied in routine for high-throughput syphilis diagnosis, which will effectively minimize a time consumption and an interpretation discrepancy by the individual.

**Keywords:** *Treponema pallidum* particle agglutination Test, Digital image processing, Syphilis

## บทนำ

โรคซิฟิลิส (Syphilis) เป็นโรคที่เกิดจากการติดต่อทางกระแสโลหิต สารคัดหลั่ง และเพศสัมพันธ์ และยัง สามารถติดต่อผ่านทางแม่สู่ลูกขณะอยู่ในครรภ์หรือแรกคลอด จากข้อมูลรายงานโรคในระบบเฝ้าระวังโรค 506 สำนักโรคระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 22 มิถุนายน 2561 พบผู้ป่วย ซิฟิลิสจำนวน 3,564 ราย จากทั้งหมด 77 จังหวัด คิดเป็นอัตราป่วย 5.45 ต่อแสนประชากร อัตราส่วนผู้ป่วยเพศชาย ต่อเพศหญิงเท่ากับ 1:0.63 โดยกลุ่มอายุที่พบมากที่สุดเรียงตามลำดับ คือ 15-24 ปี (33.53 %) 25-34 ปี (25.14 %) และ 35-44 ปี (16.53 %) นอกจากนี้ยังพบอัตราผู้ป่วยโรคซิฟิลิสที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกปีในตลอดช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา (กรมควบคุมโรค, 2561) โรคซิฟิลิสมีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรียที่ชื่อว่า *Treponema pallidum* ซึ่งสามารถ ก่อให้เกิดโรคและภาวะแทรกซ้อนต่อระบบต่างๆ ของร่างกายได้หลายระบบ เช่น ระบบประสาทส่วนกลาง (Neurosyphilis) ระบบหัวใจและหลอดเลือดซึ่งทำให้เป็นอัมพาต ระบบสายตาที่ก่อให้เกิดอาการตาบอดอย่างถาวร ได้ (Harrison, 1959; Wright, 1981) เนื่องจากซิฟิลิสสามารถติดต่อผ่านการรับโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิต ด้วย เหตุนี้ในหลายประเทศจึงได้ให้ความสำคัญในการตรวจคัดกรองซิฟิลิสในโลหิตของผู้บริจาคโลหิตทุกราย การตรวจ ทางน้ำเหลืองวิทยาซึ่งอาศัยวิธีการตรวจหาภูมิคุ้มกันของร่างกายที่ตอบสนองต่อการติดเชื้อ เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ สำหรับตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิส (Wincelau, 1999) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. การตรวจแบบ Non-treponemal test ที่มักตรวจพบแอนติบอดีที่ถูกสร้างขึ้นในระยะแรกของการติดเชื้อ โดยมีวิธีที่นิยมใช้ คือ วิธี Venereal Disease Research Laboratory (VDRL) และวิธี Rapid Plasma Reagin (RPR) และ 2. การตรวจแบบ

Treponemal test ที่สามารถตรวจพบแอนติบอดีได้ตลอดชีวิต (Olansky, 1956) และมีความจำเพาะต่อตัวแอนติเจนของเชื้อ *T. pallidum* โดยมีวิธีที่นิยมใช้ คือ วิธี Enzyme Immunoassays (EIAs) วิธี *Treponema pallidum* Particle Agglutination (TPPA) วิธี *Treponema pallidum* Hemagglutination Assays (TPHA) และวิธี Fluorescent Treponemal Antibody Absorption (FTA-ABS) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความจำเพาะสูง (Ratnam, 2005; Wincelau, 1999) ปัจจุบันงานธนาคารเลือดในหลายประเทศ นิยมใช้วิธี Treponemal test สำหรับการตรวจคัดกรองซิฟิลิสในโลหิตที่ได้รับบริจาค เพื่อคัดแยกผู้บริจาคโลหิตที่มีร่องรอยของการเป็นโรคซิฟิลิสออกจากผู้บริจาคโลหิตที่สุขภาพดี (Adegoke & Akanni, 2011)

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย เป็นหน่วยงานหลักของประเทศ ในการจัดหาโลหิตให้มีปริมาณเพียงพอ ปลอดภัยและมีคุณภาพสูงสุด และได้มีการตรวจคัดกรองโรคซิฟิลิสในโลหิตของผู้บริจาคทุกราย ด้วยวิธี Chemiluminescent Microparticle Immunoassay (CMIA) หากผลการตรวจเป็นบวก ต้องมีการตรวจด้วยวิธีการอื่นร่วมด้วยเพื่อยืนยัน อาทิเช่น วิธี RPR และวิธี TPPA (พิมล เชี่ยวศิลป์, 2552) อย่างไรก็ตามวิธี TPPA เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการตรวจค่อนข้างนาน และต้องอาศัยทักษะของผู้ปฏิบัติงานสูงในการอ่านผล ในกรณีที่ปริมาณสิ่งส่งตรวจในปริมาณมาก ประกอบกับเวลาในการปฏิบัติงานที่จำกัด อาจทำให้ผู้ปฏิบัติการเกิดความผิดพลาดในการอ่านผลได้ ตลอดจนการทดสอบดังกล่าวต้องอ่านผลปฏิริยาด้วยสายตา จึงอาจทำให้เกิดความแตกต่างในการแปลผลการทดสอบเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงานหลายคน นอกจากนี้บางสิ่งส่งตรวจอาจมีผลการทดสอบที่ค่อนข้างคาบเกี่ยว ในการตัดสินผลบวกหรือผลลบ หากไม่มีความชำนาญมากเพียงพอ ซึ่งส่งผลให้การรายงานผลคลาดเคลื่อนได้

การศึกษานี้จึงได้บูรณาการทักษะความรู้ด้านคอมพิวเตอร์ร่วมกับความรู้ทางเทคนิคการแพทย์ เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับช่วยในการวินิจฉัยโรคซิฟิลิส บนพื้นฐานของการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง และสามารถแปลผลบวกและผลลบได้จริง โดยพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของปฏิริยาการจับกลุ่มระหว่างแอนติบอดีและเม็ดเลือดแดงที่ถูกเคลือบด้วยแอนติเจนของเชื้อ *T. pallidum* และนำไปแปลผลด้วยอัลกอริทึมที่คิดค้นขึ้นใหม่โดยใช้ภาษา C# เนื่องจากเป็นคำสั่งภาษาที่มีฟังก์ชันสำหรับใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัลมากมาย และมีความสั้นกระชับ จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ได้พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบกับวิธี TPPA ที่อ่านผลด้วยตาเปล่าโดยผู้ชำนาญการ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบและซอฟต์แวร์ ที่สามารถอ่านและแปลผลการทดสอบการตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสด้วยวิธี TPPA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้วัสดุอุปกรณ์ราคาถูก
2. เพื่อประเมินผลการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ได้พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธี TPPA ที่อ่านผลด้วยตาเปล่า

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย ตัวอย่างมาตรฐานจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ผลการทดสอบโรคซิฟิลิสเป็นบวกและลบ จำนวนอย่างละ 3 ตัวอย่าง ซึ่งใช้สำหรับขั้นตอนการปรับแต่งค่าในการอ่านผลโดยซอฟต์แวร์ ตัวอย่างพลาสมาของผู้บริจาคโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ซึ่งผ่านการทดสอบโรคซิฟิลิสด้วยหลักการ CMIA และให้ผลการทดสอบเป็นบวกจำนวน 35 ตัวอย่าง และผลการทดสอบเป็นลบจำนวน 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างพลาสมาถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 2-8°C โดยมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 5 วัน และปั่นที่ 3,500 rpm. นาน 15 นาที ก่อนนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป การศึกษาครั้งนี้ได้รับการอนุมัติการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการจากการประชุมคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย รหัสโครงการวิจัย 8/2563

### 2. การสร้างอุปกรณ์บันทึกภาพ

นำกล้องเว็บแคมที่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ง่าย มาทำการปรับแต่งสำหรับบันทึกภาพปฏิกิริยาที่เกิดจากวิธี TPPA โดยต่อกล้องเว็บแคมเข้ากับเครื่องเล่นแผ่นสองมิติ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปในแนว X และ Y เพื่อถ่ายภาพปฏิกิริยาในแต่ละหลุม กล้องเว็บแคมที่ใช้ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno ซึ่งสามารถตัดภาพให้ได้เฉพาะบริเวณแต่ละหลุมที่ใช้วิเคราะห์ นำภาพปฏิกิริยาทั้ง 96 หลุมรวมกันเป็นภาพเดียวเพื่อนำภาพไปวิเคราะห์ต่อไป

### 3. การทำงานและคำสั่งของโปรแกรม

เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ถ่ายภาพปฏิกิริยาครวละหลุม ส่วนที่สองเป็นการเขียนคำสั่งเพื่อทำการประมวลผลภาพได้แก่ ฟังก์ชันในการเชื่อมต่อกับบันทึกภาพ ฟังก์ชันการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ฟังก์ชันการเลื่อนตำแหน่งของกล้อง ฟังก์ชันการถ่ายภาพ ฟังก์ชันการตัดภาพเฉพาะส่วนที่ต้องการ ฟังก์ชันการเลือกช่วงสีที่ต้องการ โดยการปรับช่วงค่าในมาตรฐานสี Hue Lightness Saturation (HLS) ฟังก์ชันการประมวลผล โดยการป้อนจำนวนของเม็ดสีที่ต้องการจำแนก และฟังก์ชันการรวมรูปภาพให้เป็นภาพเดียว (รูปที่ 1) จากการปฏิกิริยา TPPA พบว่าการเกาะกลุ่มของเม็ด particle ที่ให้ผลบวก มีรัศมีของวงกลมที่เกิดปฏิกิริยาสูงกว่าผลลบ (รูปที่ 2) จึงเขียนคำสั่งการให้ซอฟต์แวร์วัดช่วงของสีชมพูให้ครอบคลุมช่วงสีของน้ำยา แล้วทำการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ที่แตกต่างกันของผลบวกและลบ

### 4. การเตรียมตัวอย่างมาตรฐานสำหรับใช้ในการปรับแต่งค่าที่เหมาะสมในการอ่านผล TPPA โดยซอฟต์แวร์

นำตัวอย่างมาตรฐานจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ผลการทดสอบโรคซิฟิลิสเป็นบวก จำนวน 3 ตัวอย่าง แต่ตัวอย่างนำมาทำการเจือจางให้มีระดับไตเตอร์ที่ลดหลั่นกันลงมา โดยเริ่มจากไตเตอร์ 1:1, 1:2, 1:4, 1:16, 1:32, 1:64 และ 1:128 เพื่อให้ได้ระดับความแรงของปฏิกิริยาการจับกลุ่มครอบคลุมทุกรูปแบบ สารละลายแต่ละไตเตอร์ถูกใช้เป็นตัวอย่างควบคุมบวก ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมลบ ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่ผลการทดสอบโรคซิฟิลิสเป็นลบ จำนวน 3 ตัวอย่างและไม่ต้องทำการเจือจาง ตัวอย่างควบคุมบวกและลบถูกนำมาตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสด้วยวิธี TPPA ผลที่ได้จากการตรวจตัวอย่างเหล่านี้ ถูกนำมาปรับโดยซอฟต์แวร์เพื่อกำหนดค่าให้เป็นเกณฑ์สำหรับการแปลผลเป็นบวกหรือลบ เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานของโปรแกรมต่อไป

## 5. การตรวจโรคซิฟิลิสด้วยวิธี TPPA

ในการศึกษาครั้งนี้ ตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสด้วยวิธี TPPA โดยมีรายละเอียดดังนี้ หยด diluent buffer ปริมาตร 100  $\mu\text{L}$  ลงในหลุมที่ 1 แล้วหยด diluent buffer ปริมาตร 25  $\mu\text{L}$  ในหลุมที่ 2 จนถึงหลุมที่ 4 หยดพลาสมาที่ต้องการทดสอบ ปริมาตร 25  $\mu\text{L}$  ผสมให้เข้ากันด้วยปิเปต ดูดถ่ายปริมาตร 25  $\mu\text{L}$  ไปยังหลุมที่ 2 จนถึงหลุมที่ 4 แล้วดูดทิ้งปริมาตร 25  $\mu\text{L}$  หยด unsensitized particle ลงในหลุมที่ 3 และหยด sensitized particle ลงในหลุมที่ 4 เขย่าให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 30 วินาที บน microplate shaker แล้วตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ดูการเกาะกลุ่มกันของเม็ด particle โดยนำไปบันทึกภาพและวิเคราะห์แปลผลด้วยอุปกรณ์และเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น ตามลำดับ จากนั้นทำการอ่านผลอีกครั้งด้วยตาเปล่าโดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่ไม่ทราบผลการตรวจจากซอฟต์แวร์มาก่อน ทบทวนผลทั้งหมดด้วยเจ้าหน้าที่คนที่สอง บันทึกผลการตรวจที่เกิดขึ้น ผลของปฏิกิริยาถูกแบ่งเป็นสัญลักษณ์ (-) หมายถึง nonreactive เม็ดเจลเกาะกลุ่มกันแน่นบริเวณก้นหลุมมีขอบเรียบชัดเจน หรือเม็ดเจลเกาะกลุ่มกันแน่นบริเวณก้นหลุมมีรูที่เล็กมากมองดูคล้ายวงแหวนขอบเรียบ สัญลักษณ์ (+/-) หมายถึง inconclusive เม็ดเจลเกาะกลุ่มกันแน่นบริเวณก้นหลุมมีรูขอบเรียบ สัญลักษณ์ (+) หมายถึง reactive เม็ดเจลเกาะกลุ่มกันบริเวณก้นหลุมมีรูกลมขนาดใหญ่ ขอบแผ่กระจาย และสัญลักษณ์ (++) หมายถึง reactive เม็ดเจลเกาะกลุ่มกันแต่ทั่วก้นหลุมอย่างสม่ำเสมอ

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสด้วยวิธี TPPA จากการอ่านผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการอ่านด้วยตาเปล่าซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม โดยใช้สถิติ kappa (Newcombe, 1992) เพื่อวัดระดับความสอดคล้องระหว่างวิธีการอ่านผลทั้ง 2 วิธี

## ผลและวิจารณ์

การวินิจฉัยโรคซิฟิลิสมีความสำคัญทางงานธนาคารเลือด เนื่องจากสามารถติดต่อทางกระแสเลือดได้ (Harrison, 1959) ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ได้ทำการตรวจคัดกรองซิฟิลิสด้วยวิธี CMIA และตรวจยืนยันผลบวกด้วยวิธี TPPA อย่างไรก็ตามวิธี TPPA เป็นวิธีที่ต้องอาศัยทักษะของผู้ปฏิบัติงานสูงในการอ่านผล ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดของการอ่านผลได้โดยเฉพาะในกรณีที่มีจำนวนสิ่งส่งตรวจในปริมาณมาก ตลอดจนอาจเกิดความแตกต่างในการแปลผลการทดสอบเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงานหลายคน เนื่องมาจากการทดสอบดังกล่าวต้องอ่านผลปฏิกิริยาด้วยสายตา การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่ออ่านผล agglutination ได้เข้ามามีบทบาท ดังเช่นประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตเครื่องตรวจหมู่โลหิตและซิฟิลิสอัตโนมัติแบบเต็มรูปแบบ PK 7100 โดยทำการทดสอบใน microplate ชนิดพิเศษที่ก้นหลุมทำเป็นขั้นบันไดเป็นครั้งแรก ซึ่งเทคนิคนี้อาศัยหลักการพื้นฐานคือเซลล์ตัวอย่างทดสอบจะทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี นำไป incubate จนเกิดการจับกลุ่มของเม็ดเลือดแดงตกลงในหลุม microplate จากนั้นเครื่องจะอ่านผลโดยวัดความเข้มของแสงในแต่ละหลุมด้วยกล้อง CCD camera ส่งสัญญาณแปลผลไปยังระบบประมวลผลและสรุปผล ข้อดีของเครื่อง PK 7100 คือด้านขอบของปฏิกิริยามีความเรียบและชัดเจนง่ายต่อการประมวลผล สามารถอ่านผลได้รวดเร็ว รวมทั้งให้ผลการทดสอบที่ถูกต้อง ทำให้เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง (Lifshitz & De Cresce, 1987) ภายหลังจากพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่ออ่านผลปฏิกิริยา TPPA สำหรับตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิส โดยใช้ตัวอย่างมาตรฐานจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ให้ผลการทดสอบโรคซิฟิลิสเป็นบวกที่ไตเตอร์ต่างๆ

และผลการทดสอบที่เป็นลบ เพื่อนำมาปรับโดยซอฟต์แวร์เพื่อกำหนดค่าให้เป็นเกณฑ์สำหรับการแปลผลเป็นบวกหรือลบ ตามลำดับ ผลการปรับแต่งค่าของโปรแกรมมีรายละเอียด ดังนี้ ตั้งค่าช่วง Hue S เท่ากับ 300 Hue F เท่ากับ 0 สำหรับค่า Sat ตั้งเป็น Sat S เท่ากับ 0.2 Sat F เท่ากับ 1 และตั้งค่า Light S เท่ากับ 0.1, Light F เท่ากับ 1 และช่วง pixel ในการแปลผลเท่ากับ 300 ถึง 4000 pixel และเมื่อนำซอฟต์แวร์ไปทดสอบกับตัวอย่างควบคุมบวกและควบคุมลบ พบว่าสามารถแปลผลปฏิบัติการจับกลุ่มได้อย่างถูกต้องทุกไต่เตอร์ จึงใช้ค่าดังกล่าวเป็นบรรทัดฐานเพื่อใช้ในการแปลผลตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้

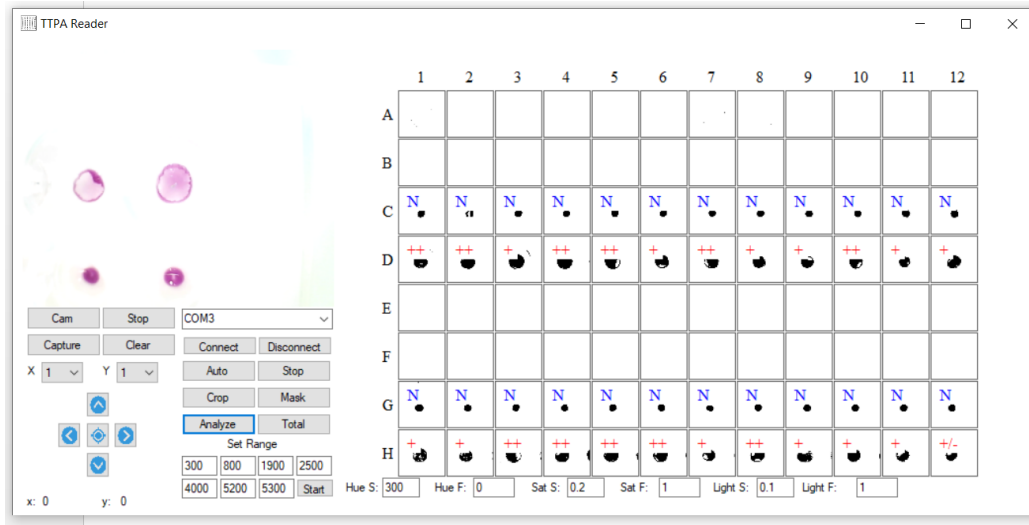
ผลการตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสในตัวอย่างพลาสมาจำนวนทั้งสิ้น 65 ตัวอย่าง เมื่อทำการอ่านผลและแปลผลปฏิบัติการจากการทดสอบวิธี TPPA ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล พบว่ามีตัวอย่างที่ให้ผล reactive เท่ากับ 34 ตัวอย่าง แบ่งเป็นระดับ (+) จำนวน 19 ตัวอย่าง และระดับ (++) จำนวน 15 ตัวอย่าง ให้ผล inconclusive (+/-) เท่ากับ 1 ตัวอย่าง และให้ผล nonreactive (-) เท่ากับ 30 ตัวอย่าง การเกิดผล inconclusive อาจมีสาเหตุมาจากขอบของปฏิบัติการการจับกลุ่มไม่ชัดเจน มีด้านหนึ่งของวงกลมเว้าเข้าไป ทำให้ขนาดของ pixel ที่วัดได้ มีขนาดเล็กกว่าปฏิบัติการจริง ในขณะที่เมื่อทำการอ่านผลด้วยตาเปล่าโดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน พบว่ามีตัวอย่างที่ให้ผล reactive เท่ากับ 35 ตัวอย่าง แบ่งเป็นระดับ (+) จำนวน 16 ตัวอย่าง และระดับ (++) จำนวน 19 ตัวอย่าง ให้ผล nonreactive (-) เท่ากับ 30 ตัวอย่าง และไม่พบผล inconclusive (+/-) ตารางที่ 1 แสดงผลของการอ่านปฏิบัติการของวิธี TPPA ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับการอ่านผลด้วยตาเปล่า จากการเปรียบเทียบการอ่านผลปฏิบัติการของทั้งสองวิธี พบว่าให้ผลตรงกัน 60 ราย (92.31%) และไม่ตรงกัน 5 ราย (7.69%) ซึ่งจำแนกได้เป็นจำนวน 1 ราย ที่เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลอ่านผลได้ inconclusive (+/-) ในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานอ่านผลได้ reactive (+) และจำนวน 4 ราย ที่เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลอ่านผลได้ reactive (+) ในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานอ่านผลได้ reactive (++) การอ่านผลด้วยตาเปล่ามีแนวโน้มอ่านได้ผลปฏิบัติการแรงขึ้นกว่าการอ่านด้วยระบบประมวลผลคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการอ่านด้วยเครื่องเป็นการอ่านจากภาพถ่าย ดังนั้นแสงที่ใช้ในการถ่ายภาพอาจมีผลทำให้ขอบของปฏิบัติการสีจางลง ทำให้ได้จำนวน pixel น้อยกว่าความเป็นจริง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะการอ่านผล reactive โดยมีได้ค่านิ่งถึงระดับปฏิบัติการ ทั้งสองวิธีจะให้ผลปฏิบัติการตรงกันทั้ง 64 ราย (98.46%) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลระดับความสอดคล้องของทั้งสองวิธีด้วยสถิติ Kappa พบว่ามีค่า Kappa = 0.88 แสดงว่าการอ่านปฏิบัติการของวิธี TPPA ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลมีความสอดคล้องดีมากกับการอ่านผลด้วยตาเปล่า และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานประจำสำหรับตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสในโลหิตของผู้บริจาคที่มีปริมาณมาก อันเป็นการช่วยลดระยะเวลาการอ่านผลของผู้ปฏิบัติงาน และลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการแปลผลการทดสอบเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงานหลายคนได้

## สรุป

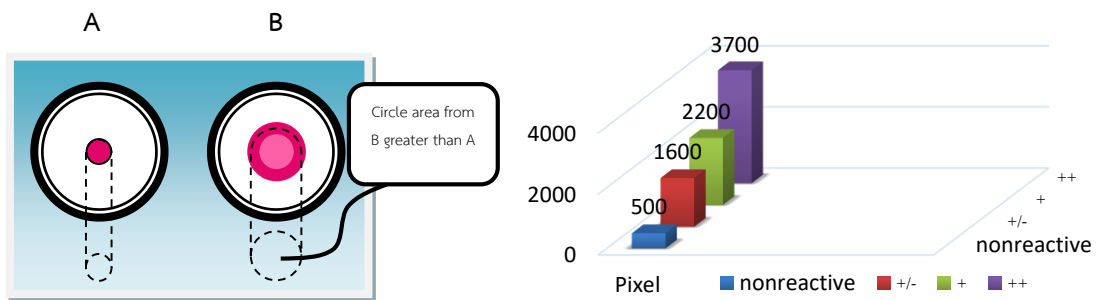
การอ่านผลและแปลผลปฏิกิริยาจากการทดสอบวิธี TPPA ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น ให้ผลสอดคล้องในระดับดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอ่านผลด้วยตาเปล่าโดยผู้ปฏิบัติงาน โดยทั้งสองวิธีให้ผลการอ่านปฏิกิริยาตรงกันทั้ง 64 ราย (98.46%) ซึ่งถือว่ามีผลสอดคล้องดีมากเมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Kappa (Kappa = 0.88) นอกจากนี้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น สามารถแปลผลปฏิกิริยาการเกาะกลุ่มที่ก้ำกึ่งระหว่างผล reactive และ nonreactive ได้ เนื่องจากสามารถกำหนดความละเอียดในได้โปรแกรมได้ ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการอ่านของแต่ละบุคคล ใช้เวลาอ่านผลที่รวดเร็ว ดังนั้นเครื่องต้นแบบและซอฟต์แวร์ที่พัฒนาสำหรับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อและประยุกต์ใช้ยังห้องปฏิบัติการทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2561). รายงานโรคในระบบเฝ้าระวัง 506. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2562, จาก <http://www.boe.moph.go.th/boedb/surdata/index.php>
- พิมล เขียวศิลป์. (2552). แนวทางการปฏิบัติในการตรวจการติดเชื้อซิฟิลิสในโลหิตบริจาค. *วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต*, 19(4), 299-308.
- Adegoke, A. O., & Akanni, O. E. (2011). Survival of *Treponema pallidum* in banked blood for prevention of syphilis transmission. *North American Journal of Medical Sciences*, 3(7), 329-332.
- Harrison, L. W. (1959). The origin of syphilis. *The British Journal of Venereal Diseases*, 35(1), 1-7.
- Lifshitz, M. S., & De Cresce, R. P. (1987). The Olympus PK 7100 automated pretransfusion blood testing system. *Laboratory Medicine*, 18(3), 182-183.
- Newcombe R. G. (1992). Practical statistics for medical research. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 46(5), 549.
- Olansky, S., & Price, I. N. (1956). The modern diagnosis of syphilis. *Bulletin of the World Health Organization*, 14(2), 249-262.
- Ratnam S. (2005). The laboratory diagnosis of syphilis. *The Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology*, 16(1), 45-51.
- Wincelau, S. J. (1999). Screening for syphilis. *The Lancet*, 353(9162), 1441.
- Wright D. J. (1981). John Hunter and venereal disease. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 63(3), 198-202.



รูปที่ 1 การอ่านผลและแปลผลโดยคำสั่งเพื่อทำการประมวลผลภาพ จากภาพเป็นตัวอย่างการแปลผลโดยซอฟต์แวร์ มีจำนวน 24 ตัวอย่าง แถว C และแถว G คือหลุมที่ไม่เกิดปฏิกิริยา (unsensitized cells) ผลจึงเป็นลบทั้งหมด สำหรับแถว D และแถว H คือหลุมปฏิกิริยาที่ใช้ในการแปลผล (sensitized cells) ซึ่งให้ผลบวกจำนวน 23 ตัวอย่าง มีทั้งปฏิกิริยา (+), (++) และมี 1 ตัวอย่างที่ผล inconclusive (+/-)



รูปที่ 2 ความแตกต่างของปฏิกิริยา TPPA ที่ให้ผลบวกและลบ วงกลมที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ให้ผลบวก (B) มีรัศมีที่เกิดจากการเกาะกลุ่มของเม็ด particle ที่ยาวกว่า หรือมีจำนวน pixel ที่มากกว่า ปฏิกิริยาที่ให้ผลลบ (A) เมื่อแบ่งตามจำนวน pixel โดยละเอียด ผลลบ (nonreactive) มีจำนวน 500 pixel ผล inconclusive (+/-) มีจำนวน 1,600 pixel ผล reactive (+) มีจำนวน 2,200 pixel และผล reactive (++) มีจำนวน 3,700 pixel (ภาคภูมิ เดชหัสดิน, 2562)



ตารางที่ 1 ผลการตรวจวินิจฉัยโรคซิฟิลิสในตัวอย่างพลาสมาด้วยวิธี TPPA ซึ่งทำการอ่านผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลเปรียบเทียบกับการอ่านผลด้วยตาเปล่าโดยผู้ปฏิบัติงาน (N=65)

เทคนิคที่ใช้อ่านผลการทดสอบวิธี TPPA		ผู้ปฏิบัติงาน				รวม
ระดับ ปฏิกิริยา	-	+/-	+	++		
เทคนิคการประมวลผล	-	30	0	0	0	30
ภาพดิจิทัล	+/-	0	0	1	0	1
	+	0	0	15	4	19
	++	0	0	0	15	15
รวม		30	0	16	19	65

หมายเหตุ: ผลของปฏิกิริยาถูกแบ่งเป็น (-) หมายถึง nonreactive (+/-) หมายถึง inconclusive (+) และ (++) หมายถึง reactive

# การสร้าง *SORL1-EGFP* reporter ในเซลล์ต้นกำเนิดจำเพาะชนิดพหุศักยภาพ โดยเทคนิค CRISPR/Cas9

## Generation of a *SORL1-EGFP* reporter human induced pluripotent stem cell line by CRISPR/Cas9 System

### บทคัดย่อ

โรคอัลไซเมอร์เป็นโรคภาวะสมองเสื่อมที่พบมากที่สุด และเป็นปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสังคมผู้สูงอายุ จนถึงปัจจุบันยังไม่มีการรักษาที่ได้ผล หรือแม้แต่การรักษาที่สามารถชะลอความเสื่อมของระบบประสาทได้ จึงจำเป็นต้องมีแนวทางในการพัฒนายารักษาโรคนี้ใหม่ที่แตกต่างจากเดิม ยีน *SORL1* ถูกพบว่าเป็นยีนที่เมื่อเกิดการกลายพันธุ์จะเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรคอัลไซเมอร์ชนิด sporadic ขึ้นหลายเท่า ซึ่งในการศึกษาต่อมาพบว่า *SORL1* นั้นทำหน้าที่ช่วยลดระดับเบตาอะไมลอยด์ที่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ประสาทโดยเพิ่มการขนส่งไปทำลายโดยไลโซโซม พบว่าการเพิ่มแสดงออกของ *SORL1* นั้นจะลดกระบวนการการผลิตอะไมลอยด์ที่เป็นพิษได้ อย่างไรก็ดี กลไก และโมเลกุลที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ *SORL1* ในเซลล์ประสาทยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด การศึกษานี้มีจุดประสงค์ที่จะสร้างระบบคัดกรองหาสารที่สามารถเพิ่มระดับของ *SORL1* ในเซลล์ประสาทมนุษย์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ (iPSCs) ร่วมกับเทคนิคการตัดต่อยีน CRISPR-Cas9 เพื่อใส่ *EGFP* เข้าไปใน *SORL1* locus เพื่อสร้าง human cortical neurons *SORL1-EGFP* reporter cells ในรายงานนี้ คณะผู้วิจัยได้ใช้เซลล์ HEK-293 ในการทดสอบคัดเลือก CRISPR guide RNA และ donor vector ที่มีประสิทธิภาพในการสร้าง *SORL1-EGFP* knock-in HEK-293 ก่อนนำระบบมาใช้กับ iPSC ซึ่งพบว่า iPSC *SORL1-EGFP* knock-in line ที่สร้างได้มีการแก้ไขยีนได้อย่างถูกต้อง โดยยังคงมีคุณสมบัติพหุศักยภาพ และเมื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ประสาทสมองใหญ่ส่วนนอก (cortical neuron) ก็จะมีการแสดงออกของ *EGFP* ตรงกับตำแหน่งของ *SORL1* ตามที่มีรายงานมาก่อน ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นนี้น่าจะเป็นประโยชน์ในการทำความเข้าใจกลไกที่เซลล์ควบคุมการทำงานของ *SORL1*, กลไกของการเสื่อมของเซลล์ประสาท และอาจนำไปสู่การค้นพบยาชนิดใหม่ในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ต่อไป

**คำสำคัญ** : โรคอัลไซเมอร์, *Sorting-related receptor with A-type repeats (SORL1)*, เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ, CRISPR/Cas9

<sup>1</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์ แขนงเซลล์ต้นกำเนิด และเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร 10300 ประเทศไทย  
Department of Medical Sciences, Stem Cell and Regenerative Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, 10300 Thailand.

<sup>2</sup>หน่วยสเต็มเซลล์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร 10300 ประเทศไทย  
Stem Cell and Cell Therapy Research Unit, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, 10300, Thailand.

<sup>3</sup>ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร 10300 ประเทศไทย  
Department of Pharmacology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, 10300, Thailand.

## Abstract

Alzheimer's disease, the most common cause of dementia, is an increasing major health problem in an aging society. Currently, there are still no effective treatments or even drugs that can slow the progression of Alzheimer's disease. There is a pressing need for the development of new treatment strategy. *SORL1* gene is a major genetic risk factor associated with sporadic AD. *SORL1* is known to be involved in the process of sorting toxic A $\beta$  oligomers for degradation at lysosomes. Overexpression of *SORL1* has been shown to impair amyloidogenic process. Nevertheless, the molecular pathway that regulates *SORL1* function in neurons is still unclear. The purpose of this study is to generate an effective drug discovery platform for identifying molecules that can modulate *SORL1* level in human neurons by using induced pluripotent stem cells (iPSCs) together with genome editing using CRISPR-Cas9 technology to generate human cortical neurons *SORL1-EGFP* reporter cells. We first designed and tested the efficacy of guide RNAs and donor vector in HEK-293 cells. After we were able to create *SORL1-EGFP* knock-in HEK-293 cell line, we used the same strategy for targeting *SORL1* in wild-type iPSC. Here, we demonstrate that we successfully generate iPSC *SORL1-EGFP* knock-in cell line which still retains pluripotency and when differentiates to cortical neurons in vitro, express *EGFP* at the location corresponding to the location of endogenous *SORL1*. This reporter cell line could advance our understanding of *SORL1* regulation, mechanisms of neurodegeneration and might offer a platform to find new therapeutics for Alzheimer's disease.

**Keywords** : Alzheimer's Disease (AD), *Sorting-related receptor with A-type repeats (SORL1)*, Induced pluripotent stem cell (iPSC), CRISPR/Cas9

## บทนำ

โรคอัลไซเมอร์เป็นโรคภาวะสมองเสื่อมที่พบมากที่สุด มีการเสื่อม และตายไปของเซลล์ประสาทสมองส่วนใหญ่ ทำให้เกิดความบกพร่องของการรู้คิด และมีปัญหาในการใช้ชีวิตประจำวัน รวมถึงอาจมีปัญหาด้านอารมณ์และทางจิต ตามมาจนช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ พยาธิสภาพของโรคนี้โดยทั่วไปจะพบสมองเหี่ยว และในเนื้อสมองมีอะไมลอยด์พลาแก (amyloid plaque) สะสมอยู่นอกเซลล์ประสาท ในขณะที่ในเซลล์ประสาทเมื่อย้อมด้วย silver stain จะพบ neurofibrillary tangle ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน *Tau* ที่มีการเติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) ที่มากกว่าปกติ (Graeber *et al.*, 1998) ยาที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นยาที่มีผลเพิ่มระดับสารสื่อประสาทชนิด acetyl choline ซึ่งอาจจะช่วยเรื่อง cognitive function ได้บ้าง แต่ก็มีผู้ป่วยจำนวนมากไม่น้อยที่ไม่ตอบสนองต่อยา กลุ่มนี้ นอกจากนั้นจนถึงปัจจุบันยังไม่มียาที่สามารถชะลอความเสื่อม และการตายของเซลล์ประสาทได้

ผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ส่วนมากไม่มีประวัติสมาชิกในครอบครัวเป็นโรคอัลไซเมอร์ (Sporadic Alzheimer's Disease, SAD) และจะมีผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ส่วนน้อยที่เกิดจากการถ่ายทอดความผิดปกติทางพันธุกรรม (Familial

Alzheimer's Disease, FAD) ในกลุ่ม SAD นั้นจะพบยีนที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคอัลไซเมอร์มากที่สุดคือ *APOE4* โดยการกลายพันธุ์ใน 1 allele ของ *APOE4* สามารถเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคได้ 3.7 เท่า นอกจากนี้การศึกษาโดย Genome-wide association study (GWAS) ยังพบว่ามียีนมากกว่า 29 ยีนที่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการเกิดโรคอัลไซเมอร์ โดยแต่ละยีนจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่เท่ากัน (Cuyvers *et al.*, 2016; Jansen *et al.*, 2019)

*Sortilin related receptor 1 (SORL1)* เป็น receptor โปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งโปรตีนต่างๆ ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องภายในเซลล์ (Nielsen, Gustafsen *et al.*, 2007) จากการศึกษา GWAS พบว่าแม้ *SORL1* จะมีอัตราการเกิดการกลายพันธุ์ต่ำกว่า *APOE4* แต่การมีการกลายพันธุ์ที่ *SORL1* บางตำแหน่งสามารถเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้มากถึง 12 เท่า (Holstege *et al.*, 2017) จากข้อมูลในหนูทดลองที่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรม (Transgenic model) พบว่า *SORL1* ทำหน้าที่เป็น sorting receptor สำหรับเบตาอะไมลอยด์ และ *amyloid precursor protein (APP)* โดยทำการขนส่งโปรตีนจากเอนโดโซมไป trans-golgi network และส่งไปทำลายโดยไลโซโซม (Andersen *et al.*, 2016) เมื่อมีการเพิ่มการแสดงออกของ *SORL1* ในเซลล์ประสาท พบว่าสามารถลดกระบวนการสร้าง APP และลดการสร้างเบตาอะไมลอยด์ได้ (Andersen *et al.*, 2005; Offe *et al.*, 2006 และ Young *et al.*, 2015) ในขณะที่การแสดงออกของ *SORL1* ที่ลดลงจะเพิ่มการสร้างเบตาอะไมลอยด์ และการเกิด senile plaque ในหนูทดลอง (Rohe *et al.*, 2008) จากข้อมูลที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสามารถของ *SORL1* ในการป้องกันการเกิดความเป็นพิษของเบตาอะไมลอยด์ อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มียังไม่มีข้อมูลว่ากระบวนการสร้าง และการทำงานของ *SORL1* ถูกควบคุมด้วยสารอะไรบ้าง และการทำความเข้าใจกลไกนี้อาจนำไปสู่แนวทางใหม่ในการพัฒนายาชะลอความเสื่อมของเซลล์ประสาทในโรคอัลไซเมอร์ได้

เนื่องจากข้อจำกัดของ cell line และโมเดลสัตว์ทดลองของโรคอัลไซเมอร์ ยังมีความแตกต่างของอาการของโรคจากที่พบในผู้ป่วยจริง (Kondo *et al.*, 2013 และ Arber *et al.*, 2017) การใช้เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำสร้างโอกาสในการผลิตเซลล์ประสาทชนิดจำเพาะของมนุษย์จำนวนมากเพื่อใช้เป็นโมเดลในการทดสอบยาที่มีความใกล้เคียงกับสภาวะจริงยิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้เราใช้เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ ร่วมกับเทคนิคตัดต่อยีน CRISPR-Cas9 เพื่อสร้าง iPSC-derived *SORL1-EGFP* reporter line และนำไปสร้าง *SORL1* reporter cortical neurons เพื่อใช้กับระบบค้นหาตัวยาปริมาณมาก (high throughput drug discovery platform) ในการหาโมเลกุลที่มีผลต่อระดับและการทำงานของ *SORL1* ในเซลล์ประสาทสมองใหญ่ส่วนนอก ซึ่งอาจใช้พัฒนาต่อเป็นยาใหม่สำหรับโรคอัลไซเมอร์ได้ต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อสร้าง *SORL1-EGFP* reporter ในเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ

## อุปกรณ์ และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงเซลล์

เซลล์ไต (Human embryonic kidney 293 cells : HEK-293)

ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ HEK-293 ในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเซลล์ชนิด DMEM high glucose ที่มีส่วนผสมของ Fetal bovine serum (FBS) 10%, L-Glutamine 1% และ Antibiotic-Antimycotic 1% (gibco®, Thermo Fisher Scientific) ในตู้บ่มเพาะเลี้ยงเซลล์ที่มี 5% CO<sub>2</sub> อุณหภูมิ 37°C และมีการย้ายเซลล์ลงจานเพาะเลี้ยงอันใหม่ (subculture) ด้วย Trypsin-EDTA 0.25%

**เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Human induced pluripotent stem cells: hiPSCs)**

ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำบน Matrigel coated dish ในอาหารเพาะเลี้ยงเซลล์ชนิด mTeSR1 ในตู้บ่มเพาะเลี้ยงเซลล์ที่มี 5% CO<sub>2</sub> อุณหภูมิ 37°C และมีการย้ายเซลล์ลงจานเพาะเลี้ยงอันใหม่ (subculture) ด้วยสารละลาย CTK (10% collagenase type IV, 0.25% trypsin, 20% knockout serum, 1 mM CaCl<sub>2</sub> และ น้ำ)

**เซลล์ประสาทจากเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ (human iPSC-derived cortical neural cells)**

ทำการย่อยเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพด้วยเอนไซม์ dispase II (Life Technologies) เป็นเวลา 2-5 นาที ที่อุณหภูมิ 37°C ทำการปั่นล้างเซลล์ด้วย mTeSR1 แล้วทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ในลักษณะของเอมบริอยบอดี (embryoid body) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ในอาหารอาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด neural induction medium (NIM) เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยในวันที่ 1-6 จะมีการเติม TGF- $\beta$  inhibitors SB431542 (Tocris Bioscience) ที่ความเข้มข้น 2  $\mu$ M และ BMP inhibitor DMH-1 (Tocris Bioscience) ที่ความเข้มข้น 2  $\mu$ M ลงในอาหารเพาะเลี้ยงเซลล์ ในวันที่ 7-16 เซลล์ถูกนำไปเลี้ยงในภาชนะแบบเกาะเพื่อให้มีการเปลี่ยนไปเป็น rosette จากนั้นในวันที่ 16 ใช้ที่บดค่อย ๆ ขูดเซลล์ แล้วนำเซลล์ที่ได้ไปเลี้ยงในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเซลล์ชนิด NIM ที่มีส่วนผสมของ B27 (Gibco) ซึ่งหลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เซลล์จะเริ่มมีการเปลี่ยนรูปแบบไปเป็น neural spheres (NS) จากนั้นทำการย่อยเซลล์ด้วย TrypLE (Life Technologies) แล้วนำเซลล์ไปเพาะเลี้ยงบน coverslip ที่เคลือบด้วย poly-L-ornithine (Sigma) และ Matrigel (BD Biosciences) ด้วยความหนาแน่น 40,000 เซลล์ ใน 24-well plates หลังจากนั้น 2 ชั่วโมงต่อมาใส่อาหารเพาะเลี้ยงเซลล์ NIM ที่มีส่วนผสมของ cAMP (Sigma) และ BDNF (PeproTech) ที่ความเข้มข้น 1  $\mu$ M และ 10 nml<sup>-1</sup> ตามลำดับ ลงไป หลุมละ 500  $\mu$ l เปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์ทุกๆ 5-6 วัน

#### **การสร้าง SORL1-EGFP reporter line**

ทำการออกแบบไกด์อาร์เอ็นเอ ด้วยเว็บไซต์สำหรับการออกแบบ CRISPR แล้วทำการโคลนไกด์อาร์เอ็นเอเข้าสู่ pX461 plasmid และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของไกด์อาร์เอ็นเอด้วย T7 Endonuclease I

ในส่วน of donor vector ทำการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนของ SORL1 ด้วยเทคนิค PCR จากนั้นนำชิ้นส่วน SORL1 ที่ได้โคลนเข้าเวกเตอร์ pGEM ด้วยเทคนิค TA cloning แล้วทำการโคลนส่วนของ EGFP coding sequence และ puromycin resistance gene ต่อจากยีน SORL1 ด้วยเทคนิค In-Fusion® HD Cloning Kit User Manual (Clontech) ซึ่งจะมีการทำลายโคดอนหยุดของ SORL1 แล้วนำ donor vector ที่สร้างได้มาทำการเพิ่มจำนวนโดย transform เข้าสู่

competent ชนิด XL-1 blue และทำการตรวจสอบความถูกต้องของลำดับดีเอ็นเอของ donor vector ด้วยเทคนิค DNA sequencing

**การนำ *SORL1-EGFP* reporter line เข้าสู่เซลล์ และการคัดเลือกโคลนที่ต้องการ (Clone selection)**

**เซลล์ไต (Human embryonic kidney 293 cells : HEK-293)**

ทำการย่อยเซลล์ HEK-293 ด้วย Trypsin-EDTA 0.25% ให้เป็นเซลล์เดี่ยว นำ HEK-293 จำนวน  $10^6$  เซลล์ มาผสมกับ targeting vector cocktail ที่ประกอบด้วย ไกด์อาร์เอ็นเอ-โปรตีน Cas9 vector และ donor vector ในบัพเฟอร์ของ SF cell line 4D-Nucleofector<sup>®</sup> X ทำการนำส่ง vector ทั้ง 2 ชนิดเข้าสู่เซลล์โดยใช้เครื่อง 4D-Nucleofector<sup>®</sup> แล้วทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่ได้ในอาหารเพาะเลี้ยงปกติเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเซลล์เป็นอาหารที่ผสมยา puromycin ที่ความเข้มข้น  $1\mu\text{g/ml}$  เพื่อคัดเลือกเซลล์ที่มีการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence ใน ยีน *SORL1*

**เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Human induced pluripotent stem cells: hiPSCs)**

ทำการย่อยเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ ด้วย Accutase เพื่อให้ได้เป็นเซลล์เดี่ยว ทำการผสมเซลล์จำนวน  $10^6$  เซลล์ กับ targeting vector cocktail ที่ประกอบด้วย ไกด์อาร์เอ็นเอ-โปรตีน Cas9 vector และ donor vector ในบัพเฟอร์ของ P3 primary cell 4D-Nucleofector<sup>®</sup> X ทำการนำส่ง vector ทั้ง 2 ชนิดเข้าสู่เซลล์โดยใช้เครื่อง 4D-Nucleofector<sup>®</sup> แล้วทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่ได้ในอาหารเพาะเลี้ยงปกติเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเซลล์ที่ผสมยา puromycin ที่ความเข้มข้น  $1\mu\text{g/ml}$  เพื่อคัดเลือกเซลล์ที่มีการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence ใน ยีน *SORL1*

## ผลและวิจารณ์

**การออกแบบ CRISPR gRNA และ donor vector สำหรับ Knock-in *EGFP* in-frame กับยีน *SORL1***

ไกด์อาร์เอ็นเอสำหรับใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดของ Cas9 ที่ตำแหน่งของ *SORL1* จำนวน 2 ไกด์ ถูกออกแบบให้จับกับดีเอ็นเอในตำแหน่งที่ใกล้โคดอนหยุด (stop codon) ของยีน *SORL1* มากที่สุด (รูป 1a) ไกด์อาร์เอ็นเอทั้งสองถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพ และความแม่นยำร่วมกับการทำงานของโปรตีน Cas9 ในการทำให้เกิดเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดสายดีเอ็นเอ (DNA double strand breaks, DSBs) ที่ยีน *SORL1* ในเซลล์ HEK-293 จากผลการทดสอบการเกิดการตัดสายดีเอ็นเอด้วย T7 endonuclease assay พบว่า T7 endonuclease สามารถตัดขึ้นดีเอ็นเอได้ โดยได้ดีเอ็นเอขนาด 375 bp กับ 211 bp ในกลุ่มที่ใช้ไกด์อาร์เอ็นเอที่หนึ่ง และ 377 bp กับ 209 bp ในกลุ่มที่ใช้ไกด์อาร์เอ็นเอที่สอง และไม่มีการตัดสายดีเอ็นเอในกลุ่มที่ไม่มีไกด์อาร์เอ็นเอ (รูป 1c) แสดงให้เห็นว่าไกด์อาร์เอ็นเอที่ออกแบบทั้ง 2 ไกด์นั้นสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดสายดีเอ็นเอในยีน *SORL1* ที่ใกล้กับโคดอนหยุดได้ ซึ่งในการสร้าง *SORL1-EGFP* reporter นอกจากการใช้ไกด์อาร์เอ็นเอ และโปรตีน Cas9 ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดของสายดีเอ็นเอในตำแหน่งที่ต้องการแล้วนั้นยังจำเป็นต้องใช้ donor vector ในการทำหน้าที่เป็นดีเอ็นเอต้นแบบในการซ่อมแซมสายดีเอ็นเอที่ถูกตัด

ซึ่งทำการสร้าง donor vector โดยทำการโคลนดีเอ็นเอของ *SORL1* ใน exon ที่ 48 ที่มีการทำลายตำแหน่งโคดอนหยุด แล้วต่อ *EGFP* coding sequence ในลักษณะที่ in-frame กับโคดอนเริ่มของ *SORL1* ซึ่งจะใส่ puromycin resistance gene ในการคัดเลือกเซลล์ที่มีการซ่อมแซมเอาส่วนของ *EGFP* coding sequence เข้าไปในยีน *SORL1* (รูป 1b)

#### การสร้าง HEK-293 *SORL1-EGFP* reporter line

เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของไกด์อาร์เอ็นเอ และ donor vector ที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้นำส่ง targeting vector cocktails ที่ประกอบไปด้วยส่วนของไกด์อาร์เอ็นเอ-โปรตีน Cas9 vector และ *SORL1-EGFP* donor vector เข้าสู่เซลล์ HEK-293 โดยใช้เทคนิค electroporation แล้วทำการคัดเลือกเซลล์ที่มีการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence โดยใช้ยา puromycin ซึ่งหลังจากทำการคัดเลือกเซลล์ HEK-293 ที่ทนต่อยา puromycin ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence ด้วยเทคนิค PCR พบว่า การใช้ไกด์อาร์เอ็นเอที่ออกแบบร่วมกับการทำงานของโปรตีน Cas9 และ donor vector สามารถทำให้เกิด *EGFP* fusion กับ endogenous *SORL1* ได้ (รูป 1d) และเมื่อทำการศึกษาการแสดงออกของ *EGFP* ในเซลล์ที่คัดเลือกได้ด้วยเทคนิค live cell imaging พบว่าจะมีการแสดงออกของ *EGFP* ในไซโตพลาสซึมของเซลล์ และตำแหน่งการแสดงออกของ *EGFP* ตรงกับที่เคยมีรายงานการแสดงออกของ *SORL1* ในเซลล์ HEK-293 ที่มีมาก่อน (รูป 1e) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพ และความถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปใช้ทดสอบในเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ ซึ่งทำการตัดต่อยีนได้ยากกว่า

#### การสร้าง *SORL1-EGFP* reporter line ในเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำและการทดสอบประสิทธิภาพหลังเหนี่ยวนำให้เป็นเซลล์ประสาท

เพื่อสร้าง iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines ผู้วิจัยนำไกด์อาร์เอ็นเอ-โปรตีน Cas9 vector และ *SORL1-EGFP* donor vector มา electroporate เข้าสู่เซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำที่สร้างจากเซลล์เลือดของอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี (WT-iPSC) และผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ชนิด SAD (AD-iPSC) ที่มีรายงานมาก่อนแล้ว พบว่าหลังจากคัดเลือกโคโลนีของเซลล์ โดยใช้ยา puromycin ทำการตรวจสอบยืนยันการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence ด้วยเทคนิค PCR และตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเทคนิค DNA sequencing พบว่า *EGFP* coding sequence นั้นเข้าไปแทรกอยู่ในตำแหน่งของยีน *SORL1* ใน WT-iPSC และ AD-iPSC ได้อย่างถูกต้อง (รูปที่ 2a) และไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีน *Nanog* และ *Oct4* ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพหุศักยภาพเมื่อตรวจสอบโดยการย้อมอิมมูโนฟลูออเรสเซนซ์ (รูป 2b)

แม้ว่า iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines ที่สร้างจะไม่แสดง *EGFP* ในระยะที่ยังเป็นเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ แต่เมื่อนำไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ประสาทสมองใหญ่ส่วนนอก โดยเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผ่านเอ็มบริอย บอดี (embryoid body) และ เซลล์ตั้งต้นของระบบประสาท (neural progenitor) พบว่าเซลล์ประสาทสมองใหญ่ส่วนนอกที่สร้างได้จะมีการแสดงออกของ *EGFP* ในไซโตพลาสซึมของเซลล์ประสาท ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สอดคล้องกับการแสดงออกของ *SORL1* (รูป 2c) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของการทำงานของ *SORL1-EGFP* reporter cortical neuron

WT และ AD iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines นอกจากจะสามารถใช้สร้างเซลล์ประสาทสำหรับใช้ในการคัดกรองหาโมเลกุลที่กระตุ้นกระบวนการทำลายเบตาอะไมลอยด์ ( $A\beta$  degradation pathway) ที่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบการขนส่ง (sorting system) แบบ real time แล้วยังสามารถนำไปสร้างแอสโตรไซต์ (astrocyte) ซึ่งในงานวิจัยระยะหลังพบว่ามีส่วนสำคัญในการเกิดความเสื่อมของระบบประสาท (neurodegeneration) ในโรคอัลไซเมอร์เช่นกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ CRISPR/Cas9 ดัดแปลงพันธุกรรมยีนที่เป็นปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ เพื่อสร้างโมเดลที่หลากหลายมากขึ้นได้ เมื่อนำไปใช้กับระบบคัดเลือดยาปริมาณมาก (high throughput drug screening platform) คาดว่าจะทำให้เกิดแนวทางใหม่ในการค้นหาสารที่เป็นประโยชน์สำหรับโรคอัลไซเมอร์ทั้งจากยาใหม่ ยาที่มีอยู่เดิม (repurposing drugs) ไปจนถึงสมุนไพร

## สรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการสร้าง WT และ AD iPSC-*SORL1-EGFP* report cell lines ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำสร้างเซลล์ประสาทสมองที่มีการแสดงออกของ *SORL1-EGFP* ในส่วนของไซโตพลาสซึม ซึ่งสามารถนำไปใช้ศึกษาการขนส่ง และการทำลายเบตาอะไมลอยด์ได้ เชื่อว่า reporter cell lines ที่สร้างขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนา ยาใหม่สำหรับโรคอัลไซเมอร์ต่อไป

## คำขอบคุณ

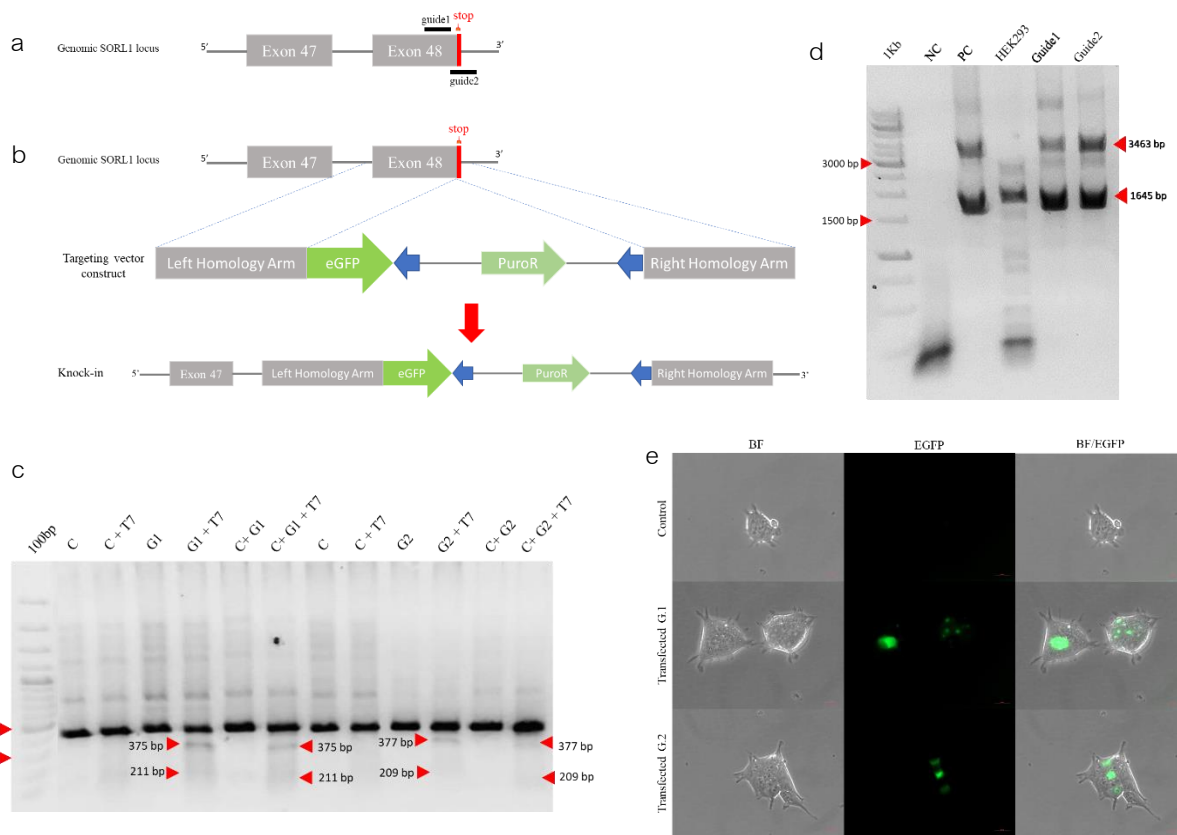
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์ (องค์การมหาชน) หรือ The Thailand Center of Excellence for Life Sciences (TCELS)

## เอกสารอ้างอิง

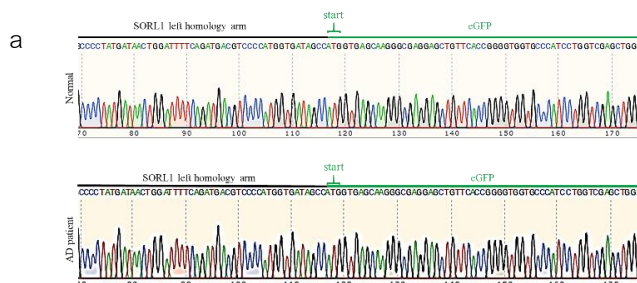
- Andersen, O. M., Rudolph, I. M., & Willnow, T. E. (2016). Risk factor *SORL1*: from genetic association to functional validation in Alzheimer's disease. *Acta neuropathologica*, 132(5), 653–665.
- Andersen, O. M., Schmidt, V., Spoelgen, R., Gliemann, J., Behlke, J., Galatis, D., McKinstry, W. J., Parker, M. W., Masters, C. L., Hyman, B. T., Cappai, R., & Willnow, T. E. (2006). Molecular dissection of the interaction between amyloid precursor protein and its neuronal trafficking receptor SorLA/LR11. *Biochemistry*, 45(8), 2618–2628.
- Arber, C., Lovejoy, C., & Wray, S. (2017). Stem cell models of Alzheimer's disease: progress and challenges. *Alzheimer's research & therapy*, 9(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s13195-017-0268-4>
- Cuyvers, E., & Sleegers, K. (2016). Genetic variations underlying Alzheimer's disease: evidence from genome-wide association studies and beyond. *The Lancet. Neurology*, 15(8), 857–868.

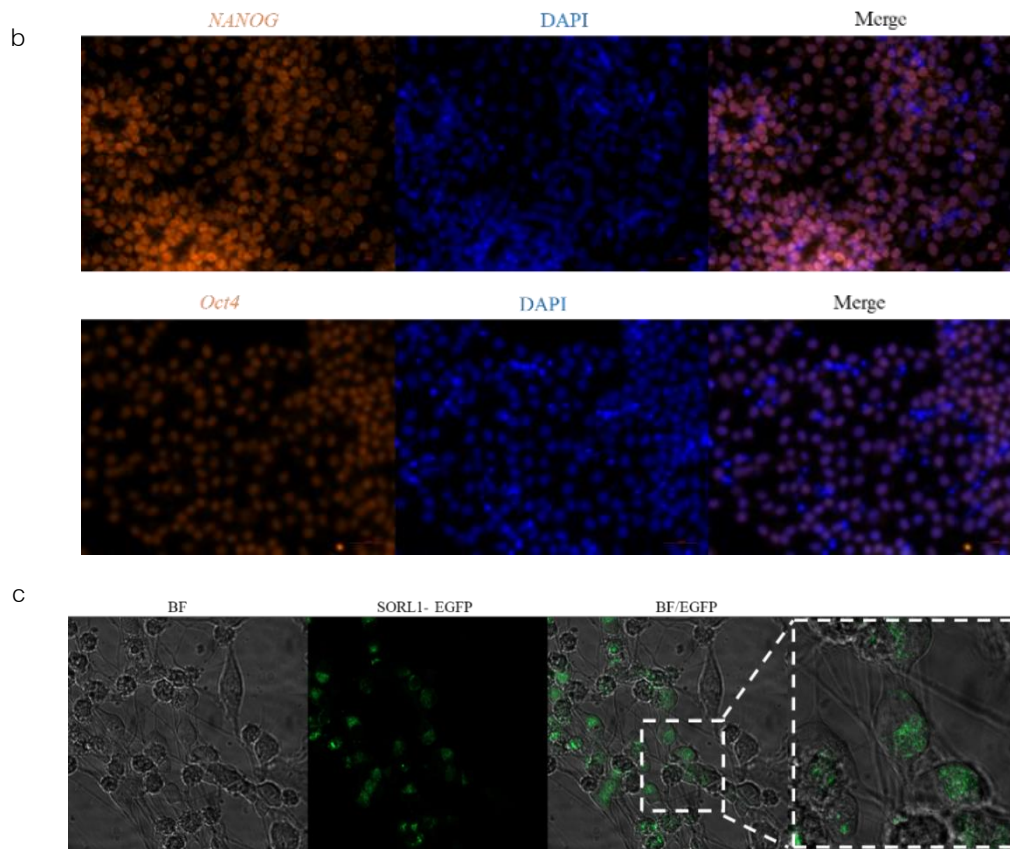


- Graeber, M. B., Kösel, S., Grasbon-Frodl, E., Möller, H. J., & Mehraein, P. (1998). Histopathology and APOE genotype of the first Alzheimer disease patient, Auguste D. *Neurogenetics*, 1(3), 223–228.
- Holstege, H., van der Lee, S. J., Hulsman, M., Wong, T. H., van Rooij, J. G., Weiss, M., Louwersheimer, E., Wolters, F. J., Amin, N., Uitterlinden, A. G., Hofman, A., Ikram, M. A., van Swieten, J. C., Meijers-Heijboer, H., van der Flier, W. M., Reinders, M. J., van Duijn, C. M., & Scheltens, P. (2017). Characterization of pathogenic SORL1 genetic variants for association with Alzheimer's disease: a clinical interpretation strategy. *European journal of human genetics : EJHG*, 25(8), 973–981.
- Jansen, I. E., Savage, J. E., Watanabe, K., Bryois, J., Williams, D. M., Steinberg, S., Sealock, J., Karlsson, I. K., Hägg, S., Athanasiu, L., Voyle, N., Proitsi, P., Witoelar, A., Stringer, S., Aarsland, D., Almdahl, I. S., Andersen, F., Bergh, S., Bettella, F., Bjornsson, S., ... Posthuma, D. (2019). Genome-wide meta-analysis identifies new loci and functional pathways influencing Alzheimer's disease risk. *Nature genetics*, 51(3), 404–413.
- Kondo, T., Asai, M., Tsukita, K., Kutoku, Y., Ohsawa, Y., Sunada, Y., Imamura, K., Egawa, N., Yahata, N., Okita, K., Takahashi, K., Asaka, I., Aoi, T., Watanabe, A., Watanabe, K., Kadoya, C., Nakano, R., Watanabe, D., Maruyama, K., Hori, O., ... Inoue, H. (2013). Modeling Alzheimer's disease with iPSCs reveals stress phenotypes associated with intracellular A $\beta$  and differential drug responsiveness. *Cell stem cell*, 12(4), 487–496.
- Nielsen MS, Gustafsen C, Madsen P, Nyengaard JR, Hermeijer G, Bakke O, Mari M, Schu P, Pohlmann R, Dennes A, Petersen CM. Sorting by the cytoplasmic domain of the amyloid precursor protein binding receptor SorLA. *Mol Cell Biol*. 2007 Oct;27(19):6842-51.
- Offe K, Dodson SE, Shoemaker JT, et al. The lipoprotein receptor LR11 regulates amyloid beta production and amyloid precursor protein traffic in endosomal compartments. *J Neurosci*. 2006;26(5):1596-1603.
- Rohe, M., Carlo, A. S., Breyhan, H., Sporbert, A., Militz, D., Schmidt, V., Wozny, C., Harmeier, A., Erdmann, B., Bales, K. R., Wolf, S., Kempermann, G., Paul, S. M., Schmitz, D., Bayer, T. A., Willnow, T. E., & Andersen, O. M. (2008). Sortilin-related receptor with A-type repeats (SORLA) affects the amyloid precursor protein-dependent stimulation of ERK signaling and adult neurogenesis. *The Journal of biological chemistry*, 283(21), 14826–14834.
- Young JE, Boulanger-Weill J, Williams DA, et al. Elucidating molecular phenotypes caused by the SORL1 Alzheimer's disease genetic risk factor using human induced pluripotent stem cells. *Cell Stem Cell*. 2015;16(4):373-385.



**รูปที่ 1** ไดอะแกรมแสดงการออกแบบ และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ *SORL1-EGFP* reporter (a) แสดงตำแหน่งของไกด์อาร์เอ็นเอที่ได้จากการออกแบบ (b) การออกแบบ *SORL1-EGFP* donor vector (c) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของไกด์อาร์เอ็นเอโดยใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ T7 Endonuclease I พบว่ามีการเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดลำดับเบสในกลุ่มที่มีการใช้ไกด์อาร์เอ็นเอ (C = control, G1 = Guide1, G2 = Guide2 และ T7 = T7 Endonuclease I) (d) การตรวจสอบการแทรกตัวของ *EGFP* coding sequence ในยีน *SORL1* ด้วยเทคนิค PCR (NC = negative control และ PC = positive control) (e) ภาพเซลล์ที่มีชีวิตแสดงให้เห็นว่ามีการแสดงออกของ *EGFP* เมื่อทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง (Fluorescence microscope)





รูปที่ 2 การสร้าง *SORL1-EGFP* reporter ในเซลล์ต้นกำเนิดชนิดพหุศักยภาพที่ได้จากการเหนี่ยวนำ และการแสดงออกของ *SORL1-EGFP* ในเซลล์ประสาท

(a) ภาพแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ของ *EGFP* ที่แทรกอยู่ใน *SORL1* ใน WT และ AD iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines เมื่อทำการศึกษาด้วยเทคนิค DNA sequencing (b) ภาพแสดงการแสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพหุศักยภาพ *Nanog* และ *Oct4* ใน iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines เมื่อทำการทดสอบด้วยวิธีอิมมูโนฟลูออเรสเซนส์ (c) ภาพแสดง *SORL1-EGFP* positive ในเซลล์ประสาทสมองใหญ่ส่วนนอกที่สร้างได้ iPSC *SORL1-EGFP* reporter lines เมื่อทำการศึกษาด้วยเทคนิค Live cell imaging ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนโฟคอล

# ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 Antioxidant and Antibacterial Activities Against Skin Pathogenic Bacteria of *Morus alba* L. (Chiang Mai 60) Branch Extract

จันทนา ปราวการสมุทร<sup>1</sup>, เธียร ธีระวรวงษ์<sup>2</sup>, ภัศราวดี เผ่าจินดา<sup>3</sup> และ ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร<sup>4</sup>  
Chantana Prakarnsamut<sup>1</sup>, Thien Thiraworawong<sup>2</sup>, Patsarawadee Paojinda<sup>3</sup> and Pilanthana Lertsatitthanakorn<sup>4</sup>

## บทคัดย่อ

หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลดีและรสชาติดี เกษตรกรจำเป็นต้องตัดกิ่งทิ้งเพื่อเพิ่มผลผลิตของผลหม่อน ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในการต้านอนุมูลอิสระและต้านแบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง โดยทำการสกัดกิ่งหม่อนด้วยวิธีการหมักใน 70 % เอทานอล และนำสารสกัดหยาบที่ได้มาทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี 2,2 Diphenyl -1 picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH assay) และทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, Methicillin Resistance *S. aureus* (MRSA) และ *Streptococcus pyogenes* โดยวิธี disk diffusion และ broth microdilution ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดกิ่งหม่อนมีค่าความเข้มข้นที่จับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (IC<sub>50</sub>) เท่ากับ 3.621 ± 0.472 mg/ml สารสกัดกิ่งหม่อนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 1,000 mg/ml มีค่า Inhibition zone สูงสุดต่อเชื้อ *S. pyogenes* รองลงมาคือเชื้อ *S. aureus* และสารสกัดนี้มีค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และ minimum bactericidal concentration (MBC) ค่อนข้างต่ำต่อเชื้อ *S. aureus* (7.812 และ 125 mg/ml ตามลำดับ) อาจสรุปได้ว่าสารสกัดจากกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเป็นเวชสำอางเพื่อความสะอาดร่างกาย เช่น สบู่เหลวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียที่ผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้มูลค่าของกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ** : หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง

<sup>1</sup> นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชกรรมไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600 ประเทศไทย

M.Sc.student Master of Science Program in Thai Traditional Pharmacy, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand.

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600 ประเทศไทย

Assistant Professor, Biology Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand.

<sup>3</sup> อาจารย์ สาขาวิชาเทคนิคการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600 ประเทศไทย

Lecturer, Department of Medical Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand.

<sup>4</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชกรรมไทย และศูนย์วิจัยกัญชา กัญชง และกระท่อมเพื่อการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600 ประเทศไทย

Assistant Professor, Master of Science Program in Thai Traditional Pharmacy and Cannabis, Hemp and Kratom Research Center, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand.

## Abstract

*Morus alba* L. (Chiang Mai 60) is a fruitful mulberry and give a tasty fruit. The farmers have got to cut the branch to enhance the fruit yield. Therefore, *Morus alba* L. (Chiang Mai 60) branch extract has been studied its antioxidant and antibacterial activities against skin pathogenic bacteria. *Morus alba* L. (Chiang Mai 60) branch was macerated in 70 % ethanol. Antioxidant activity of the extract was determined by 2,2 Diphenyl -1 picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH assay). In addition, antibacterial activity of the extract against *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, Methicillin Resistance *S. aureus* (MRSA) and *Streptococcus pyogenes* was studied by disk diffusion and broth microdilution methods. The results revealed that the concentration of *Morus alba* L. (Chiang Mai 60) branch extract that scavenged 50 % ( $IC_{50}$ ) of DPPH radical was  $3.621 \pm 0.472$  mg/ml. The extract at 250, 500 and 1,000 mg/ml showed the highest Inhibition zone against *S. pyogenes* and the second one was *S. aureus*. On the one hand, the extract showed rather low minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values against *S. aureus* (7.812 and 125 mg/ml, respectively). In conclusion, *Morus alba* L. (Chiang Mai 60) branch extract possessed ability to be developed as cleansing cosmetic such as antioxidant and antibacterial liquid soap that might lead to value adding of the mulberry branch in the future.

**Keyword:** *Morus alba* L. (Chiang Mai 60), Antioxidant activity, Antibacterial activity

## บทนำ

หม่อนเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณช่วยการหมุนเวียนของเลือดและบำรุงผิวพรรณให้ชุ่มชื้น หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต รสชาติดีและราคาสูง โดยปกติเกษตรกรมักตัดแต่งกิ่งออกเพื่อให้ต้นหม่อนออกผลนอกฤดูฤดูกาล กิ่งหม่อนพันธุ์ดังกล่าว จึงถูกทิ้งเปล่าประโยชน์ จากการศึกษาของ MoHamed *et al.* (2013) ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ของสารสกัดจากแก่นและเปลือกต้นหม่อนโดยสกัดด้วยตัวทำละลายหลายชนิด พบว่าสารสกัดของแก่นและเปลือกต้นหม่อนด้วยเอธิลอะซิเตท มีฤทธิ์ต้านเชื้อดังกล่าวได้ดีที่สุดในหลอดทดลอง เมื่อทดสอบด้วยวิธี disk diffusion การศึกษาของ Somvong and Prasitpuriprecha (2012) ซึ่งได้ศึกษาฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในหลอดทดลอง โดยนำสารสกัดหยาบส่วนน้ำและส่วนเอธิลอะซิเตทของใบหม่อนที่ความเข้มข้น 0.75, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 และ 800 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาทดสอบในเซลล์เพาะเลี้ยงเมลาโนมาของหนูในสภาวะที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าสารสกัดส่วนน้ำและส่วนเอธิลอะซิเตทที่ความเข้มข้น 800 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรมีฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด วิชิตา จันทรวงษ์ (2560) ได้ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาบเอทานอลจากหม่อนและกาวไหม เพื่อการตั้งสูตรตำรับผลิตภัณฑ์ผิวขาวด้วยการวิเคราะห์การต้านออกซิเดชันและปริมาณสารฟีนอลิก ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic)) , DPPH (2,2 -Diphenyl-1 -picrylhydrazyl radical) และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) หาปริมาณฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu หาปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมโดยใช้วิธี aluminum chloride colorimetric assay พบว่าหม่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ได้แก่สายพันธุ์สกลนครและสายพันธุ์นางน้อยศรัทธาเกษนั้นมีความฟีนอลิกโดยรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมสูง และส่งผลให้มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

การศึกษาของปัญญาดา ปัญญาทิพย์ และคณะ (2556) ได้วิเคราะห์ปริมาณเมลานินและศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดจากใบหม่อน 8 สายพันธุ์ ด้วยการทดลองนำผงใบหม่อนมาสกัดด้วยด้วยเมธานอล แล้วทำให้บริสุทธิ์ขึ้นด้วยตัวดูดซับของแข็ง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเมลานินด้วยโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงร่วมกับเครื่องตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์ และนำสารสกัดดังกล่าวมาคัดกรองฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาโดยทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีจับอนุมูลอิสระ DPPH ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสและยับยั้งไนตริกออกไซด์ พบว่าใบหม่อนพันธุ์ไฟมีปริมาณเมลานินมากที่สุด (783.99 ng/g ของน้ำหนักแห้ง) ใบหม่อนพันธุ์หมีมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมากที่สุด ( $IC_{50} = 75.86 \mu\text{g/ml}$ ) ใบหม่อนพันธุ์ใฝ่อุบลยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้สูงที่สุด (36.02%) และต้านการอักเสบที่ความเข้มข้น  $20 \mu\text{g/ml}$  และใบหม่อนพันธุ์หมียับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ มากที่สุด (78.62%) สรุปได้ว่าปริมาณ เมลานิน ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ฤทธิ์ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส และต้านการอักเสบ แตกต่างกันไป ใบหม่อนแต่ละสายพันธุ์

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 เพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปพัฒนาเวชสำอางทำความสะอาดร่างกายจากสารสกัดกิ่งหม่อน เช่น สบู่เหลวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียที่ผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มมูลค่าของกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ต่อไปในอนาคต

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดจากกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60

## อุปกรณ์และวิธีการ

**อุปกรณ์** เตาอบ (Oven, ยี่ห้อ Memmert, รุ่น UN 260), เครื่องระเหยระบบสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator with cooling system, ยี่ห้อ Heidolph, รุ่น S/N 200020687 0215), อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, ยี่ห้อ Memmert, รุ่น WNB 14-45), เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer, ยี่ห้อ PG Instruments, รุ่น T80), อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, LABTECH), เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot plate stirrer, ยี่ห้อ Jlabtech, รุ่น LMS - 100), เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (balance 4 position, ยี่ห้อ Mettler toledo, รุ่น New classic MS) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (balance 4 position, ยี่ห้อ Mettler toledo, รุ่น New classic MS), เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixers & Shakers, ยี่ห้อ Scientific Industries, รุ่น Vortex Genie 2), หม้อนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave, ยี่ห้อ Hirayama, รุ่น HVE 50), ตู้ป่มเชื้อ (Cooled Incubator, ยี่ห้อ Velp scientifica, รุ่น FOC2251), เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuges, ยี่ห้อ Hettich, รุ่น MIKRO 220R), อ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath, ยี่ห้อ witeg, รุ่น WUC-DO3H)

## วิธีการ

1. การเตรียมสารสกัดจากกิ่งหม่อน นำกิ่งหม่อนสดของต้นหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งได้จากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และนำมาเพาะปลูกที่ตำบลมวกเหล็ก อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี มาล้างทำความสะอาด อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท ลดขนาดโดยการหั่นแล้วนำไปหมักกับ 70% เอทานอล เขย่าสลับหยุดพักเป็นเวลา 3 วัน กรองสารสกัดและนำไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนจนได้สารสกัดเข้มข้น บรรจุสารสกัดในขวดทึบแสง ปิดสนิท และเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อไว้ใช้ในการทดสอบต่อไป

2. การตรวจสอบกลุ่มสารพิษเคมีในสารสกัดกึ่งหมอน การตรวจสอบกลุ่มสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดกึ่งหมอน ใช้ปฏิกิริยาการเกิดสีหรือการเกิดตะกอน (ครินรัทน์ ด้ตรวีระนันท์, วรางคณา สบายใจ และสิริมาศ นิยมไทย, 2556) ดังนี้

การตรวจสอบแอนทราควิโนน (Antraquinones) ใช้วิธีการทดสอบของบอร์นทราเกอร์ (Borntrager's test)

การตรวจสอบเทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) ใช้การทดสอบของซาลโควสกี (Salkowski test)

การตรวจสอบฟลาโวนอยด์ (Flavonols) ใช้การทดสอบของไซดาตินิน (Cyadinin test)

การตรวจสอบซาโปนิน (Saponins) ใช้การทดสอบการเกิดฟอง (Frothing test)

การตรวจสอบแทนนิน (Tannins) ใช้การทดสอบ Prussian blue method โดยการนำไปทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เพื่อให้ได้ตะกอนสีน้ำเงิน

การตรวจสอบแอลคาลอยด์ (Alkaloids) ใช้การทดสอบของดราเจนดอร์ฟ (Dragendorff's test)

การตรวจสอบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) ชั่งสารสกัด 0.20 กรัม สกัดสีออกด้วย ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ปริมาตร 6 มิลลิลิตร แล้วแบ่งใส่หลอดทดลองออกเป็น 3 หลอด

- หลอดที่ 1 ทดสอบสเตอรอยด์ (Steroids) ด้วยวิธีการทดสอบของลิเบอร์แมน (Liebermann test)

- หลอดที่ 2 ทดสอบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) ส่วนวงแหวนแลคโตนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated lactone ring) ด้วยการเติมน้ำยาเคดเด (Kedde reagent)

- หลอดที่ 3 ทดสอบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) ส่วนน้ำตาลดีออกซี (deoxy-sugar) ด้วยวิธีการทดสอบของเคิลเลอร์คิลยานี (Keller-Kiliani test)

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกึ่งหมอนโดยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH assay) เตรียมสารละลายของสารสกัดกึ่งหมอน (stock solution) ที่ความเข้มข้น 10 mg/ml ในเอทานอล และเตรียมสารละลาย DPPH ในเอทานอลให้มีความเข้มข้น 0.2 mM ใส่สารสกัดลงใน 96 well plate แล้วใช้เทคนิค Two fold dilution ในการเจือจางสารสกัดให้ได้ 12 ความเข้มข้น เติมสารละลาย DPPH ลงไปในสารสกัดแต่ละความเข้มข้นในอัตราส่วน 1 : 1 โดยใช้เอทานอลเป็นกลุ่มควบคุม นำสารผสมแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-visible ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้งสำหรับสารสกัดกึ่งหมอน คำนวณ % radical scavenging จากสมการที่ 1

$$\% \text{ radical scavenging} = [1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}})] \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ  $A_{\text{sample}}$  = ค่า absorbance ที่วัดได้ของสารสกัดกึ่งหมอนที่ผสมกับ DPPH

$A_{\text{control}}$  = ค่า absorbance ที่วัดได้ของเอทานอลที่ผสมกับ DPPH

พล็อตกราฟระหว่าง % radical scavenging กับความเข้มข้นของสารสกัด คำนวณค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่จับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (IC<sub>50</sub>)

4. การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกึ่งหมอน เชื้อที่ใช้ทดสอบจัดซื้อจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้แก่ *Staphylococcus aureus* DMST 8840, *S. epidermidis* DMST 15505, Methicillin Resistance *S. aureus* (MRSA) DMST 20645 และ *Streptococcus pyogenes* DMST 17020 (Choi, J.-Y. et al., 2012)

4.1 การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกึ่งหมอน โดยวิธี Disk diffusion วิธีการทดสอบมีดังนี้ นำเชื้อที่ต้องการทดสอบมาเกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton agar (MHA) จากนั้นเตรียม 95% เอทานอลและสารสกัดที่เจือจางด้วย 95% เอทานอลให้มีความเข้มข้น 200, 400 และ 800 µL/ml แล้วนำสารละลาย ปริมาตร 30 µL

หยดลงบน paper disc ที่ไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จึงวางแผ่นยามาตรฐาน Ampicillin และ Norfloxacin บนอาหาร MHA ที่มีเชื้อ หลังจากนั้นวาง paper disc ของสารสกัดและ 95% Ethanol บนอาหาร MHA ที่มีเชื้อ บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อ่านผลโดยใช้ Vernier caliper วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใส (Inhibition zone) รอบ paper disc ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด

4.2 การศึกษาความไว (Susceptibility) ของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังต่อสารสกัดกิ่งหม่อน โดยวิธี Broth microdilution อ้างอิงตามวิธีของ Choi, J.-Y. *et al.* (2012) ทำโดยบ่มเชื้อ  $\sim 5 \times 10^7$  CFU/ml ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Mueller-Hinton broth (MHB) ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.098 ถึง 800 mg/ml บ่มเชื้อข้ามคืนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จึงได้ผล Minimal Inhibitory Concentration (MIC) ซึ่งค่า MIC คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มองเห็นได้ พิจารณาการยับยั้งเชื้อโดยการนำไปเทียบกับ well เลี้ยงเชื้อที่ไม่ใส่สารสกัดหรือ well ควบคุม จากนั้นหาค่า Minimum bactericidal concentration (MBC) โดยนำ well ที่ไม่เห็นการเจริญของเชื้อจากการหาค่า MIC มาเพาะเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (MHA) หลังบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมง อ่านค่า MBC คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำให้ปริมาณเชื้อลดลง 99% กล่าวคือไม่พบโคโลนีเจริญบนอาหาร MHA

## ผลและวิจารณ์

1. ผลการเตรียมสารสกัดจากกิ่งหม่อน โดยการหมักใน 70% เอทานอล เมื่อระเหยตัวทำละลายออกพบว่าสารสกัดหยาบที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืดข้น และมีสีเขียวแกมอมน้ำตาลเข้ม ได้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดเท่ากับ 10.69

### 2. ผลการทดสอบกลุ่มสารพฤกษเคมีเบื้องต้น

จากการทดสอบกลุ่มสารพฤกษเคมีในสารสกัดกิ่งหม่อน พบว่ากลุ่มสารที่ตรวจพบคือ terpenoid, flavonoids และ tannin (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สุदारัตน์ หอมหวล (2553) ที่ระบุว่าสารที่พบในเนื้อไม้หม่อนคือ morin ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Flavonoid ในลำต้นมี steroidal sapogenin ซึ่งเป็นสารกลุ่ม saponins และในเปลือกมี  $\alpha$ -amyirin ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Terpenoid ทั้งนี้สารสกัดกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ไม่พบสารกลุ่ม saponins อาจเนื่องจากภูมิประเทศและฤดูกาลปลูกซึ่งส่งผลต่อชนิดของสารพฤกษเคมีในกิ่งหม่อนที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 1 แสดงกลุ่มสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดกิ่งหม่อน

กลุ่มสารพฤกษเคมี	ผลที่ได้
Antraquinones	-
Terpenoids	+
Flavonols	+
Saponins	-
Tannins	+
Alkaloids	-
	Liebermann test
Cardiac glycosides	Kedde test
	Keller-Kiliani test



### 3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกิ่งหอมอนโดยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH assay)

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกิ่งหอมอน พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่จับ อนุมูลอิสระ DPPH ได้ร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) มีค่าเท่ากับ 3.621 ± 0.472 mg/ml สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee-Wen Chang *et al.* (2011) ซึ่งได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากกิ่งและเปลือกกรากของหอมอน โดยวิธี DPPH radicals scavenging assay พบว่าสารสกัดจากกิ่งหอมอนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงมากที่ความเข้มข้น 0 - 100 µg/ml โดยแสดงค่า Scavenging effects อยู่ในช่วง 0 - 37% และสอดคล้องกับการศึกษาของปัญญาดา ปัญญาทิพย์ และคณะ (2556) ซึ่งพบว่าสารสกัดใบหอมอนพันธุ์หมีมีค่า IC<sub>50</sub> ต่ออนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 75.86 µg/ml ทั้งนี้คาดว่าสารกลุ่ม flavonoids ที่พบในสารสกัดกิ่งหอมอนส่งผลให้เกิดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจาก Pourmorad *et al.* (2006) พบว่าสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงด้วย

### 4. การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกิ่งหอมอน

4.1 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกิ่งหอมอนด้วยวิธี Disk diffusion แสดงดังตารางที่ 2 จากการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดกิ่งหอมอนที่ความเข้มข้น คือ 250, 500, 1,000 mg/ml พบว่าสารสกัดกิ่งหอมอนทุกความเข้มข้น มีค่า Inhibition zone สูงสุดต่อเชื้อ *S. pyogenes* รองลงมาคือเชื้อ *S. aureus* แต่ไม่แสดง Inhibition zone ต่อเชื้อ *S. epidermidis* และ MRSA (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดหยาบส่วนเมทานอลของแก่นและเปลือกไม้หอมอน ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และพบว่าสารสกัดจากแก่นและเปลือกไม้หอมอนมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดดังกล่าวได้ที่ความเข้มข้น 200 µg/ml

ตารางที่ 2 Inhibition zone ของสารสกัดกิ่งหอมอนต่อเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังเมื่อทดสอบด้วยวิธี Disk diffusion

เชื้อแบคทีเรีย	Inhibition Zone (mm)			Norfloxacin (mm)	Ampicillin (mm)	Negative (95% ethanol) (mm)
	250 (mg/ml)	500 (mg/ml)	1,000 (mg/ml)			
<i>S. aureus</i>	6.67 ± 1.15	7.00 ± 1.00	7.00 ± 0.50	10.00 ± 1.73	7.67 ± 0.76	-
<i>S. epidermidis</i>	-	-	-	-	16.47 ± 0.15	-
<i>S. pyogenes</i>	8.07 ± 1.30	8.30 ± 1.57	9.90 ± 1.91	32.80 ± 1.39	19.33 ± 1.12	-
MRSA	-	-	-	-	-	-

4.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังของสารสกัดกิ่งหอมอนด้วยวิธี Broth microdilution แสดงดังตารางที่ 3

จากตารางแสดงผลการทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียด้วยวิธี Broth microdilution พบว่าสารสกัดกิ่งหอมอนมีค่า MIC และ MBC ค่อนข้างต่ำต่อเชื้อ *S. aureus* (7.812 และ 125 mg/ml ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบด้วยวิธี Disk diffusion อาจกล่าวได้ว่าฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดกิ่งหอมอนมีความสัมพันธ์กับชนิดของกลุ่มสารพฤกษเคมีที่ตรวจพบในสารสกัด เนื่องจากสารกลุ่ม flavonoid สามารถ adhere กับเชื้อจุลินทรีย์และเกิด complex กับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ในขณะที่สารกลุ่ม terpenoid สามารถยับยั้งการสังเคราะห์กรดไขมันในเซลล์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งและจุลินทรีย์ตายในที่สุด (Rojas *et al.*, 1992)

ตารางที่ 3 MIC และ MBC ของสารสกัดกิ่งหม่อนต่อเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังเมื่อทดสอบด้วยวิธี Broth microdilution

เชื้อแบคทีเรีย	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)
<i>S. aureus</i>	7.81	125
<i>S. epidermidis</i>	1.95	>250
<i>S. pyogenes</i>	15.62	>250
MRSA	7.812 – 31.25	31.25

## สรุป

สารสกัดจากกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งสกัดด้วย 70 % เอทานอล มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังโดยเฉพาะเชื้อ *S. aureus* และมีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเป็นเวชสำอางทำความสะอาดร่างกาย เช่น สบู่เหลวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียที่ผิวหนัง ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าของกิ่งหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- ปัญญาดา ปัญญาทิพย์, ปิยะสุดา ไทสวนจิตร, สุธาสินี ทัพพสารพวงศ์, ปราโมทย์ มหคุณากร, เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง และบรรลือ สังข์ทอง. (2556). การวิเคราะห์ปริมาณเมลาโทนินและการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดจากใบหม่อน. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานระดับชาติ *The 5th Annual Northeast Pharmacy Research Conference of 2013 "Pharmacy Profession Moving Forward to ASEAN Harmonization"* วันที่ 16-17 กุมภาพันธ์ 2556 ณ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม. 58-59.
- ศรินรัตน์ ฉัตรธีระนันท์, วรางคณา สบายใจ และ สิริมาส นิยมไทย. (2556). การทดสอบ องค์ประกอบทางพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของใบช่อดา. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 41(3), 723-730.
- สุदारัตน์ หอมหวล. (2553). หม่อน. *ฐานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. สืบค้น 15 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.phargarden.com/main.php?action=viewpage&pid=125>
- Chang LW., Juang LJ., Wang BS., Wang MY., Tai HM., Hung WJ., Chen YJ. and Huang MH. (2011). Antioxidant and antityrosinase activity of mulberry (*Morus alba* L.) twigs and root bank. *Food chem Toxicol* 2011, 49, 785 -779
- Choi, J.-Y., Damte, D., Lee, S.-J., Kim, J.-C. and Park, S.-C. (2012). Antimicrobial Activity of Lemongrass and Oregano essential oil against standard antibiotic resistant *Staphylococcus aureus* and field isolates from chronic mastitis cow. *International Journal of Phytomedicine* , 4 (1), 134-139.
- Mohamed S., Hussein A., Yousry G. and Abdwl-Wahab ES. (2013). Biological activity of extracts form *Morus alba* L. *Albizzia lebbeck* (L.), *Casuarina glauca* Sieber against the growth of some pathogenic bacteria. *Int J AgricFood Res* 2013, 2(1), 9-22.
- Pourmorad F., HosseiniMehr S.J., and Shahabimajd N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 5(11), 1142-1145.

Rojas A., Hernandez L., Pereda-Miranda R. and Mata R. (1992) Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 35(3), 275-283.

Somvong K. and Prasitpuriprecha C. (2012). Antioxidant and melanogenesis stimulating activities of some thai traditional medicine plant extracts for grey hair treatment. *Isan J Pharm Sci* 2012, 8(1), 125-134.

## A Collection of Glycosylation Analysis for Erythropoietin Alfa: A Systemic Review

**Author:** Wacharapol Seangsiwaritt<sup>1</sup>, Jiraphun jittikoon<sup>2</sup>, Chutima Pechkrajang<sup>1</sup>

**Program** Regulatory Sciences for Pharmaceutical and Health Products

**Institute** Mahidol University

### Abstract

Erythropoietin alfa (EPO- $\alpha$ ) has been identified as one of the important glycosylated therapeutic proteins and a good example to illustrate how structural characteristics (e.g. post-translation modification, glycosylation) can affect product efficacy and safety. With all things considered, the analytical assessment is a chief component for the evaluation of product quality. This study aims to collect the N- and O-glycosylation analysis conducted in research and the development of EPO- $\alpha$  from 2001 to 2020. PubMed and Scopus databases were investigated through the defined inclusion and exclusion criteria by two independent authors. Total of 17 studies were collected for full-text screening and reported as a number of studies. The results demonstrated that liquid chromatography (LC) coupled with mass analyzer (TOF-MS, MALDI-MS, or MS/MS) was a powerful instrument used in almost all research studies. The adoption of those methods has already been implemented by the regulatory guidelines from European Pharmacopoeia and Thai Food and Drug Administration. Due to the fast pace of improvement in analytical technology, the developed methods will be recognized as standard methods for determination of EPO- $\alpha$ .

**Keywords:** erythropoietin alfa, glycoprotein analysis, N-linked glycosylation, O-linked glycosylation, liquid chromatography, mass spectroscopy

### Introduction

Erythropoietin alfa (EPO- $\alpha$ ) is a complex glycosylation protein. Natural and therapeutic recombinant EPO- $\alpha$  contain three N-glycosylation sites (Asn-24, Asn-38, and Asn-83) and one O-glycosylation site (Ser-126). The production of EPO- $\alpha$  is principally synthesized by recombinant technology from mammalian cell cultures (e.g. CHO cells). The glycan structure of EPO- $\alpha$  N-linked chains is varied in terminal N-acetylneuraminic acid (Neu5Ac) content, O-acetylation of the Neu5Ac residues, N-acetylglucosamine extensions, and degree of branching (Rush et al., 1995, p. 1442–1452). Glycans attached to EPO- $\alpha$  proteins are also influence on various drug characteristics including molecular stability, solubility, immunogenicity, and *in vitro* and *in vivo* biological activities (Sinclair, 2013, p. 161–174). Immunogenicity, one of the most important adverse events, is reportedly caused by biotherapeutic products including EPO- $\alpha$ . In addition to this, anti-r-HumanEPO-associated pure red cell aplasia (PRCA) was found in numbers of chronic kidney disease (CKD) patients who received EPO- $\alpha$  via subcutaneous administration. Particularly, genetic variations and switching/interchanging between biosimilars were proposed as risk factors for PRCA (Praditpornsilpa et al., 2011, p. 88–92).

<sup>1</sup> Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, 10400, Thailand

<sup>2</sup> Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

For regulation aspects of drugs, there are several of published international guidelines on the evaluation of biotherapeutic products which provided guidances for generating quality, safety, and efficacy products. Only the published guidelines from European Pharmacopoeia (Ph. Eur.) and Thai Food and Drug Administration (TFDA) yielded insights into specific directions for EPO- $\alpha$  and its biosimilar. (Council of Europe, 2001, p. 2540-2544; Thailand. Department of Public Health, 2013, p. 1-47). Overall, the robustness of quality data is the backbone for drug approval consideration. The comprehensive quality-related profiles could be achieved by being proven with the state-of-art analytical methods from either the international recommendations or research and development in scientific studies. As consequences, non-clinical and clinical data could be waived if the data on quality part is adequate.

The rapid rate of innovation and the progress of technological flows can create advanced analytical techniques for the analysis of biopharmaceutical products. In general, capillary zone electrophoresis (CZE), polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE), western blot, and liquid chromatography (LC) were listed as the traditional tools for EPO- $\alpha$  characterization (Council of Europe, 2001, p. 2540-2544). In recent years, several assessment methods have been developed with a prospect for more compositional information in glycoprotein analysis. For instance, various types of high-resolution mass spectrometry (MS) including tandem mass, fourier-transform ion cyclotron resonance (FT-ICR), and orbitraps were additionally employed for analysis of glycoproteins' characterization in which mass to charge ratio with extremely low false positive/negative rates is considered (Oh et al., 2013, p. 545–559). From these findings, high-resolution MS has become a primary tool for identification and profiling of glycoproteins. Besides those techniques, many were not recognized by guideline recommendations from the regulatory authority due to the time limit of publication. Since technology is moving in a fast pace, the recognized standards and analytical methods derived from the previous evidence seem to be inadequate by tomorrow's advancements in the biopharmaceutical industry. In the future, it appears that all above-mentioned methods would be recommended as appropriate approaches for analysis of EPO- $\alpha$  in the standard requirements.

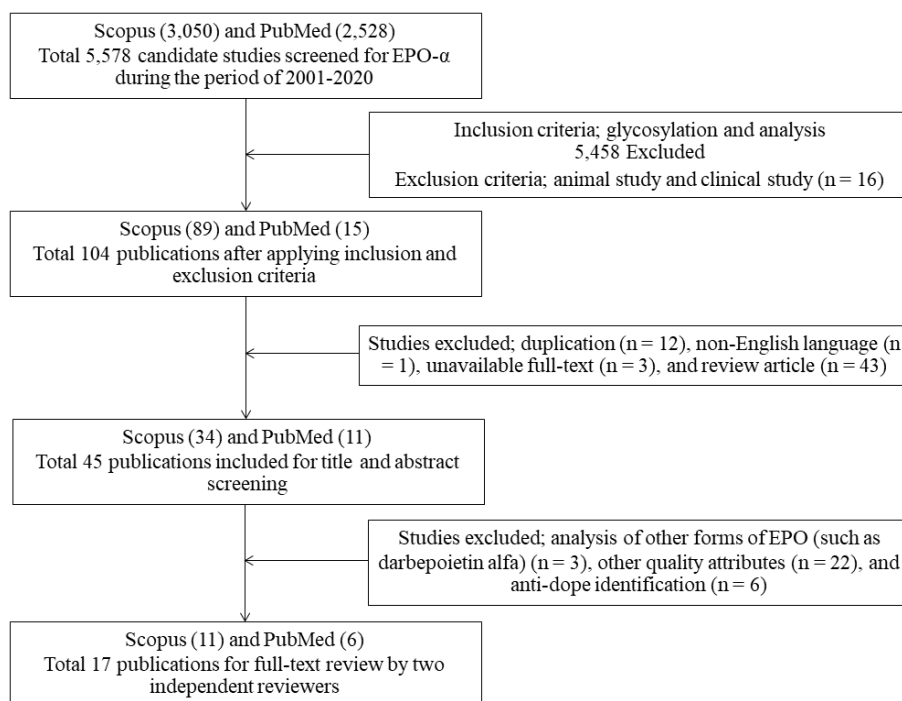
### **Objectives**

- 1) To collect the N- and O-glycosylation analysis of EPO- $\alpha$  demonstrated in research and development databases from 2001 to 2020
- 2) To explore available methods used for the analysis of N- and O-glycosylation, in which those have not been recommended by Ph. Eur. and TFDA.

### **Research Methodology**

In this systematic review, PubMed and Scopus databases from 2001 to 2020 were searched using combinations of the defined terms. The data lock point was 20 April 2020. Inclusion criteria in this study included, as follows: (a) erythropoietin alfa or epoetin alfa (b) glycosylation, and (c) analysis. Exclusion criteria included, as follows: (a) animal studies, and (b) studies specifically performed in human subjects. Titles and abstracts of the studies were identified using the below-described protocol, selected by the authors, and checked for agreement. Full texts of the studies were assessed by two independent authors, the first and the second authors. Initially, there were the relevant 5,578 publications. Of these, 17 studies were completely fulfilled

with the inclusion criteria were included and then processed for data extraction as illustrated in Figure 1. Subsequently, the extracted data were compared with the recommendations from the regulatory requirements (Ph. Eur. and TFDA). Afterwards, we explored analytical methods that have been recognized and unrecognized by the guidelines.



**Figure 1** Flow chart for research strategy

## Results/ Conclusion

A total of 5,578 publications was gathered from PubMed and Scopus databases following the defined keywords. Considering the publications according to inclusion and exclusion criteria, 34 from Scopus and 11 from PubMed publications were included for data analysis. After removing duplication, non-English language, unavailable full-text, review article, and non-relevant study, only 17 publications were selected (Scopus; n = 11 and PubMed; n = 6) for the full text review. Characteristics of the included publications were in Table 1.

### *Methods used for analysis of N-linked glycosylation.*

For glycosylation profiling, N-glycans are relatively abundant and less complicate to release from the core structure than O-glycans. Hence, both of glycosylations require different techniques (digestion and separation) for the analysis and they were collected separately herein.

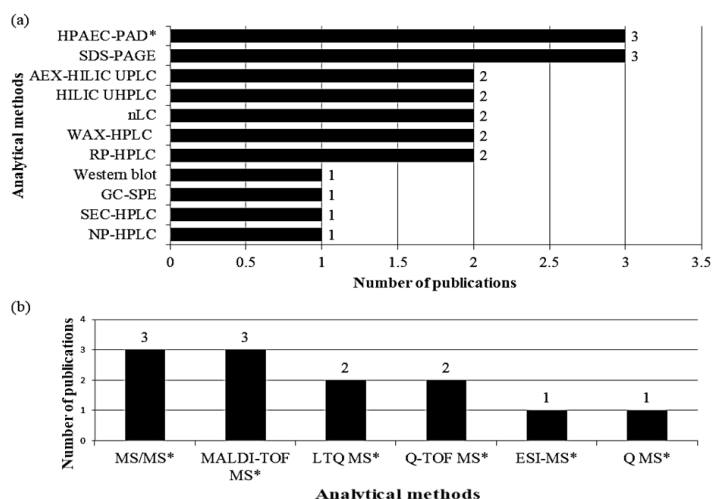
As shown in Figure 2, several methods were employed to analyze EPO- $\alpha$  in order to get the desired results. The separation methods with HPAED-PAD and SDS-PAGE were clearly the preferred methods in the majority of the studies. Apart from HPAED-PAD and SDS-PAGE, the following methods were AEX-HILIC UPLC, HILIC UHPLC, nLC, WAX-HPLC, RP-HPLC, and more. For mass analysis, MS/MS and MALDI-TOF-MS were prominent among the others. Besides, LTQTF,

Q-TOF MS, ESI-MS, and Q MS were found to be uses for N-linked detection. TFDA guideline recommended the use of HPAEC-PAD and any of mass spectrometry for analysis of N-linked glycosylation.

**Table 1** Characteristics of included studies

No.	N-linked glycosylation profiling			O-linked glycosylation profiling			Reference
	Digestion/labeling	Separation	Detection	Digestion	Separation	Detection	
1	PNGase F	HPAEC-PAD		BlotGlyco BS-45450 kit, 2-AB	UPLC		(Tani et al., 2020)
2	PNGase F/2-AB	WAX-HPLC					(Lee et al., 2019)
3	PNGase F/neuraminidase	HPAEC-PAD		Lys-C endoproteinase	RP-HPLC		(Grampp et al., 2018)
4	PNGase F RapiFluor-MS (RFMS) labelled	AEX-HILIC UPLC	Q MS	GlycoWorks reagents, PNGase F	UPLC	Q MS	(Cowper et al., 2018)
5	PNGase F/2-AA	HILIC UPLC	Q-TOF MS			Q-TOF MS	(Jeong et al., 2018)
6	A procainamide labeling kit (Ludger)	HILIC UHPLC	ETD MS/MS				(Thomson et al., 2017)
7	PNGase F	SDS-PAGE	MALDI-TOF MS				(Gianoncelli et al., 2015)
8	trypsin, PNGase F	RP-HPLC	MS/MS (QqLIT-MS)				(Otsuki et al., 2014)
9				trypsin, chymotrypsin	RP-HPLC	Q-TOF MS, MS/MS	(Parsons et al., 2013)
10	PNGase F	SDS-PAGE, nLC	LTQ/FT				(Kawasaki et al., 2009)
11		SDS-PAGE, Western blot					(Elliott et al., 2004)
12	PNGase F RapiFluor-MS (RFMS) labelled	AEX-HILIC UPLC		GlycoWorks reagents, PNGase F	UPLC	Q MS	(Cowper et al., 2020)
13	$\alpha$ -sialidase, PNGase F	RP-HPLC	ESI-MS	PNGase F	RP-HPLC	ESI-MS	(Harazono et al., 2013)
14	PNGase F	GC-SPE, nLC	MALDI-TOF MS, Q-TOF MS, MS/MS				(Oh et al., 2013)
15	PNGase F	SEC-HPLC	LTQ MS		HPAEC-PAD	LTQ MS	(Nett et al., 2012)
16		HPAEC-PAD					(Strnad et al., 2010)
17	PNGase F/2-AB, Exoglycosidase sequencing	WAX, NP-HPLC	MALDI-TOF MS				(Llop et al., 2007)

HPAEC-PAD: high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection; 2-AB: 2-aminobenzamide; UPLC: ultra-performance liquid chromatography; WAX-HPLC: weak anion exchange chromatography-high performance liquid chromatography; RP-HPLC: reverse phase- high performance liquid chromatography; AEX-HILIC UPLC: anion exchange-hydrophilic interaction chromatography ultra-performance liquid chromatography; Q MS: quadrupole mass spectrometer, 2-AA: 2-aminobenzoic acid; Q-TOF MS: quadrupole-time-of-flight mass spectrometer; HILIC UHPLC: hydrophilic interaction chromatography ultrahigh performance liquid chromatography; ETD MS/MS: electron-transfer dissociation tandem mass spectrometer; SDS-PAGE: sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis; MALDI-TOF MS: matrix-assisted laser desorption ionization- time-of-flight mass spectrometer; HPLC: high performance liquid chromatography; MS/MS: tandem mass spectrometer; nLC: nano liquid chromatography; ESI-MS: electrospray ionization mass spectrometry; GC-SPE: graphitized carbon-solid phase extraction, SEC-HPLC: size exclusive chromatography-high performance liquid chromatography; LTQ MS: linear ion trap mass spectrometer; NP-HPLC: normal phase-high performance liquid chromatography.

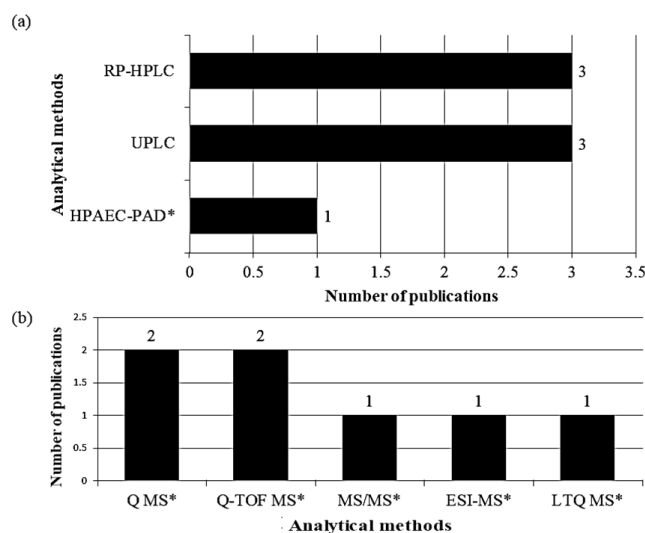


**Figure 2** A graphical plot demonstrates (a) separation techniques (b) detection techniques of N-linked glycoprotein analysis versus number of publications.

\*Methods recommended by TFDA

### Methods used for analysis of O-linked glycosylation.

With regard to the methods used for O-linked glycosylation analysis, 7 studies were included (Figure 3). The separation techniques including RP-HPLC, UPLC and HPAEC-PAD were reportedly used. For mass analysis, Q MS, Q-TOF MS, MS/MS, ESI-MS, and LTQ MS were observed and consistent with the recommendation from TFDA.



**Figure 3** A graphical plot demonstrates (a) separation techniques (b) detection techniques of O-linked glycoprotein analysis versus number of publications.

\*Methods recommended by TFDA

LC coupled with mass analyzer (TOF-MS, MALDI-MS, or MS/MS) was a powerful instrument and it was used by almost all of the researchers. Despite the multitude of glycan-detection methods proposed over the years, only fluorescence detection and MS are capable of the rapid, robust performance required for modern biopharmaceutical analysis. Both these methods have been applied specifically to the analysis of N- and O-linked glycosylations, with distinct advantages and disadvantages to each. For fluorescence detection, the most common methods included PNGase F release, 2-aminobenzamide (2-AB) labeling, and separation by principle types of chromatography: high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD), anion exchange chromatography (AEX), hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC), or reverse-phase chromatography (RP-HPLC). Nevertheless, some analytical methods including, GC-SEC, and AEX-HILIC were also applied to increase the resolution for highly-sialylated products like EPO- $\alpha$ .

For MS detection, MALDI-TOF-MS was popular for robust and rapid profiling of EPO glycans; however, it occurred off-line from LC separations. Because the sample fractionation may decrease ion suppression, MALDI was usually paired with TOF to counter this limitation or switched to LC-ESI-MS. Considering the quality, quantity, and cost-effectiveness of EPO- $\alpha$  characterization, quadrupole (Q) and TOF mass analyzers stood out as the principal choices of the detector for glycosylation profiling, while the tandem (MS/MS)-enabled versions were employed for gaining more details in compositional information.



As expected, the complexity of glycosylation structures of EPO- $\alpha$  must be analyzed by hyphenated techniques to gain insight into their structures. The results were mostly aligned with the regulatory recommendations (Council of Europe, 2001, p. 2540-2544; Thailand. Department of Public Health, 2013, p. 1-47), thereby indicating that the recommended methods were sufficiently provided to assess the quality attributes of EPO- $\alpha$  product until now. However, a wide range of advanced technologies utilized in the research field was inferior in terms of popularity.

## **Discussion**

The data retrieved in this study were fundamentally extracted from 2 databases. More resources for research and development are available for the sake of knowledge. The analytical methods summarized in our study could represent some of them but it is possible to imply that those might not be presented herein. The analytical result was set neither as a standard nor an obligation to strictly follow with. It was intended to serve as a basis for manufacturers or regulators in some aspects. Since the fast pace of improvement in analytical technology and currently, unrecognized methods could become standard requirements. Besides, state-of-art technology may open the future exploration of brand-new quality attributes.

All analytical techniques presented here were provided on a basis of utilization in the research and development field, and previous pieces of evidence only proved for their suitability in the quality-testing process. Meanwhile, the validity of the methods such as sensitivity or specificity was excluded, due to the objective of this study. Nevertheless, the quality attribute is one of the principal concerns when considering the usage of those methods. A drug substance or drug product from the biopharmaceutical technology including EPO- $\alpha$  was well recognized for the presence of the heterogeneity among products or batches. For this reason, the adoption of the analytical method should be attentively selected with a comprehensive approach.

Moreover, the quality evaluation shown in this study solely focused on EPO- $\alpha$  products. In general, Thailand market has four different groups of EPO products: short-acting alfa erythropoietin, intermediate-acting alfa erythropoietin (darbepoetin), short-acting beta erythropoietin, and long-acting beta erythropoietin. Whether the quality assessment of EPO- $\alpha$  can be extended to other EPO products, it depends on a case by case basis. The criticality of variations among products should be considered with caution. For example, one study (Cowper et al., 2020, p. 180) uncovered several differences between products in terms of the glycosylation profiles of multi-sialylated N- and O-glycans as well as the abundances of N-acetyllactosamine extended antennae, O- acetylated sialic acid, and penta-sialylated and sulfated N-glycans.

## **Recommendations**

We expected that this study would be advantage for both regulators and local manufacturers in the way that it can facilitate the research and development, manufacturing, or regulation of EPO- $\alpha$  products in our country. The unrecognized methods today could possibly become as proper tools in standard requirements in the future.

## **References**

- Council of Europe. (2001). European pharmacopoeia 10th edition. Strasbourg: Council of Europe.
- Cowper, B., Lavén, M., Hakkarainen, B., & Mulugeta, E. (2020). Glycan analysis of erythropoiesis-stimulating agents. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 180.
- Cowper, B., Li, X., Yu, L., Zhou, Y., Fan, W. H., & Rao, C. M. (2018). Comprehensive glycan analysis of twelve recombinant human erythropoietin preparations from manufacturers in China and Japan. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 153, 214–220.
- Elliott, S., Egrie, J., Browne, J., Lorenzini, T., Busse, L., Rogers, N., & Ponting, I. (2004). Control of rHuEPO biological activity: The role of carbohydrate. *Experimental Hematology*, 32(12), 1146–1155.
- Gianoncelli, A., Bonini, S. A., Bertuzzi, M., Guarienti, M., Vezzoli, S., Kumar, R., Delbarba, A., Mastinu, A., Sigala, S., Spano, P., Pani, L., Pecorelli, S., & Memo, M. (2015). An Integrated Approach for a Structural and Functional Evaluation of Biosimilars: Implications for Erythropoietin. *BioDrugs*, 29(4), 285–300.
- Grampp, G., McElroy, P. L., Camblin, G., & Pollock, A. (2018). Structure-Function Relationships for Recombinant Erythropoietins: A Case Study From a Proposed Manufacturing Change With Implications for Erythropoietin Biosimilar Study Designs. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(6), 1512–1520.
- Harazono, A., Hashii, N., Kuribayashi, R., Nakazawa, S., & Kawasaki, N. (2013). Mass spectrometric glycoform profiling of the innovator and biosimilar erythropoietin and darbepoetin by LC/ESI-MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 83, 65–74.
- Jeong, Y. R., Jeong, R. U., Son, J. H., Kwon, J. C., Jung, S., Song, M. A., Hwang, J. A., & Lee, G. M. (2018). Comprehensive Physicochemical and Biological Characterization of the Proposed Biosimilar Darbepoetin Alfa, LBDE, and Its Originator Darbepoetin Alfa, NESP®. *BioDrugs*, 32(2), 153–168.
- Kawasaki, N., Itoh, S., Hashii, N., Takakura, D., Qin, Y., Huang, X., & Yamaguchi, T. (2009). The significance of glycosylation analysis in development of biopharmaceuticals. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 32(5), 796–800.
- Lee, J. R., Choi, D., Choi, I., Park, M., Choi, E., Lee, Y. J., Park, J., Yang, Y. H., Ha, G. S., Chul Jin, H., & Kim, K. P. (2019). Comprehensive Characterization of N-Glycosylation in Darbepoetin Alfa. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 40(10), 976–982.
- Llop, E., Gallego, R. G., Belalcazar, V., Gerwig, G. J., Kamerling, J. P., Segura, J., & Pascual, J. A. (2007). Evaluation of protein N-glycosylation in 2-DE: Erythropoietin as a study case. *Proteomics*, 7(23), 4278–4291.
- Nett, J. H., Gomathinayagam, S., Hamilton, S. R., Gong, B., Davidson, R. C., Du, M., Hopkins, D., Mitchell, T., Mallem, M. R., Nylen, A., Shaikh, S. S., Sharkey, N., Barnard, G. C., Copeland, V., Liu, L., Evers, R., Li, Y., Gray, P. M., Lingham, R. B., ... Sethuraman, N. (2012). Optimization of erythropoietin production with controlled glycosylation-PEGylated erythropoietin produced in glycoengineered *Pichia pastoris*. *Journal of Biotechnology*, 157(1), 198–206.
- Oh, M. J., Hua, S., Kim, B. J., Jeong, H. N., Jeong, S. H., Grimm, R., Yoo, J. S., & An, H. J. (2013). Analytical platform for glycomic characterization of

- recombinant erythropoietin biotherapeutics and biosimilars by MS. *Bioanalysis*, 5(5), 545–559.
- Otsuki, T., Kishikawa, Y., Suzuki, H., & Ueki, M. (2014). Structure-based comprehensive identification of erythropoiesis-stimulating agents and their biosimilars. *Forensic Toxicology*, 32(2), 292–298.
- Parsons, J., Altmann, F., Graf, M., Stadlmann, J., Reski, R., & Decker, E. L. (2013). A gene responsible for prolyl-hydroxylation of moss-produced recombinant human erythropoietin. *Scientific Reports*, 3, 1–8.
- Praditpornsilpa, K., Tiranathanagul, K., Kupatawintu, P., Jootar, S., Intragumtornchai, T., Tungsanga, K., Teerapornlertratt, T., Lumlertkul, D., Townamchai, N., Susantitaphong, P., Katavetin, P., Kanjanabuch, T., Avihingsanon, Y., & Eiam-Ong, S. (2011). Biosimilar recombinant human erythropoietin induces the production of neutralizing antibodies. *Kidney International*, 80(1), 88–92.
- Rush, R. S., Derby, P. L., Rohde, M. F., Katta, V., Merry, C., Rogers, G., & Smith, D. M. (1995). Microheterogeneity of Erythropoietin Carbohydrate Structure. *Analytical Chemistry*, 67(8), 1442–1452.
- Sinclair, A. M. (2013). Erythropoiesis stimulating agents: Approaches to modulate activity. *Biologics: Targets and Therapy*, 7(1), 161–174.
- Strnad, J., Brinc, M., Spudić, V., Jelnikar, N., Mirnik, L., Čarman, B., & Kravanja, Z. (2010). Optimization of cultivation conditions in spin tubes for Chinese hamster ovary cells producing erythropoietin and the comparison of glycosylation patterns in different cultivation vessels. *Biotechnology Progress*, 26(3), 653–663.
- Tani, J., Ito, Y., Tatemichi, S., Yamakami, M., Fukui, T., Hatano, Y., Kakimoto, S., Kotani, A., Sugimura, A., Mihara, K., Yamamoto, R., Tanaka, N., Minami, K., Takahashi, K., & Hirato, T. (2020). Physicochemical and biological evaluation of JR-131 as a biosimilar to a long-acting erythropoiesis-stimulating agent darbepoetin alfa. *PLoS ONE*, 15(4), 1–17.
- Thailand. Ministry of Public Health. (2013). คำสั่งกระทรวงสาธารณสุข ที่ ๘๔๒/๒๕๕๖ ลงวันที่ ๒๖ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๖ เรื่องแก้ไขทะเบียนตำรับยา epoetin alfa และ beta. สืบค้นจาก <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/159/53.PDF?fbclid=IwAR1NwOu52guwxoHzArWyRweNqfCgKsbd6Qqgeq4q4bF9tqbxAWVQKOAwc>
- Thomson, R. I., Gardner, R. A., Strohfeltd, K., Fernandes, D. L., Stafford, G. P., Spencer, D. I. R., & Osborn, H. M. I. (2017). Analysis of Three Epoetin Alpha Products by LC and LC-MS Indicates Differences in Glycosylation Critical Quality Attributes, Including Sialic Acid Content. *Analytical Chemistry*, 89(12), 6455–6462.

## **Open plate fixation versus closed nail fixation for pediatric femoral shaft fractures: A systematic review and meta-analysis**

**Author:** Chanika Angsanuntsukh<sup>1</sup>, Patarawan Woratanarat<sup>1</sup>, Sasivimol Rattanasiri<sup>2</sup>, Ammarin Thakkinstian<sup>2</sup>

**Program:** Master of Science (Medical Epidemiology)

**Institute:** Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University

### **Abstract**

**Introduction:** Femoral shaft fractures in older children and adolescents are commonly treated by operative treatments. This study aimed to compare operative results between open plate fixation and closed nail fixation.

**Materials and Methods:** A systematic review and meta-analysis was conducted. The searching was performed on MEDLINE via PubMed, SCOPUS, clinical trial registry, and reference lists of included studies. Studies comparing union time, operative time, and estimate blood loss were eligible. Risk ratio and unstandardized mean differences along with 95% confidence intervals (CI) were pooled. Heterogeneity test ( $I^2$ ) and publication bias was assessed.

**Results:** Among 2225 identified studies, six cohort studies involving 236 patients were included. The mean age was  $8.37 \pm 1.05$  years. Pairwise meta-analysis of union rate suggested no significant difference between two treatments, with pooled RR (95% CI) of 1.005 (0.948, 1.065). The operative time was not significantly different, with pooled MD (95% CI) of 0.025 (-0.777, 0.826) hour. The estimate blood loss was significantly higher in open plate fixation comparing to closed nail fixation, with pooled MD (95% CI) of 82.62 (51.11, 114.14) milliliters.

**Conclusion:** Open plate fixation and closed nail fixation were effective treatments of pediatric femoral shaft fractures, in terms of excellent union rate and appropriate operative time. However, open plate fixation lead to significant more bleeding than closed nail fixation. Even though, this amount of bleeding may not clinically significant in most patients, the surgeons should be aware and adequate preparation of blood components is recommended.

**Keywords:** plate fixation, nail fixation, femoral shaft fracture, children

<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>2</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

## **Introduction**

Femur or thigh bone is the largest long bone in human body. There are 3 parts of the femur bone, the upper part, that connects to hip joint, is called proximal femur, the middle part is call femoral shaft, and the lower part, that connects to knee joint, is call distal femur. The fracture or broken bone of the femur can cause by high energy injury such as fall from height, contact sports, and motor vehicle accidents. The fracture at the middle part (femoral shaft fracture) is the most common area of femoral fracture in children.

In children aged below 5 years old, the fractures can be treated by conservative treatments, using splint or plaster casting. However, in older children and adolescents, the forces from surrounding muscles are increasing and the fractures need longer time to heal. Therefore, surgical treatments are commonly used in these patients(Madhuri & Gahukamble, 2014).

There are many surgical techniques used for pediatric femoral shaft fractures in children and adolescents. The two common treatments are open plate fixation and closed nail fixation. Open plate fixation is an original technique. It has been used for a long time. The technique uses plate and metal screws to fix the broken bone in place. To reduce the fracture and place the plate, a skin incision is made about the length of the plate. The soft tissue and surrounding muscles are dissected and cut to expose the bone and the fracture. Even though this technique is easier to put the fracture in place, it is more invasive. The other technique is closed nail fixation. The latter is a new technique, commonly used in the past years. The new technique is less invasive, needs shorter skin incision, and less soft tissue dissection. However, the fracture is closely reduced under image intensifier, the implants are more expensive, and may not be available in some area. Moreover, the surgical techniques are technically demanded.

## **Objectives**

This study aimed to compare the operative results between open plate fixation and closed nail fixation of the pediatric femoral shaft fractures.

Primary objective was to compare the heal rate (union rate) of the femoral fractures among the two treatments.

Secondary objectives were to compare the operative time and estimate blood loss among the two treatments.

## **Materials and Methods**

A systematic review and direct meta-analysis were conducted. The data searching was performed using relevant search terms on MEDLINE via PubMed, SCOPUS database, clinical trial registration, and reference lists of the eligible studies and previous meta-analysis. The search terms were constructed based on population, intervention, comparator, and outcomes of interested.

Studies which included children and adolescents aged from 1 to 18 years old with femoral shaft fracture, comparing between open plate fixation and closed nail fixation, and reported the primary outcome (union rate) or secondary outcome (blood loss) were eligible. All study designs and any languages were included. The studies which contain patients from the same cohorts of other eligible studies and studies with insufficient data were excluded.

The primary outcome was union rate, which mean the fracture was healed after the surgery. The new bone was formed and connect the fracture fragments. The secondary outcomes were operative time and estimate blood loss. The operative time defined as the total time used for surgery, reported in each study. The data was collected in hours. Estimate blood loss defined as the total amount of blood loss during the surgical treatment, recorded in milliliters.

The data was extracted by one reviewer (CA) and recorded in the data extraction forms. The second reviewer randomly extracted and validated the data. The data extracted included study characteristics (study design, year, and setting), patient characteristics, details of treatments, and outcomes. Data entry, cleaning, and checking were performed. Disagreements were discussed and resolved by consensus with a supervisor.

The quality of the eligible studies was independently assessed by 2 reviewers, using the risk of bias assessment tool for non-randomized studies of interventions (ROBINS-I).(Sterne et al., 2016)

Risk ratio (RR) and 95% confidence intervals (CI) were pooled for the union rate. Unstandardized mean differences (UMD) along with 95% confidence intervals (CI) were pooled for operative time and estimate blood loss. Heterogeneity test was assessed by Cochrane's Q test and Higgins'  $I^2$  statistic. For the outcome without evidence of heterogeneity, the fixed effects model with inverse variance method were used. Otherwise, the random effects model with the method of DerSimonian and Laird were used. In that cases, the sources of heterogeneity were explored using meta-regression model.

The publication bias was assessed using Egger's test and funnel plot. All analyses were performed using STATA software package, version 16.0 (Stata Corp, College Station, Texas, USA).

## Results and Discussion

From the searching, seven studies were eligible. Six were cohorts and one was randomized control trial study. Six cohorts were included in to the analysis. Among the six studies, there were 236 patients. The mean age of the patient was  $8.37 \pm 1.05$  years (range, 6.61, 9.5). The studies were published between 1999 and 2018. Two studies were form USA (Allen et al., 2018; Stans, Morrissy, & Renwick, 1999), one from India (Sivaraj, 2016), Israel (Sela, Hershkovich, Sher-Lurie, Schindler, & Givon, 2013), Thailand (Pongsamakthai, 2017), and Turkey (Caglar, Aksoy, Yazici, & Surat, 2006). Open plate fixation was used in 78 patients and closed nail fixation was used in 158 patients. (Table 1)

The risk of bias assessment was performed using ROBINS-I tool. The included studies were considered having moderate risk of bias, since they were judged to be at low to moderate risk of bias for all domains.

For the union rate outcome, the RRs from 6 studies (236 patients) were pooled using a fixed effects model, yielding a non-significant pooled RR (95% CI) of 1.005 (0.948, 1.065), with no evidence of heterogeneity ( $I^2 = 0\%$ ; Q test:  $\chi^2 = 1.54$ , p-value = 0.909). The pooled RR suggested no significant difference in union rate between open plate fixation and closed nail fixation. (Table 2) The Egger's test showed no significant evidence of asymmetry (coefficient = -0.60, SE = 0.802, p = 0.454). Considerable symmetry was observed in the plot, suggesting no significant publication bias.

For operative time, the MDs from 4 studies (178 patients) were pooled using a random effects model, yielding a non-significant pooled MD (95% CI) of 0.025 (-0.777, 0.826) hour, with evidence of heterogeneity ( $I^2 = 96.37\%$ ; Q test:  $\chi^2 = 82.69$ , p-value <0.0001). After adjusted by age group, the pooled UMD (95% CI) of both groups were not statistically significant. The pooled MD suggested no significant difference in operative time between open plate fixation and closed nail fixation. (Table 3) The Egger's test showed significant evidence of asymmetry (coefficient = 3.07, SE = 1.901, p = 0.011) and there was one study outside the funnel plot. The contour enhanced-funnel plot showed studies in both significant and non-significant area, the asymmetrical more likely was caused from heterogeneity than publication bias or missing study.

For estimate blood loss, the MDs from 3 studies involving 132 patients were pooled using a random effects model, yielding a significant pooled MD (95% CI) of 82.624 (51.107, 114.141) milliliters, with evidence of heterogeneity ( $I^2 = 96.16\%$ ; Q test:  $\chi^2 = 52.08$ , p-value <0.0001). The pooled MD suggested that estimate blood loss of open plate fixation was 82.62 milliliters (ml.) more comparing to closed nail fixation. (Table 3) The Egger's test showed no significant evidence of asymmetry (coefficient = -0.24, SE = 1.654, p = 0.884), but there were 2 studies outside the funnel plot. The contour enhanced-funnel plot showed studies in significant area. Trim and fill analysis were check and found no missing study. The asymmetrical might be caused by publication bias.

Similar to previous studies, the overall union rate in this analysis was excellent, the union rate was 100% and 98.7% in open plate fixation and closed nail fixation, respectively. There was no significant difference in union rate between treatments in pairwise meta-analysis.

The open plate fixation was thought that it would take longer operative time since it needed soft tissue dissection and wound closure. By the way, the average operative time

was 1.93 hours in open plate fixation and 1.83 hours in closed nail fixation, which was not significantly different. Plate fixation spends more time to open and close wound, while the closed nail fixation needs longer time to closely reduce the fracture. Moreover, in young surgeons with limited experiences in close reduction, the closed nail fixation may need longer time.

For estimate blood loss, open plate fixation lead to 83 ml. more bleeding compared to closed nail fixation. (115 vs 32 ml.) Because of the longer skin incision and extensive soft tissue dissection, the open plate fixation damages more on surrounding soft tissue and causes more blood loss. For clinical aspect, bleeding of 115 ml. is not very dangerous in most children and adolescents. However, adequate blood components should be prepared pre-operatively, especially in the patients who cannot tolerate to significant bleeding.

### **Conclusion**

Both open plate fixation and closed nail fixation provided excellent union rate and appropriate operative time for pediatric femoral shaft fractures. Even though, open plate fixation lead to significant more bleeding than closed nail fixation, the amount of bleeding may not clinically significant in most patients.

### **Recommendations**

Open plate fixation and closed nail fixation were good options for pediatric femoral shaft fractures. Bleeding caution was found in open plate fixation, the surgeons should be aware and adequate preparation of blood components is recommended.

### **Acknowledgements**

I would like to express my special appreciation to my advisors Assoc. Prof. Patarawan Woratanarat, Prof. Ammarin Thakkinstian, and Assoc. Prof. Sasivimol Rattanasiri for their valuable guidance, helpful advice, and very constructive criticism. And I would like to thank Petya Yorgova and Carlos Pargas for their helps in finding studies, Tanyaporn Patathong and Thanathas Phairojnunthachai for their helps in combining the figures and technical supports.

### **References**

- Allen, J. D., Murr, K., Albitar, F., Jacobs, C., Moghadamian, E. S., & Muchow, R. (2018). Titanium Elastic Nailing has Superior Value to Plate Fixation of Midshaft Femur Fractures in Children 5 to 11 Years. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 38(3), e111-e117. doi:10.1097/BPO.0000000000001129
- Caglar, O., Aksoy, M. C., Yazici, M., & Surat, A. (2006). Comparison of compression plate and flexible intramedullary nail fixation in pediatric femoral shaft fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B*, 15(3), 210-214. doi:10.1097/01.bpb.0000186642.91944.68
- Madhuri, V., & Gahukamble, A. (2014). Cochrane in context: Interventions for treating femoral shaft fractures in children and adolescents. *Evidence-Based Child Health*, 9(4), 827-828. doi:10.1002/ebch.1983
- Pongsamakthai, W. (2017). Elastic stable intramedullary nailing versus compression plating in pediatric femoral shaft fractures: A retrospective study. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 100(8), 888-893.



- Sela, Y., Hershkovich, O., Sher-Lurie, N., Schindler, A., & Givon, U. (2013). Pediatric femoral shaft fractures: treatment strategies according to age--13 years of experience in one medical center. *J Orthop Surg Res*, 8, 23. doi:10.1186/1749-799x-8-23
- Sivaraj, S. (2016). *Comparison of clinical outcome of titanium elastic nail and plate osteosynthesis in paediatric femoral diaphyseal fractures*. (Masters), Madras Medical College, Chennai. (220200116)
- Stans, A. A., Morrissy, R. T., & Renwick, S. E. (1999). Femoral shaft fracture treatment in patients age 6 to 16 years. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 19(2), 222-228. doi:10.1097/01241398-199903000-00017
- Sterne, J. A., Hernán, M. A., Reeves, B. C., Savović, J., Berkman, N. D., Viswanathan, M., . . . Higgins, J. P. (2016). ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *Bmj*, 355, i4919. doi:10.1136/bmj.i4919

**Table 1** Characteristics of included studies

Author	Year	Country	N	Mean age	Male	Right	Fracture type (%)		
				(yrs.)	(%)	(%)	Open	Comminute	Multiple
Allen JD	2018	USA	55	8.7 ± 2.0	69.2	NR	6.2	32.4	NR
Caglar O	2006	Turkey	40	8.0 ± 1.1	59.9	47.3	NR	15.4	NR
Pongsamakthai W	2017	Thailand	55	9.3 ± 1.6	58.2	NR	0	NR	27.3
Sela Y	2013	Israel	36	8.1 ± 1.7	59.4	44.0	NR	NR	NR
Sivaraj S	2016	India	22	9.5 ± 2.9	54.5	59.1	9.1	NR	NR
Stans AA	1999	USA	28	6.6 ± 1.0	NR	NR	NR	NR	NR

**Table 2** Pairwise meta-analysis of union rate

Author, year	Operative treatment				RR (95%CI)
	Open plate fixation		Closed nail fixation		
	N	Event	N	Event	
Allen JD, 2018	5	5	50	50	0.926 (0.726, 1.180)
Caglar O, 2006	22	22	18	17	1.062 (0.919, 1.228)
Pongsamakthai W, 2017	34	34	21	21	1.009 (0.936, 1.007)
Sela Y, 2013	3	3	33	33	0.888 (0.612, 1.289)
Sivaraj S, 2016	10	10	12	12	0.993 (0.839, 1.175)
Stan AA, 1999	4	4	24	23	0.957 (0.703, 1.303)
<b>Pooled RR (I<sup>2</sup> = 0.00%)</b>					<b>1.005 (0.948, 1.065)</b>

**Table 3** Pairwise meta-analysis of operative time and estimate blood loss

Author, year	Operative treatment						MD (95%CI)
	Open plate fixation			Closed nail fixation			
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	
<b>Operative time</b>							
Allen JD, 2018	5	2.7	1.1	50	1.6	1.1	1.100 (0.089, 2.111)
Caglar O, 2006	22	1.67	0.4	18	1.41	0.4	0.263 (0.014, 0.512)
Pongsamakthai W, 2017	34	0.87	0.12	21	1.7	0.17	-0.830 (-0.911, -0.749)
Stan AA, 1999	4	2.5	0.5	24	2.62	1.0	-0.116 (-0.749, 0.517)
<b>Pooled MD (I<sup>2</sup>=96.37%)</b>							<b>0.025 (-0.777, 0.826)</b>
<b>Estimate blood loss</b>							
Allen JD, 2018	5	125	70.7	50	40	56.6	85.000 (31.879, 138.121)
Pongsamakthai W, 2017	34	68.8	23.1	21	5.4	2.1	63.400 (53.460, 73.340)
Sivaraj S, 2016	10	150	0.9	12	50	0.9	100.000 (99.245, 100.755)
<b>Pooled MD (I<sup>2</sup>=96.16%)</b>							<b>82.624 (51.107, 114.141)</b>

# แนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล กรณีศึกษา โรงพยาบาลราชบุรี

The development on Management Process of non-Hospital Drug List: A Case Study in Ratchaburi Hospital.

ภััสสร ทองนอก<sup>1</sup> และ ภาณุพัฒน์ พุ่มพฤษ<sup>2</sup>  
Passorn Thongnork<sup>1</sup> and Panoopat Poompruek<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาแนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลให้เหมาะสมกับบริบทโรงพยาบาลราชบุรี เก็บข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับระบบทั้งหมด 14 คน ประกอบด้วย แพทย์ 2 คน, เภสัชกร 4 คน, เจ้าหน้าที่กลุ่มงานเภสัชกรรม 8 คน โดยวิธีการสัมภาษณ์และการสังเกต ข้อมูลที่ได้ถูกจัดหมวดหมู่ แบ่งประเภทและใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) เพื่อยกระดับข้อมูลขึ้นเป็นข้อสรุปของการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าในปัจจุบันมีกระบวนการและขั้นตอนในการบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลอยู่ทั้งสิ้น 11 ขั้นตอน โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้กรอบแนวคิดการบริหารแบบ 4M ผู้ให้ข้อมูลเห็นว่า กระบวนการจัดการ (Management) เป็นส่วนที่มีปัญหามากที่สุด โดยข้อปัญหาที่มีความถี่มากที่สุดมี 2 ข้อ ได้แก่ การปฏิบัติงานระหว่างบุคลากรภายในโรงพยาบาลและการปฏิบัติงานระหว่างบุคลากรทางการแพทย์และผู้ป่วย สำหรับข้อเสนอแนะที่สำคัญในกระบวนการจัดการของผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ การสร้างแผนผัง (Flowchart) การทำงานให้ชัดเจน, การมีเอกสารชี้แจงแนวทางปฏิบัติของผู้เกี่ยวข้องทั้งแพทย์ เภสัชกรและผู้ป่วย รวมถึงการใช้เทคโนโลยีเพื่อแจ้งเตือนและติดตามสถานะการทำงานในขั้นตอนต่างๆโดยใช้โปรแกรม HOSxP สำหรับการแก้ปัญหาในเชิงระบบ ผู้ให้ข้อมูลเห็นว่าควรมีการทบทวนความเหมาะสมของรายการยาในบัญชีของโรงพยาบาลและควรมีการประชุมปรับปรุงรายการยาอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง นอกจากนี้ในส่วนของขั้นตอนการปฏิบัติงานของเภสัชกรพบปัญหาการสืบค้นข้อมูลไม่สะดวกและการไม่ทราบรายการยานอกบัญชี ซึ่งมีข้อเสนอแนะให้ใช้เทคโนโลยีเพื่อแสดงข้อมูลและติดตามสถานะการทำงานด้วยเช่นกัน จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลสามารถแบ่งได้เป็นการพัฒนาเชิงระบบและเครื่องมือสนับสนุน โดยเชิงระบบ ได้แก่ การประชุมปรับเปลี่ยนรายการยาอย่างน้อยปีละ 1 ครั้งและการประชุมตกลงรายการยาเร่งด่วน ในส่วนของเครื่องมือสนับสนุนระบบ ได้แก่ เอกสารชี้แจงแพทย์, เอกสารชี้แจงผู้ป่วย, โปรแกรมHOSxP ติดตามสถานะการทำงานและระบุรายการยาที่เป็นยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลและแผนผังดำเนินงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล (Flowchart) ทั้งภาพรวมระบบและของงานบริการเภสัชกรรม

**คำสำคัญ :** การพัฒนาระบบ, ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล

<sup>1</sup> นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำภาควิชาเภสัชกรรมชุมชน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## Abstract

This research is a qualitative research with aim developing the management process of non-Hospital Drug list in Ratchaburi Hospital. Data were collected from 14 systems-related staffs, consisting of 2 physicians, 4 pharmacists and 8 pharmacy technicians by interview and observation. The collected data were categorized and classified in the group. Content analysis method was used to make the conclusions of the research.

The research found that for the present procedures, there were 11 steps in non-hospital drug list management. After analyzed procedures with 4M management framework, Management component was the most problematic in the operations among hospital staffs and the operations between medical staffs and patients. Informant suggestions to improve in the management component included flowchart setting and documents to guide the operation of all related stakeholders particularly doctors, pharmacists and patients. Moreover, technology should be applied to alert and monitor the working process was program HOSxP. For the systematic problems, Informant agreed that the appropriateness of hospital drug lists should be reviewed annually. In pharmacy practices, there were problems in finding the process and non-hospital drug information that made pharmacists could not make their decisions. Therefore, suggested to improve technology to access to the non-hospital drug database and monitor working process. From research results, the management support could be divided into the system improvement and tools. System improvement, consisting of an annually meeting on non-hospital and urgent drug lists. Tools, including physician and patient standard operation procedures documents, process flowchart, program HOSxP for identifying and monitoring working process.

**Keyword:** System development, non-Hospital Drug List

## บทนำ

รายการยาในบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะมีความแตกต่างกัน โดยมีระบบการคัดเลือกยาที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในโรงพยาบาล (มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์, 2559) ซึ่งจะดำเนินงานในรูปแบบคณะกรรมการเภสัชกรรมและการบำบัด (Pharmacy and Therapeutic Committee, PTC) เป็นผู้กำหนดเกณฑ์นำมาใช้พิจารณาคัดเลือกยาและเวชภัณฑ์เข้าโรงพยาบาล (สมาคมเภสัชกรรมโรงพยาบาล (ประเทศไทย), 2542) และเนื่องจากโรงพยาบาลราชบุรีเป็นโรงพยาบาลศูนย์ จึงควรมีรายการยาไม่เกิน 750 รายการและต้องมียาในบัญชียาหลักแห่งชาติ (Essential Drug : ED) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ตามกรอบบัญชีรายการยาที่ควรมีในโรงพยาบาลแต่ละระดับตามมาตรฐานการพัฒนาระบบบริหารเวชภัณฑ์ ตามที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2542)

แต่เนื่องจากปัจจุบันแนวโน้มโรคและภัยสุขภาพมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องซื้อยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลเพื่อการดูแลรักษาผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.), 2559) แต่ยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลส่วนใหญ่มักเป็นยาที่มีมูลค่าสูงและเป็นยานอกบัญชียา

หลักแห่งชาติ (Non-Essential Drug: NED) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2560; สำนักยา, 2556) โรงพยาบาลราชบุรีจึงมีระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยา เพื่อควบคุมการใช้จ่ายให้สมเหตุผล ซึ่งเดิมมีค่าใช้จ่ายที่มีความจำเป็นในการใช้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลจำนวนไม่มาก ในปีงบประมาณ 2557 มีจำนวนผู้ป่วยเพียง 37 ราย แต่ในปีงบประมาณ 2558 ได้มีจำนวนผู้ป่วยที่มีความจำเป็นในการขอใช้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 132 ราย ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีงบประมาณ 2557 ประมาณ 3.5 เท่า นอกจากนี้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลเป็นกลุ่มยาที่มีมูลค่าสูงในการจัดซื้อยา โดยในการจัดซื้อยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลปีงบประมาณ 2560 มีมูลค่า 26,186,524.63 บาท แต่ในขณะที่รูปแบบการดำเนินงานที่ผ่านมาพบปัญหา เช่น พยายามออกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลหมดอายุเป็นมูลค่า 210,707.68 บาท, ไม่มีระบบติดตามเอกสารการอนุมัติใช้จ่ายจึงพบแพทย์สั่งจ่ายผู้ป่วยก่อนได้รับอนุมัติเป็นมูลค่า 523,841.43 บาท ซึ่งอาจทำให้เกิดการใช้จ่ายอย่างไม่สมเหตุผล, ไม่มีระบบแจ้งเตือนจำนวนหรือวันหมดอายุของใบอนุมัติจึงเกิดการสั่งจ่ายให้ผู้ป่วยเกินจากการขออนุมัติเป็นมูลค่าอย่างน้อย 3,847,650.28 บาท (งานบริหารเวชภัณฑ์ โรงพยาบาลราชบุรี, 2560) ทำให้ผู้ป่วยท่านอื่นที่ควรได้รับยาดังกล่าวไม่ได้รับยาหรือได้รับยาไม่ครบ ส่งผลให้เกิดการรักษาที่ไม่ต่อเนื่อง เป็นต้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล จึงควรมีการพัฒนากระบวนการบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาลให้เหมาะสมกับบริบทของโรงพยาบาลราชบุรีและสถานการณ์ในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะสามารถช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างสะดวก, ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากหากนำแนวคิดจากนอกหน่วยงานมาปฏิบัติ โดยไม่สอดคล้องกับบริบทของหน่วยงาน นอกจากจะส่งผลให้ไม่สามารถลดปัญหาจากการปฏิบัติงานแล้ว ยังเพิ่มภาระงานให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น (จรรยาพร และอภิญา, 2551)

## วัตถุประสงค์

เพื่อได้แนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาของโรงพยาบาล ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงพยาบาลราชบุรี

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์รายบุคคล (Individual Interview) ผู้ให้ข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นทีมสหวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล มีทั้งหมด 14 คน ได้แก่ แพทย์ คัดเลือกแพทย์ที่ทำเรื่องขออนุมัติใช้ยานอกบัญชีรายการยาสูงสุดจำนวน 2 คนโดยแพทย์ทั้ง 2 คน เป็นแพทย์เฉพาะทางต่างสาขา, เภสัชกรงานบริหารเวชภัณฑ์จำนวน 2 คน, เจ้าหน้าที่ฝ่ายงานบริหารเวชภัณฑ์ 2 คน, เจ้าหน้าที่ดูแลคลังยาในฝ่ายงานบริหารเวชภัณฑ์ 2 คน, เภสัชกรปฏิบัติการ ณ งานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยนอก 1 คน, เจ้าหน้าที่ดูแลคลังยา ณ งานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยนอก 2 คน, เภสัชกรปฏิบัติการ ณ งานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยใน 1 คน, เจ้าหน้าที่ดูแลคลังยา ณ งานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยใน 2 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แนวทางในการสัมภาษณ์ (Interview guideline) เป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยมีการตรวจสอบเครื่องมือภายใต้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมความตรงตาม

เนื้อหา (Content Validity) ความครอบคลุมตามวัตถุประสงค์และกรอบแนวคิดงานวิจัย โดยส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์ ส่วนที่ 2 เกี่ยวกับระบบการขออนุมัติใช้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล โดยมี 2.1 ขั้นตอนในการขออนุมัติใช้ยานอกบัญชีรายการยาที่ห้ามทราบและปฏิบัติจริงในปัจจุบัน 2.2 ลักษณะงานที่ห้ามเกี่ยวข้องกับระบบการบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล 2.3 การติดต่อประสานงานที่เกี่ยวข้องกับท่าน 2.4 ปัญหาที่พบจากระบบการบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล 2.5 สิ่งที่ต้องการให้เกิดการพัฒนาเกี่ยวกับระบบการบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลและข้อเสนอแนะต่างๆ

วิธีการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ทีมสหวิชาชีพผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบทั้ง 14 คน เป็นประโยคคำถามปลายเปิดตามแนวทางในการสัมภาษณ์ (Interview guideline) และบันทึกเสียงผู้ให้สัมภาษณ์

ขั้นตอนการวิจัยโดยเริ่มจากการศึกษาสถานการณ์ปัจจุบัน จากการสัมภาษณ์ทีมสหวิชาชีพผู้เกี่ยวข้องทั้ง 14 คน ถึงรูปแบบการดำเนินงานที่ผู้ให้ข้อมูลปฏิบัติงานเป็นประจำ วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลโดยการถอดบทสัมภาษณ์แบบคำต่อคำ นำมาจัดหมวดหมู่เพื่อหาปัญหาตามการบริหารแบบ 4M ได้แก่ Man (บุคคล), Money (เงิน), Material (เครื่องมือ) และ Management (การจัดการ) รวบรวมและวิเคราะห์ปัญหาการทำงานในแต่ละขั้นตอนของระบบการดำเนินงานรวมถึงข้อเสนอแนะในระบบที่ต้องการพัฒนาแก้ไขและนำมาจัดลำดับความสำคัญของปัญหา (priority) เพื่อแก้ไขปัญหา หลังจากนั้นหาแนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลจากปัญหาและข้อเสนอแนะในระบบที่ต้องการพัฒนาและแก้ไข เมื่อได้แนวทางในการพัฒนาระบบนำเสนอร่างแนวทางการพัฒนาระบบที่ออกแบบสอบถามความคิดเห็นผู้ให้ข้อมูลอีกครั้ง เพื่อสอบถามความคิดเห็นเพิ่มเติมและนำมาปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์และสอดคล้องกับบริบทของผู้ปฏิบัติงานจริง

## ผลและวิจารณ์

### 1. บริบทของโรงพยาบาลราชบุรีและทีมสหวิชาชีพผู้เกี่ยวข้องในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล

โรงพยาบาลราชบุรีเป็นโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ โดยเป็นศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก ปัจจุบันมีขนาด 855 เตียง มีบุคลากรทั้งสิ้น 2,516 คน โดยมีแพทย์ 241 เภสัชกร 45 คน พยาบาล 650 คน จากการเก็บข้อมูลในการศึกษานี้พบว่าทีมสหวิชาชีพผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบมีเพศหญิง 10 คนและเพศชาย 4 คน โดยมีอายุเฉลี่ย 44 ปี และมีประสบการณ์การทำงานในโรงพยาบาลราชบุรีเฉลี่ย 21 ปี

### 2. รูปแบบการดำเนินงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลที่ปฏิบัติจริง

เมื่อศึกษาในมุมมองของผู้ให้ข้อมูลถึงรูปแบบการดำเนินงานในระบบที่ปฏิบัติจริงในโรงพยาบาลราชบุรี พบขั้นตอนการดำเนินงาน 11 ขั้นตอน โดยมีลำดับการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1. แพทย์เขียนขออนุมัติใช้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล พร้อมแนบแนวทางการรักษา
- ขั้นตอนที่ 2. เภสัชกรฝ่ายจัดซื้อตรวจสอบรายละเอียดผู้ป่วย, แนวทางการรักษารวมถึงค่านวนราคา
- ขั้นตอนที่ 3. หัวหน้าฝ่ายเภสัชกรรมตรวจสอบรายละเอียดแนวทางการรักษาอีกครั้ง
- ขั้นตอนที่ 4. ผู้อำนวยการโรงพยาบาลตรวจสอบความสมเหตุผลในการใช้ยาดังกล่าว
  - ขั้นตอนที่ 4.1 ไม่อนุมัติ
  - ขั้นตอนที่ 4.2 อนุมัติ

ขั้นตอนที่ 5. เกสซ์กรฝ่ายจัดซื้อทำการจัดซื้อยาตามจำนวนที่ขออนุมัติและถ่ายสำเนาเอกสารใบขออนุมัติให้ห้องจ่ายยา

ขั้นตอนที่ 6. เมื่อเจ้าหน้าที่ของงานบริหารเวชภัณฑ์ได้รับยาจากบริษัทขนส่งยาและทำการจัดส่งยาไปห้องจ่ายยา โดยมีผู้ดูแลควบคุมคลังยาของห้องยานั้นๆเป็นผู้ดูแล

ขั้นตอนที่ 7. เกสซ์กร ณ จุดจ่ายยา เมื่อมีการสั่งใช้ยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล เกสซ์กรปฏิบัติงานงานบริการเภสัชกรรมทำการหาข้อมูลจากเอกสารที่ได้รับการอนุมัติหรือสอบถามข้อมูลจากงานบริหารเวชภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 7.1 ผู้ป่วยได้รับอนุมัติ

ขั้นตอนที่ 7.2 ณ จุดจ่ายยาไม่พบเอกสารการขออนุมัติ (กรณีนี้จะข้ามไปขั้นตอนที่ 10)

ขั้นตอนที่ 8. สามารถจ่ายยาได้

ขั้นตอนที่ 8.1 คือผู้ป่วยได้รับยาครบ (เสร็จสิ้นขบวนการ)

ขั้นตอนที่ 8.2 ผู้ป่วยได้รับยาไม่ครบ

ขั้นตอนที่ 9. คือการออกเอกสารค้างจ่ายและแจ้งให้ผู้ป่วยติดต่อกลับ

ขั้นตอนที่ 10. คือ การออกเอกสารค้างจ่ายและ/หรือแจ้งผู้ป่วยให้ติดต่อกลับเพื่อสอบถามการได้รับอนุมัติ

ขั้นตอนที่ 10.1 ได้รับการอนุมัติ เกสซ์กรจึงสามารถจ่ายยาได้

ขั้นตอนที่ 10.2 ไม่ได้รับอนุมัติ (ในกรณีนี้ผู้ป่วยกลับมาพบแพทย์และเริ่มกระบวนการใหม่)

ขั้นตอนที่ 10.3 ไม่พบเอกสาร

ขั้นตอนที่ 11. ติดต่อแพทย์เพื่อเขียนขออนุมัติการใช้ยาอีกครั้งและกลับไปเริ่มต้นขบวนการใหม่

### 3. การวิเคราะห์ปัญหาการดำเนินงานและข้อเสนอแนะตามการบริหารแบบ 4M

การวิเคราะห์ปัญหาและข้อเสนอแนะจากผู้ให้ข้อมูลโดยใช้การบริหารแบบ 4M พบว่าทั้งปัญหาและข้อเสนอแนะส่วนใหญ่อยู่ในหัวข้อการจัดการ (Management) มากที่สุด ถัดมาเป็นหัวข้อเครื่องมือ (Material) และหัวข้อบุคคล (Man) ตามลำดับ ในส่วนของหัวข้อเงิน (Money) ไม่พบผู้ให้ข้อมูลกล่าวถึงปัญหาในข้อนี้

โดยผู้ให้ข้อมูลกล่าวถึงปัญหาและข้อเสนอแนะในหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. Man (บุคคล) คือ คนทำงาน, พนักงานและบุคลากร ได้แก่

1.1 ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบระบบ หมายถึง ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบขั้นตอนการดำเนินงาน ส่งผลให้การปฏิบัติงานมีความล่าช้า เพราะต้องติดต่อประสานงานหลายฝ่าย

1.2 การไม่ได้รับความร่วมมือจากบุคคลากรภายในโรงพยาบาล ส่งผลให้เพิ่มภาระงานของผู้ปฏิบัติงานในใช้เวลาในการอธิบายให้ผู้ป่วยเข้าใจและต้องติดต่อประสานงานต่อเพื่อให้แพทย์เขียนขออนุมัติการใช้ยา

2. Money (เงิน) คือ เงินทุนหรืองบประมาณ โดยไม่มีการกล่าวถึงปัญหาและข้อเสนอแนะในเรื่องงบประมาณ

3. Material (เครื่องมือ) คือ วัสดุอุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำงานหรือเครื่องใช้ต่างๆในการดำเนินงาน ได้แก่

3.1 โปรแกรมHOSxP ระบุรายการยาที่เป็นยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล โดยเป็นปัญหาการไม่ทราบว่ารายการยาใดเป็นรายการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล ส่งผลให้เกิดการดำเนินงานที่ไม่สะดวกและอาจเกิดความผิดพลาดในการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะ ควรระบุรายการยาที่เป็นยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลให้ชัดเจน

3.2 บัญชีรายการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล (บัญชีรายการยาเฉพาะราย) ข้อเสนอแนะควรให้มีบัญชีรายการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล เพื่อการสืบค้นที่สะดวก

3.3 ระบบการแจ้งเตือนในโปรแกรมHOSxP (POP UP) ข้อเสนอแนะควรเพิ่มระบบแจ้งเตือนในโปรแกรมHOSxP (POP UP) เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการสืบค้นและการติดตามการอนุมัติของผู้ป่วยแล้ว

3.4 แผนผังการดำเนินงาน (Flowchart) ปัญหาการไม่มีแผนผังการดำเนินงาน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบขั้นตอนในการดำเนินงาน ส่งผลให้เสียเวลาในการติดต่อประสานงาน ข้อเสนอแนะควรมีแผนผังการดำเนินงาน (Flowchart) เพื่อเพิ่มความเข้าใจในขั้นตอนการดำเนินงานและเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานเชิงระบบ

4. Management (กระบวนการจัดการ) คือ การจัดการหรือวิธีการดำเนินงาน เพื่อให้งานนั้นๆสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นข้อที่มีกรกล่าวถึงปัญหามากที่สุด และพบข้อเสนอแนะมากที่สุด ได้แก่

4.1 การเขียนขออนุมัติมีความยุ่งยาก ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ให้ความร่วมมือในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล

4.2 ความเหมาะสมของรายการยาในบัญชีรายการยาโรงพยาบาล ปัญหาความไม่เหมาะสมและขาดการปรับปรุงของรายการยาในบัญชีส่งผลให้มีการขออนุมัติมากเกินความจำเป็น ทำให้ยากต่อการบริหารจัดการระบบ ข้อเสนอแนะควรมีการประชุมปรับเปลี่ยนรายการยาทุกปี โดยคำนึงถึงแนวทางการรักษาในปัจจุบันและรายการยาที่มีปริมาณการใช้สูง

4.3 ความล่าช้าในการได้รับยาของผู้ป่วย

4.3.1 ความล่าช้าในการจัดซื้อยา

4.3.1.1 วิธีการจัดซื้อ ปัญหาจากวิธีการจัดซื้อยา เนื่องจากการจัดซื้อด้วยวิธีเฉพาะเจาะจงวงเงินไม่เกิน 100,000 บาทต่อครั้ง มีความรวดเร็วในการจัดซื้อ แต่ปริมาณยาไม่เพียงพอต่อการใช้ โดยมีข้อเสนอแนะควรมีการส่งยามาคงคลังเพื่อลดความล่าช้าในการจัดซื้อ

4.3.1.2 การคาดการณ์ปริมาณยา เนื่องจากเป็นยาที่ไม่มีอัตราการใช้ที่แน่นอน จึงไม่สามารถส่งยามาคงคลังล่วงหน้าได้

4.3.2 ความล่าช้าในขั้นตอนการขออนุมัติ

4.3.2.1 ขั้นตอนการทำงานขึ้นกับปัจเจกบุคคล ปัญหาเนื่องจากขั้นตอนการขออนุมัติผ่านหลายฝ่ายภายในโรงพยาบาล ส่งผลให้ความช้าเร็วขึ้นกับระยะเวลาการทำงานของแต่ละคน

4.3.2.2 การตัดสินใจถึงความสมเหตุสมผลของการใช้ยา ปัญหาความล่าช้าในขั้นตอนการขออนุมัติ ที่เกิดจากการตัดสินใจถึงความสมเหตุสมผลของการใช้ยา เนื่องจากยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลส่วนใหญ่มีข้อมูลของการใช้ยาน้อย ทำให้ใช้เวลานานในการหาข้อมูลและตัดสินใจ ข้อเสนอแนะควรมีคณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญ แพทย์หรือเภสัชกรช่วยตัดสินใจในความสมเหตุของยา ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเรื่องกองทุนต่างๆ

4.4 กระบวนการปฏิบัติงาน

4.4.1 ระบบมีการปฏิบัติงานไม่ชัดเจน

4.4.1.1 การปฏิบัติงานระหว่างบุคลากรภายในโรงพยาบาล เป็นข้อปัญหาที่มีกรกล่าวถึงมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลพบปัญหา คือ การขาดการประสานงานระหว่างบุคลากรภายในโรงพยาบาลเนื่องจากไม่ทราบขั้นตอนการทำงานและต้องการให้ทุกคนในระบบเข้าใจตรงกัน ข้อเสนอแนะควรมีแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการจัดทำแผนผังการดำเนินงาน (Flowchart) เพื่อให้ทราบขั้นตอนการทำงานและทุกคนในระบบสามารถเข้าใจงานตรงกัน นอกจากนี้พบ



ปัญหา คือ ขาดการสื่อสารระหว่างแพทย์และเภสัชกรเรื่องยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล ข้อเสนอแนะควรแก้ไข โดยการจัดทำเอกสารชี้แจงแพทย์เกี่ยวกับยานอกบัญชีโดยมีรายละเอียดถึงยาที่สั่งใช้และสถานะของการขออนุมัติ

4.4.1.2 การปฏิบัติงานระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับผู้ป่วย เป็นข้อปัญหาที่มีกรกล่าวถึงมากที่สุด อีกข้อหนึ่ง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลพบปัญหา คือ ขาดการสื่อสารกับผู้ป่วยเรื่องยานอกบัญชีส่งผลให้ผู้ป่วยไม่เข้าใจและไม่พอใจในการรับยาล่าช้าหรือจำนวนยาไม่ครบ ข้อเสนอแนะควรแก้ไขปัญหาโดยการจัดทำเอกสารชี้แจงผู้ป่วย โดยมีคำอธิบายถึงยาที่ผู้ป่วยได้รับและขั้นตอนการติดต่อกลับโรงพยาบาล

4.4.1.3 การตัดสินใจขณะปฏิบัติงาน เนื่องจากยาส่วนใหญ่มีมูลค่าสูง ทำให้การตัดสินใจในขณะปฏิบัติงานเป็นเรื่องยาก ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานมีความกังวลในการจ่ายยา

4.4.2 การสืบค้นข้อมูล ปัญหาการสืบค้นข้อมูลที่ไม่สะดวกและอาจเกิดการสูญหายของเอกสาร ส่งผลให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดและใช้เวลานานในการสืบค้นข้อมูล ข้อเสนอแนะควรให้มีการลงทะเบียนรับเอกสารที่งานบริหารเวชภัณฑ์ เพื่อได้ทราบขั้นตอนการดำเนินงานของเอกสารและป้องกันการสูญหาย

4.5 การประชุมวางแผนการปฏิบัติงาน เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระบบ

#### 4. การวิเคราะห์ปัญหาในขั้นตอนการปฏิบัติงานของเภสัชกรตามแผนผังการดำเนินงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล (flowchart)

โดยผู้ให้ข้อมูลกล่าวถึงปัญหาในขั้นตอนของการปฏิบัติงานของเภสัชกร พบขั้นตอนที่มีปัญหามากที่สุดได้แก่ ขั้นตอนที่ 7. เภสัชกร ณ จุดจ่ายยา โดยกล่าวว่าไม่มีระบบฐานข้อมูลในการสืบค้นที่สะดวก แนวทางแก้ไขโดยการทำระบบแจ้งเตือนในโปรแกรม HOSxP (POP UP) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสืบค้นข้อมูลได้สะดวกขึ้น โดยสามารถติดตามสถานะการอนุมัติรวมถึงการแจ้งรายละเอียดการอนุมัติและรายการยาในระบบ HOSxP ควรระบุให้ชัดเจนว่ารายการยาใดเป็นยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังกล่าวว่าการตัดสินใจขณะปฏิบัติงานเป็นเรื่องยาก เนื่องจากพบกรณียารอการอนุมัติแต่แพทย์ต้องการใช้ขณะนั้น สร้างความลำบากใจแก่ผู้ปฏิบัติงาน แนวทางแก้ไขโดยการจัดประชุมหาข้อตกลงรายการยาเร่งด่วน โดยรายการยาเร่งด่วนคือยาที่สามารถจ่ายยาได้ไม่ต้องรอการอนุมัติและรายการยาเร่งด่วนต้องมีสำรองคงคลังในโรงพยาบาล แต่รายการยานอกเหนือรายการยาดังกล่าวต้องดำเนินการตามขั้นตอนการปฏิบัติงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล

### สรุป

แนวทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลภายหลังทวนสอบกับผู้ให้ข้อมูล เมื่อนำปัญหาและข้อเสนอแนะที่มีความถี่มากที่สุดจากการจัดหมวดหมู่ของปัญหาตามการบริหารแบบ 4M และจากขั้นตอนการปฏิบัติงาน วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาจนได้ระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลที่พัฒนา พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการนำไปสอบถามผู้ให้ข้อมูลอีกครั้งพบระบบที่ได้รับการพัฒนา แบ่งเป็น

#### 1. เจริญระบบ

1.1 การประชุมปรับเปลี่ยนรายการยาในบัญชีรายการยาโรงพยาบาลอย่างน้อยปีละ 1 ครั้งโดยคำนึงถึงแนวทางการรักษาในปัจจุบันและรายการยาที่มีปริมาณการใช้ยาสูง

1.2 การประชุมตกลงรายการยาเร่งด่วน โดยรายการยาดังกล่าวสามารถจ่ายยาได้โดยไม่ต้องรอการอนุมัติและรายการยาดังกล่าวต้องมีสำรองในโรงพยาบาล

2. เครื่องมือสนับสนุนระบบ
    - 2.1 เอกสารชี้แจงแพทย์ เพื่อใช้ประสานงานกับแพทย์ผู้สั่งใช้ยา
    - 2.2 เอกสารชี้แจงผู้ป่วย เพื่ออธิบายชี้แจงเกี่ยวกับยาที่ผู้ป่วยได้รับ
    - 2.3 ระบบแจ้งเตือนในโปรแกรม HOSxP (POP UP) โดยสามารถติดตามการอนุมัติพร้อมทั้งข้อมูลยาและจำนวนยาที่ได้รับอนุมัติ
    - 2.4 โปรแกรมHOSxP ระบุรายการยาที่เป็นยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล
    - 2.5 ผังการดำเนินงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาล (flowchart)
- โดยมีการพัฒนาผังการดำเนินงานในระบบบริหารจัดการยานอกบัญชีรายการยาโรงพยาบาลภาพรวมระบบและงานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยนอกและงานบริการเภสัชกรรมผู้ป่วยใน โดยการนำระบบแจ้งเตือนในโปรแกรม HOSxP (POP UP) ในการติดตามสถานะการได้รับอนุมัติและช่วยในการสืบค้นรายละเอียดการอนุมัติ เช่น ผู้ป่วยที่ได้รับการอนุมัติ, รายการยาที่ได้รับอนุมัติ, จำนวนหรือระยะเวลาที่ขออนุมัติ เป็นต้น นอกจากนี้ได้นำสื่อโซเชียลมีเดียมาประยุกต์โดยการลงรูปเอกสารที่ได้รับการอนุมัติลงแอปพลิเคชันไลน์กลุ่มงานเภสัชกรรมแยกไปตามชื่อยาเพื่อการสืบค้นข้อมูลที่สะดวก โดยผังการดำเนินงาน (flowchart) ได้มีการระบุในแต่ละขั้นตอนถึงการดำเนินงานและการแนบเอกสารชี้แจงแพทย์หรือผู้ป่วยเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2542). *การพัฒนาประสิทธิภาพระบบบริหารเวชภัณฑ์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก
- งานบริหารเวชภัณฑ์ โรงพยาบาลราชบุรี. (2560). *รายงานมูลค่าการจัดซื้อจัดจ้างประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560* งานบริหารเวชภัณฑ์. ราชบุรี: งานบริหารเวชภัณฑ์
- จรรยาพร ศรีศัลลักษณ์, และอภิญา ตันทวีวงศ์. (2551). *R2R Routine to Research สยบงานจำเจด้วยการวิจัย สู่อุทิศโลกใหม่ของงานประจำ*. (1). นนทบุรี: สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.).
- มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์. (2559). *คัดเลือกยาคุณภาพเข้าโรงพยาบาลได้อย่างไร*. ค้นจาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/329/วิธีคัดเลือกยาเข้าโรงพยาบาล/>.
- สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.). (2559). *เทรนด์การวิจัยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง*. ค้นจาก <https://www.hsri.or.th/researcher/research/trend/detail/4999>.
- สมาคมเภสัชกรรมโรงพยาบาล (ประเทศไทย). (2542). *คู่มือมาตรฐานวิชาชีพเภสัชกรรมโรงพยาบาล*. กรุงเทพฯ: จันทรม่วงการพิมพ์.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2560). *หลักการยาจำเป็นในระดับสากล*. ค้นจาก [http://drug.fda.moph.go.th:81/nlem.in.th/sites/default/files/04\\_hlakkaarsaaklkhnged\\_0.pdf](http://drug.fda.moph.go.th:81/nlem.in.th/sites/default/files/04_hlakkaarsaaklkhnged_0.pdf).
- สำนักยา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. (2556). *บัญชียาหลักแห่งชาติ พ.ศ.2556*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

# การทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง

## Partial Replacement of Pork with Banana Blossom in Chinese Sausage

รุ่งนภา อ่อนชู<sup>1</sup> และ ประสงค์ ศิริวงศิริไลชาต<sup>1</sup>

Rungnapa Onchoo<sup>1</sup> and Prasong Siriwongwilaichat<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมหัวปลี และการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง จากการทดลองแช่หัวปลีหั่นในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 0.5, 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามด้วยการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที พบว่า การแช่หัวปลีในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการลวก สามารถลดค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index) ได้มากที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) การทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลี 3 ระดับ คือ ร้อยละโดยน้ำหนัก 30, 40 และ 50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สามารถทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียงได้ถึงร้อยละ 40 โดยผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากกุนเชียงสูตรควบคุม ( $p > 0.05$ )

**คำสำคัญ :** กุนเชียง, หัวปลี, พอลิฟีนอลออกซิเดส

### Abstract

The objective of this research was to study the preparation of banana blossom and replacing pork with banana blossom in Chinese sausage. According to pretreatments of banana blossom slices by soaking in citric acid solution concentration of 0.5, 1.0, and 2.0% w/w followed by blanching in boiling water for 10 minutes, the results revealed that soaking the banana blossom slices in 1% citric acid solution for 10 minutes before blanching was the most suitable condition for reducing the browning index value ( $p \leq 0.05$ ). Replacing pork in Chinese sausage with banana blossom slices at 30, 40 and 50%w/w, the sensory evaluation indicated that the replacement was acceptable up to 40% with no significant difference in acceptance score as compared to the control.

**Keyword :** Chinese sausage, banana blossom, antibrowning, pork replacement

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

## บทนำ

กุนเชียงหมูเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผู้บริโภครู้จักเป็นอย่างดี และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย เนื่องจากมีรสชาติอร่อย และรับประทานได้ง่าย องค์ประกอบในการทำกุนเชียงประกอบไปด้วยส่วนผสมหลัก คือ เนื้อหมูปูด และมันหมู ผสมกับน้ำตาลและเครื่องเทศต่างๆ ทำการบรรจุใส่แล้วนำไปอบแห้งหรือตากแดด แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์กุนเชียงในปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันอิ่มตัว และคอเลสเตอรอลสูง (ศิริลดา, 2561) จึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ในปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากผู้บริโภคมีความรู้ความเข้าใจในการบริโภคมากขึ้น อาหารที่มีพืชเป็นองค์ประกอบหลัก (Plant-Based Food) จึงกำลังได้รับความนิยมเนื่องจากการบริโภคในปัจจุบันผู้บริโภคไม่ได้ต้องการแค่ความอร่อยเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงเรื่องสุขภาพในระยะยาวอีกด้วย

หัวปลีจึงเป็นพืชที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาไม่สูง แต่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต วิตามินต่างๆ และยังเป็นแหล่งของใยอาหาร (Kanchana และ Senaratne, 2005) แต่ปัญหาของหัวปลี คือ การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) เกิดจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเซลล์ของผัก หรือผลไม้ถูกบด หั่น หรือสับ ทำให้เอนไซม์ สารที่ทำปฏิกิริยา (substrate) และออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกัน สาร monophenol (ไม่มีสี) จะถูกออกซิไดซ์ เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2563) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์กุนเชียงให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน จึงได้ศึกษาการทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลในหัวปลีและศึกษาปริมาณหัวปลีที่เหมาะสมในการทดแทนเนื้อหมูในผลิตภัณฑ์กุนเชียง

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมหัวปลีเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาล
2. เพื่อศึกษาปริมาณหัวปลีที่เหมาะสมในการทดแทนเนื้อหมูในผลิตภัณฑ์กุนเชียง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. วัตถุดิบ

หัวปลีที่ใช้ในงานวิจัยเป็นหัวปลีกล้วยน้ำว้าท่าयाง หรือพันธุ์กาบขาว ซึ่งนิยมปลูกในเขตอำเภอท่าयाง จังหวัดเพชรบุรี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากคุณเสรี โค้วได้ สวณกล้วยจังหวัดเพชรบุรี

### 2. การศึกษาวิธีการเตรียมหัวปลี และวิธีการยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

ศึกษาวิธีการเตรียมหัวปลี โดยการหั่นหัวปลีในแนวตามขวาง ความหนา 2 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ด้วยอัตราส่วนหัวปลีต่อน้ำ เป็น 1:3 เป็นเวลา 5 และ 10 การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

นาที่ และลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แช่น้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ บดละเอียดด้วยเครื่อง Blender เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปวัดค่าสี L\*, a\*, b\* ด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta (CR-400) ที่เวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง คำนวณหาค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index) ตามวิธีของ Palou และคณะ (1999) ทำการทดลอง 2 ครั้ง

$$\begin{aligned} \text{ค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index : BI)} &= [100 * (X - 0.31)] / 0.172 \\ \text{เมื่อ } X &= (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*) \end{aligned}$$

ตารางที่ 1 แผนการทดลองการเตรียมหัวปลีและการยับยั้งเอนไซม์

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (%)	เวลาแช่ (นาที)	เวลาลวก (นาที)
Control	-	-	10
T1	0.5	5	10
T2	0.5	10	10
T3	1	5	10
T4	1	10	10
T5	2	5	10
T6	2	10	10

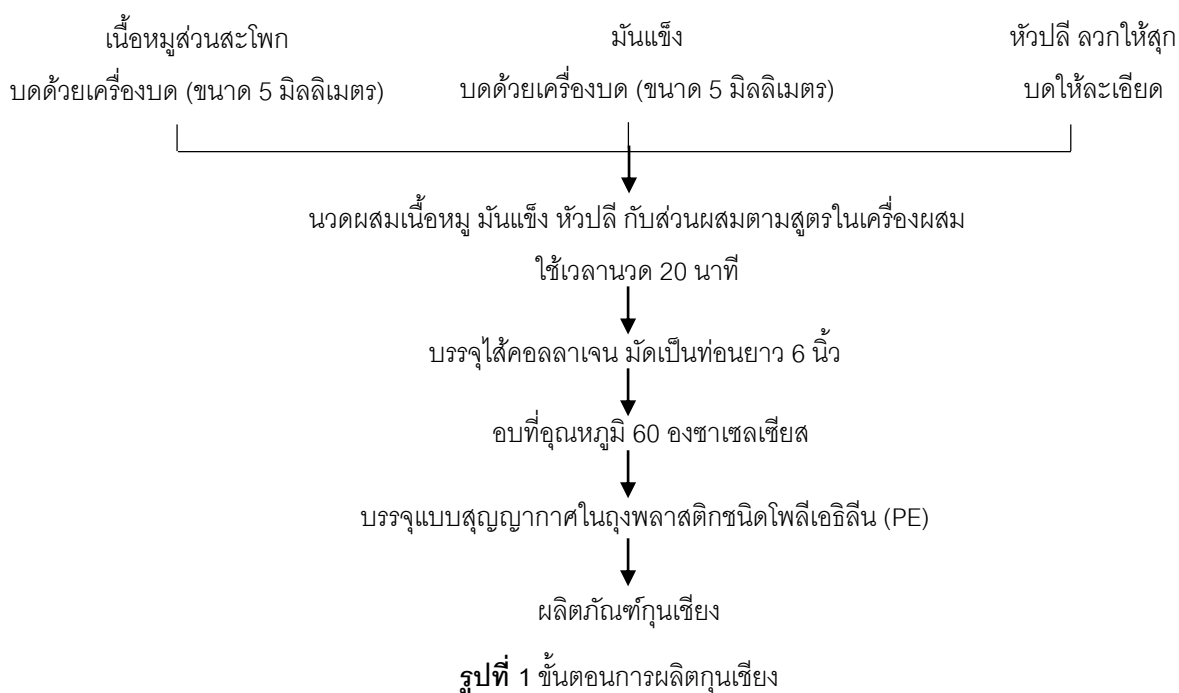
### 3. การศึกษาวิธีการผลิตกุนเชียงทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลี

ศึกษาสูตร วิธีการผลิตกุนเชียง และระดับการทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 ทดแทนในผลิตภัณฑ์กุนเชียง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30, 40 และ 50 ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray drying) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อยจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.86 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.103/2555)

ส่วนผสม (กรัม)	สูตรควบคุม	สูตร 30%	สูตร 40%	สูตร 50%
เนื้อหมูบด	900	630	540	450
มันแข็ง	100	70	60	50
หัวปลี	0	300	400	500
โซเดียมไนไตรท์	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
น้ำตาล	270	270	270	270
เกลือ	10	10	10	10
ซีอิ๊วขาว	15	15	15	15
ผงพะโล้	2	2	2	2
แป้งข้าวโพด	15	15	15	15

ตารางที่ 2 แผนการทดลองการผลิตกุนเชียง

หมายเหตุ : สูตรควบคุม = ไม่เติมหัวปลี, สูตร 30% = ทดแทนเนื้อหมูและมันแข็งด้วยหัวปลี 30%, สูตร 40% = ทดแทนเนื้อหมูและมันแข็งด้วยหัวปลี 40% และ สูตร 50% = ทดแทนเนื้อหมูและมันแข็งด้วยหัวปลี 50%



#### 4. ศึกษาการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กุนเชียงทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลี

ทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่มีปริมาณหัวปลีที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยใช้ผู้บริโภคร่วมไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 60 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (สี, กลิ่นรส, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม)

### 5. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ  $p \leq 0.05$  และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test และวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical package for the social sciences (IBM SPSS version 20.0 for windows)

## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการศึกษาวิธีการเตรียมหัวปลี และยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

การเตรียมหัวปลีโดยการหั่นหัวปลีในแนวตามขวางความหนา 2 มิลลิเมตร แขนในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ด้วยอัตราส่วนหัวปลีต่อน้ำ เป็น 1:3 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แขน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ บดละเอียดด้วยเครื่อง Blender 3 นาที นำไปวัดค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ด้วยเครื่องวัดสี ที่เวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง คำนวณค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index) ผลแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของตัวอย่างหัวปลีลวก (Browning Index : BI)

ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล						
Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6
30.36±2.18 <sup>a</sup>	27.75±0.60 <sup>c</sup>	29.31±0.70 <sup>b</sup>	25.63±0.85 <sup>d</sup>	22.91±0.68 <sup>e</sup>	26.40±0.82 <sup>d</sup>	22.93±0.93 <sup>e</sup>

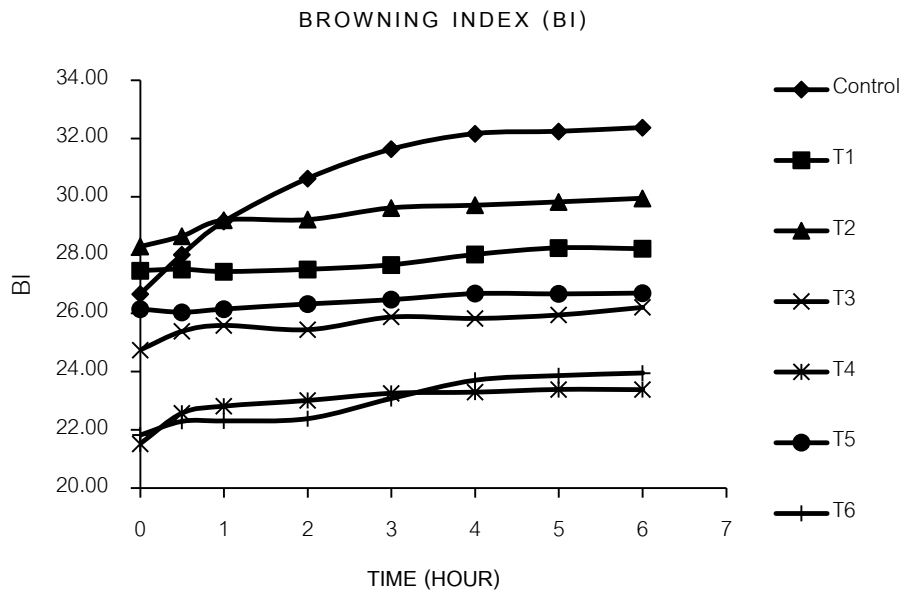
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a-e</sup>ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อนำหัวปลีหั่นตามขวาง หนา 2 มิลลิเมตร แขนในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 10 นาที แล้วลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แขน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ เมื่อนำไปวัดค่าสีเพื่อคำนวณค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล พบว่า มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล เท่ากับ  $22.95 \pm 0.68$  ซึ่งมีค่าต่ำสุด เนื่องจากหัวปลีมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase : PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุให้หัวปลีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แต่เอนไซม์นี้จะทำงานได้ช้าลงเมื่อมีสภาวะไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรดต่ำที่เปลี่ยนไป หรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Whitaker (1995) พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส เนื่องจากเป็นเอนไซม์ประเภทไม่ทนความร้อน (low heat stability) โดยโครงสร้างสามมิติของเอนไซม์จะเสียสภาพที่อุณหภูมิสูง และ เกียรติศักดิ์ (2551) รายงานว่า กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulants สารกลุ่มนี้จะช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดต่ำของอาหาร เมื่อค่า pH ของระบบต่ำกว่า 4.0 เอนไซม์จะทำงานได้ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 10

ค่า optimum pH ของเอนไซม์อยู่ในช่วง 4.0-8.0 นอกจากนี้การที่เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสมีทองแดงที่บริเวณ active site การใช้กรดซัลฟิวริกช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้เนื่องจากกรดซัลฟิวริกจะทำหน้าที่เป็น chelator ในการจับกับทองแดงในโครงสร้างของเอนไซม์



รูปที่ 2 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของตัวอย่างห้วปลีลวก

จากการคำนวณค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของห้วปลี ดังรูปที่ 2 การแช่สารละลายกรดซัลฟิวริกร่วมกับการลวกในน้ำเดือด พบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปถึงชั่วโมงที่ 4 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเริ่มคงที่ โดยการแช่ห้วปลีในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 10 นาที แล้วลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด เท่ากับ  $22.95 \pm 0.68$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมฤดี (2553) ที่ได้ศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในกล้วยน้ำว้า พบว่า การใช้กรดซัลฟิวริก หรือกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นในช่วง 0.5-1.5 % (w/v) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิ 80 °C นาน 10 นาที สามารถยับยั้ง activity ของ crude PPO จากเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกได้อย่างสมบูรณ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Palou และคณะ (1999) พบว่า ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล จะบ่งบอกถึงกระบวนการใช้เอนไซม์ และไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างการเก็บรักษา โดยจะแปรผลจากระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเกิดสีน้ำตาล (BI>0) ถ้าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแสดงว่ายังมีกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้น

## 2. ผลการศึกษาวิธีการผลิตกุนเชียงทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยห้วปลี

ผลการศึกษาาระดับการทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยห้วปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30, 40 และ 50 ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray drying) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.86 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.103/2555) แสดงดังตารางที่ 4



สิ่งทดลอง	$a_w^{ns}$	เวลาอบแห้ง (ชม.)
สูตรควบคุม	0.764 ± 1.35	43.0 ± 2.21 <sup>a</sup>
สูตร 30%	0.772 ± 0.72	43.5 ± 2.83 <sup>a</sup>
สูตร 40%	0.788 ± 1.41	44.5 ± 3.54 <sup>a</sup>
สูตร 50%	0.810 ± 0.62	50.0 ± 0.71 <sup>b</sup>

ตารางที่ 4 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และระยะเวลาในการอบแห้งกุ้งเชียง

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
<sup>ns</sup> ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
<sup>a, b</sup> ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

กุ้งเชียงสูตรที่มีการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีร้อยละ 30, 40 และ 50 มีค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.772 ± 0.72, 0.788 ± 1.41 และ 0.810 ± 0.62 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง เท่ากับ 43.5 ± 2.83, 44.5 ± 3.54 และ 50.0 ± 0.71 ตามลำดับ โดยปริมาณหัวปลีที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งกุ้งเชียง เนื่องจากหัวปลีลวกมีปริมาณความชื้นสูงกว่าเนื้อหมู ดังนั้นเมื่อมีการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความชื้นเริ่มต้นของกุ้งเชียงสูงกว่าสูตรที่มีการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีในสัดส่วนที่น้อยกว่า จึงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น

### 3. ผลการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กุ้งเชียงทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลี

เมื่อนำกุ้งเชียงสูตรที่มีการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีร้อยละ 30, 40 และ 50 มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลทดสอบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบต่อกุ้งเชียงทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีที่ระดับต่างๆ

สิ่งทดลอง	สี	กลิ่นรส <sup>ns</sup>	รสชาติ <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
Control	7.37 ± 0.99 <sup>a</sup>	6.77 ± 1.07	7.53 ± 0.86	7.60 ± 0.72 <sup>a</sup>	7.47 ± 0.82 <sup>a</sup>
30%	7.17 ± 0.65 <sup>ab</sup>	6.87 ± 0.82	7.47 ± 0.78	7.53 ± 0.51 <sup>a</sup>	7.33 ± 0.66 <sup>a</sup>
40%	7.13 ± 0.68 <sup>ab</sup>	6.80 ± 0.89	7.10 ± 0.76	7.27 ± 0.71 <sup>ab</sup>	7.30 ± 0.65 <sup>a</sup>
50%	6.93 ± 0.64 <sup>b</sup>	7.13 ± 0.17	7.17 ± 0.87	6.93 ± 0.89 <sup>b</sup>	6.67 ± 0.91 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
<sup>ns</sup> ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a, b ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวแสดงว่ามีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

จากการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียงทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลี พบว่า กุนเชียงสูตรทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีร้อยละ 30 และ 40 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี, กลิ่นรส, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากสูตรควบคุม ส่วนกุนเชียงสูตรทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลีร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้น จึงสามารถทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีในกุนเชียงได้ถึงร้อยละ 40

## บทสรุป

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การแช่หัวปลีในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 10 นาที ร่วมกับการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที สามารถลดค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index) ได้ดีที่สุด ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่มีการทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลี พบว่า สามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 40 โดยผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากการประเมินทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากสูตรกุนเชียงควบคุมที่ไม่ได้มีการทดแทนเนื้อหมูด้วยหัวปลี

## คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณเสรี คุ้มไฉ่ และครอบครัว ที่ให้ความอนุเคราะห์หัวปลีในการวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. (2551). พอลิฟีนอลออกซิเดสและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 36(2) : 97-105.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนปนนท์. (2562). *ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์*. สืบค้น 12 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://www.foodnetworksolution.com>
- ศิริลดา ศรีอกก. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาสดไขมันโดยใช้แบ่งกล้วยน้ำว้าและคาราจีแนนเป็นสารทดแทนไขมัน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.* 23(1) : 459-470.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกุนเชียงหมู*. มผช.103/2555. สืบค้น 12 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://tcps.tisi.go.th>
- สมฤดี ไทพาณิชย์ และธิดารัตน์ แย้มอาษา. (2553). คุณลักษณะของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในกล้วยน้ำว้า *Musa sapientum* Linn.. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม.* 5(1) : 54-63.
- Kanchana S. W. and Senaratne L. R. (2005). Preservation of fiber rich banana blossom as a dehydrated vegetable. *ScienceAsia.* 31 (2005): 265-271. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2005.31.265

- Palou, E., A. López-Malo, G. V. Barbosa-Cnovas, J. Welti-Chanes, and B. G. Swanson. (1999). Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Science*. 64: 42-45.
- Whitaker, J. R. (1995). *Polyphenol oxidase*. Food Enzymes, Structure and Mechanism. 271-307.

## พลาสมาเกล็ดเลือดเข้มข้นกระตุ้นการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อจากโรคข้อเข่าเสื่อม

Platelet rich plasma promotes migration and proliferation of chondrocytes and fibroblast-like synoviocytes isolated from patients with osteoarthritis

สุภัทรา ผาคำ<sup>1</sup>, ตง เจิน<sup>1</sup>, อารี ตनावาลี<sup>2</sup>, สีหัทธงามอุไซงะ<sup>2</sup>, รังสิมา เหยียญตระกูล<sup>3</sup> และสิทธิศักดิ์ หรรษาเวก<sup>1</sup>

Suphattra Phakham<sup>1</sup>, Dong Zhan<sup>1</sup>, Aree Tanavalee<sup>2</sup>, Srihatach Ngarmukos<sup>2</sup>, Rangsima Reantragoon<sup>3</sup>, and Sittisak Honsawek<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

**เหตุผลของการวิจัย:** มีการศึกษาผลของการใช้พลาสมาเกล็ดเลือดเข้มข้น (platelet rich plasma, PRP) ในทางการแพทย์โดยเฉพาะการนำมาใช้ในโรคกระดูกกล้ามเนื้อและข้อ รวมถึงในโรคข้อเสื่อมด้วย แต่ผลการศึกษาเรื่องกลไกของ PRP ต่อผลการรักษายังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาผลของ PRP เปรียบเทียบกับ platelet poor plasma (PPP) และ fetal bovine serum (FBS) ต่อการเคลื่อนตัว (migration) และการเพิ่มจำนวน (proliferation) ของเซลล์กระดูกอ่อน (osteoarthritic chondrocytes) และเซลล์เยื่อข้อ (osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes) ที่แยกได้จากผู้ป่วยโรคข้อเสื่อม (osteoarthritis)

**วิธีการทำวิจัย:** เซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อแยกจากผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมถูกเลี้ยงในอาหารที่ผสม 10%PRP, 10% PPP หรือ 10%FBS การเพิ่มจำนวนและการเคลื่อนตัว ถูกทดสอบด้วยวิธี scratch assay และ MTT assay ตามลำดับ

**ผลการศึกษา:** PRP มีจำนวนเกล็ดเลือดมากกว่า PPP และเมื่อนำมาผสมกับอาหารเลี้ยงเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อพบว่าเซลล์เยื่อข้อที่ได้รับ PRP มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP อย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อ ที่ได้รับ PRP มีการเพิ่มจำนวนมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP อย่างมีนัยสำคัญ

**สรุป:** PRP ซึ่งมีปริมาณเกล็ดเลือดมากกว่า PPP สามารถกระตุ้นการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อได้มากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณ cytokines ที่ปล่อยออกมาจากเกล็ดเลือด โดยผลการศึกษาวิจัยในทางคลินิกยังต้องเก็บข้อมูลวิเคราะห์เพิ่มเติมต่อไป

**คำสำคัญ :** พลาสมาเกล็ดเลือดเข้มข้น, เซลล์กระดูกอ่อน, เซลล์เยื่อข้อ, โรคข้อเสื่อม, การเคลื่อนตัวของเซลล์, การเจริญเติบโตของเซลล์

## Abstract

**Background:** Platelet rich plasma (PRP) has been applied to many clinical studies including osteoarthritis, but the mechanism of PRP on cell activities is still controversial.

**Objectives:** This study aimed to investigate the effects of PRP compared with platelet poor plasma (PPP) and fetal bovine serum (FBS) on cell proliferation and cell migration of osteoarthritic chondrocytes and osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes isolated from osteoarthritis patients.

**Methods:** Osteoarthritic chondrocytes and osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes were cultured and treated with 10%PPP, 10%PRP or 10%FBS. Cell migration and cell proliferation were evaluated by scratch assay and MTT assay, respectively.

**Results:** Platelet numbers in PRP were significantly higher than PPP. PRP significantly promote cell migration of osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes and significantly promote cell proliferation in both osteoarthritic chondrocytes and osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes.

**Conclusion:** Our study found that PRP promoted cell migration and proliferation of osteoarthritic chondrocytes and osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes isolated from patient with osteoarthritis. It might be that PRP has platelet numbers above the baseline level in peripheral blood and releases several cytokines that induce cell proliferation and cell migration. Further study of PRP in clinical application will be needed.

**Keyword:** Platelet rich plasma, Chondrocytes, Synoviocytes, Osteoarthritis, Migration, Proliferation

<sup>1</sup> หน่วยวิจัยโรคข้อเสื่อมและโรคทางกระดูกและกล้ามเนื้อ ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Osteoarthritis and Musculoskeleton Research Unit, Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup> ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Department of Orthopaedics, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>3</sup> ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

## บทนำ

โรคข้อเสื่อม (osteoarthritis, OA) เป็นโรคที่กระดูกอ่อนผิวข้อถูกทำลาย เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น อายุมากขึ้น น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น การลดลงของน้ำไขข้อ ความอ่อนแอของกล้ามเนื้อรอบข้อ การเสียดสีของข้อจากการใช้งาน การเกิดเนื้องอกบริเวณข้อ การได้รับบาดเจ็บบริเวณข้อ รวมถึงปัจจัยทางพันธุกรรม (Michael et al., 2010) โดยโรคข้อเสื่อมพบได้มากในบริเวณ ข้อเข่า ข้อมือ และข้อสะโพก ตามลำดับ มักพบในผู้สูงอายุที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป (Hunter and Bierma-Zeinstra, 2019) ผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมมักจะมีอาการปวดข้อ ข้อฝืด การใช้งานติดขัด (Michael et al., 2010) และมักพบการอักเสบในบริเวณข้อด้วย (Monemdjou et al., 2010) ในการวินิจฉัยโรคข้อเสื่อมสามารถทำได้โดยการซักประวัติ ตรวจร่างกาย ทดสอบสมรรถภาพการเคลื่อนไหวของข้อ และใช้ภาพถ่ายรังสี สำหรับการรักษาในปัจจุบันมักมุ่งเน้นเพื่อบรรเทาอาการและชะลอการดำเนินของโรค เช่น ให้น้ำยาบรรเทาอาการปวด กายภาพบำบัด ฉีดสารหล่อลื่นข้อ การใช้เซลล์บำบัด และการใช้พลาสมาเกล็ดเลือดเข้มข้น หรือ Platelet rich plasma (PRP) เพื่อกระตุ้นการฟื้นฟูและการเจริญเติบโตของเซลล์กระดูกอ่อน และเซลล์ในข้อเป็นต้น ซึ่งถ้าหากวิธีดังกล่าวมาไม่ได้ผลอาจพิจารณาผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมได้

PRP คือ พลาสมาที่มีปริมาณเกล็ดเลือดมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติในกระแสเลือด ได้จากการปั่นแยก peripheral blood และถูกนำมาใช้งานในทางคลินิกเพื่อหวังผลในการลดการอักเสบ บรรเทาอาการปวด และกระตุ้นการซ่อมแซมของเนื้อเยื่อ (Wu et al., 2016) อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งมีข้อโต้แย้งในประสิทธิภาพของ PRP อยู่บ้าง ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น เทคนิควิธีที่ใช้ในการเตรียม PRP และปัจจัยจากผู้บริจาคเลือด เช่น เพศ อายุ ปริมาณเกล็ดเลือด เป็นต้น การศึกษาจึงนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ PRP ต่อการเคลื่อนไหวตัวและการเพิ่มจำนวนของเซลล์กระดูกอ่อน และเซลล์เยื่อข้อจากผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมในหลอดทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปศึกษาในผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของ PRP เปรียบเทียบกับ platelet poor plasma (PPP) และ fetal bovine serum (FBS) ต่อการเคลื่อนไหวตัวและเพิ่มจำนวนของเซลล์กระดูกอ่อน และเซลล์เยื่อข้อ ที่แยกได้จากผู้ป่วยโรคข้อเสื่อม

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เก็บตัวอย่างจากผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจำนวน 22 ราย โดยทำการเก็บพลาสมาจากผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมจำนวน 20 ราย และเก็บกระดูกอ่อนผิวข้อและเยื่อข้อจากผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมจำนวน 2 รายที่เข้ารับการรักษาผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม

## การเก็บตัวอย่างพลาสมา

เกณฑ์การคัดเลือก (inclusion criteria) ของผู้ป่วยที่ทำการเก็บพลาสมา ได้แก่ เป็นผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมเพศหญิง อายุ 50 – 80 ปี ที่ได้รับการประเมินความรุนแรงของโรคตามเกณฑ์ของ Kellgren และ Lawrence (Kellgren and

Lawrence, 1957) อยู่ในระดับ 1-2 เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) คือผู้ป่วยโรคข้อชนิดอื่น เช่น โรคข้ออักเสบ ข้อติดแข็ง รูมาตอยด์ มะเร็งกระดูก มีประวัติการผ่าตัด หรือได้รับบาดเจ็บรุนแรงที่ข้อเข้าจำนวน 20 ราย

เก็บเลือดจากผู้ป่วย 35 ml ใน serum separated tube (SST) ปั่นที่ความเร็ว 1,000 rpm เก็บส่วนใสด้านบนมาปั่นอีกครั้งที่ความเร็ว 2,000 rpm เก็บ PPP จากพลาสมา 2/3 ส่วนบน และเก็บ PRP จากพลาสมา 1/3 ส่วนล่าง

### การเพาะเลี้ยงเซลล์กระดูกอ่อนเซลล์เยื่อข้อ

เกณฑ์การคัดเลือก (inclusion criteria) ของผู้ป่วยที่ทำการเก็บเซลล์กระดูกอ่อนผิวข้อและเซลล์เยื่อข้อ ได้แก่ เป็นผู้ป่วยโรคข้อเข้าเสื่อมที่ได้รับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข้า (total knee replacement) เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) คือผู้ป่วยโรคข้อชนิดอื่น เช่น โรคข้ออักเสบ ข้อติดแข็ง ข้อรูมาตอยด์ มะเร็งกระดูก มีประวัติการผ่าตัด หรือได้รับบาดเจ็บรุนแรงที่ข้อเข้าจำนวน 2 ราย

เก็บเซลล์กระดูกอ่อนโดยตัดกระดูกอ่อนผิวข้อ (articular cartilage) ให้มีขนาด 1x1x1 mm ย่อยด้วยเอนไซม์ proteinase 10 mg/ml เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ collagenase type II 3.33 mg/ml เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมงตามลำดับ กรองผ่าน cell strainer ขนาด 40  $\mu$ m และเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ (DMEM/F-12, 10% FBS, penicillin 100 units/ml, streptomycin 0.1 mg/ml และ amphotericin B 0.25  $\mu$ g/ml)

เก็บเซลล์เยื่อข้อโดยตัดเนื้อเยื่อข้อ (synovial tissue) ให้ละเอียดแล้วย่อยด้วย 0.1% Trypsin ใน phosphate buffer saline (PBS) เป็นเวลา 90 นาที และ collagenase 3.33 mg/ml เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองผ่าน cell strainer ขนาด 40  $\mu$ m และเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ (DMEM-HG, 10% FBS, penicillin 100 units/ml, streptomycin 0.1 mg/ml และ amphotericin B 0.25  $\mu$ g/ml)

โดยในศึกษานี้จะใช้เซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อ passage ที่ 2-4 ในการทดสอบการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนของเซลล์

### การนับจำนวนเกล็ดเลือด

เลือดของอาสาสมัครและ PRP ที่เตรียมได้ถูกจัดเก็บส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อนับจำนวนความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Complete Blood Count: CBC และ platelet count) ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

### วัดการเคลื่อนตัวของเซลล์ด้วย scratch assay

เพาะเลี้ยงเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อลงใน 6-well plates ที่ความหนาแน่น  $5 \times 10^5$  cells/ml ปริมาตร 2 ml/well บ่มที่ 37°C เป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นใช้ pipette tip ชีดแนวตรงให้เกิดช่องว่างระหว่างกลุ่มเซลล์ ล้างด้วย PBS buffer pH 7.4 จำนวน 2 รอบ เติมหาอาหารเลี้ยงที่ผสม 10% FBS, 10% PPP หรือ 10% PRP (โดย PPP และ PRP ได้ถูกนำไป sonicate ที่ความถี่ 20 kHz เป็นเวลา 30 นาที) และผสม heparin 2 unit/ml ในอาหารเลี้ยงแต่ละชนิด จากนั้นถ่ายรูปและวัดระยะห่างของช่องว่างระหว่างกลุ่มเซลล์ ที่ 0, 24 และ 48 ชั่วโมงด้วยโปรแกรม ImageJ และทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

## วัดการเพิ่มจำนวนของเซลล์ด้วย 3-4,5 dimethylthiazol-2, 5 diphenyl tetrazolium bromide (MTT) assay

เพาะเลี้ยงเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อไขข้อลงใน 96-well plates จำนวน 1,000 cells/well ในอาหารเลี้ยงเซลล์ผสม 10% FBS บ่มที่ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อให้เซลล์เกาะกับจานเลี้ยงเซลล์ จากนั้นเปลี่ยนเป็นอาหารเลี้ยงที่ผสม 10% FBS, 10% PPP หรือ 10% PRP บ่มเป็นเวลา 0, 3, 6 และ 9 วัน เมื่อครบเวลาที่กำหนดเติมสารละลาย MTT 5 mg/ml และบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการเพิ่มจำนวนของเซลล์ เติม dimethyl sulfoxide (DMSO) 100  $\mu$ l เพื่อละลายผลิตภัณฑ์ formazan และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

### การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้โปรแกรม SPSS version 22.0 ในการเปรียบเทียบจำนวนเกล็ดเลือด อัตราการเพิ่มจำนวน และการเคลื่อนตัวของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อไขข้อในกลุ่มต่าง ๆ โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ Student paired *t*-test ในการเปรียบเทียบจำนวนเกล็ดเลือดใน PPP และ PRP ใช้การวิเคราะห์ค่าสถิติ one-way ANOVA และ Tukey's post hoc test ในการเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนตัวและอัตราการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ใช้ค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ *P*-value < 0.05 และใช้โปรแกรม GraphPad Prism 7 ในการวาดกราฟข้อมูล

### ผลและวิจารณ์

#### ข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัครและปริมาณเกล็ดเลือด

อาสาสมัครในการศึกษานี้ทั้งหมด 20 รายมีอายุเฉลี่ย  $68.00 \pm 8.84$  ปี และมีดัชนีมวลกาย (body mass index, BMI)  $25.71 \pm 4.41$  kg/m<sup>2</sup> สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าโรคข้อเสื่อมพบมากในผู้สูงอายุ และน้ำหนักตัวมีผลต่อการเกิดโรค (Michael et al., 2010) เมื่อทำการนับจำนวนเกล็ดเลือด พบว่า PRP มีเกล็ดเลือดเฉลี่ย  $4.29 \pm 1.27 \times 10^5$  cells/ $\mu$ l สูงกว่าใน PPP ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่  $2.48 \pm 0.83 \times 10^5$  cell/ $\mu$ l อย่างมีนัยสำคัญ (*P* < 0.001) ซึ่งปริมาณเกล็ดเลือดที่ได้มีความแตกต่างกันในผู้ป่วยแต่ละราย โดยอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น เพศ อายุ ภาวะทางสุขภาพ และวิถีชีวิต ซึ่งจำนวนเกล็ดเลือดมีผลต่อปริมาณ cytokines และ growth factors ด้วย (Weibrich et al., 2002)

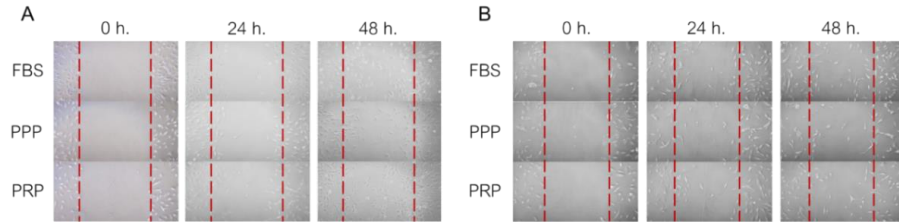
การศึกษากการเคลื่อนตัวของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อไขข้อโดยเปรียบเทียบในเซลล์ที่ได้รับ PPP และ PRP โดยใช้เซลล์ที่ได้รับ FBS เป็นกลุ่มควบคุมและวัดการเคลื่อนตัวของเซลล์ที่เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าเซลล์ทั้งสองชนิดมีการเคลื่อนตัวเข้ามาตรงกลางของรอยขีดในทุกกลุ่มการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 1

ในเซลล์เยื่อไขข้อพบว่าที่ 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ได้รับ FBS มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP และ PRP (*P* = 0.012 และ 0.001 ตามลำดับ) แต่ในกลุ่มที่ได้รับ PPP และ PRP ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับที่ 48 ชั่วโมงเซลล์กลุ่มที่ได้รับ FBS มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP และ PRP เช่นเดียวกับที่ 24 ชั่วโมง (*P* < 0.001) และพบว่าเซลล์ที่ได้รับ PRP มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP (*P* = 0.035) ดังแสดงในรูปที่ 2A

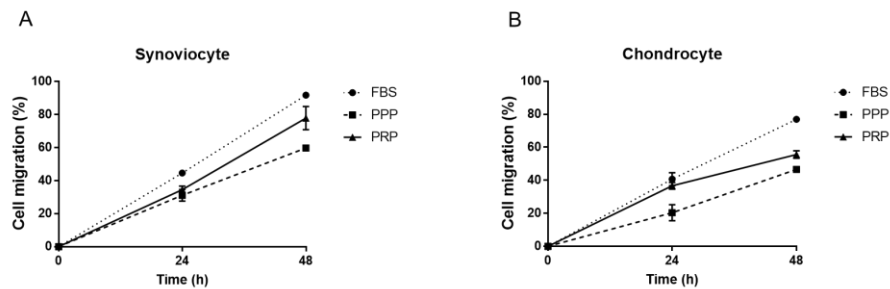
ในเซลล์กระดูกอ่อนพบว่าที่ 24 ชั่วโมง เซลล์ที่ได้รับ FBS มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP (*P* = 0.021) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับ PRP เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ FBS หรือ PPP สำหรับที่ 48 ชั่วโมงพบว่าเซลล์



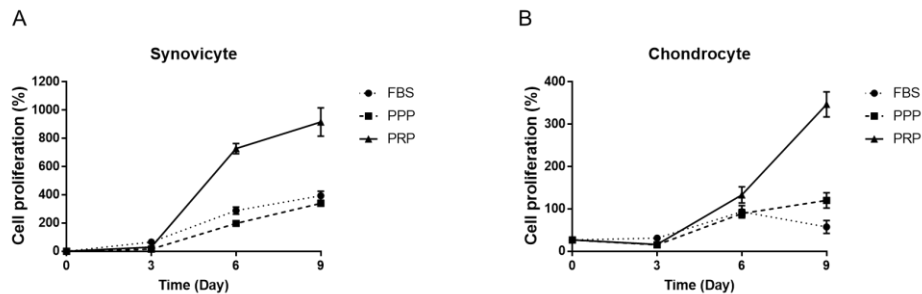
ทุกกลุ่มการทดลองมีการเคลื่อนตัวแตกต่างกัน เซลล์กลุ่มที่ได้รับ FBS มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP และ PRP ( $P < 0.001$ ) และเซลล์ที่ได้รับ PRP มีการเคลื่อนตัวมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP ( $P = 0.027$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2B



รูปที่ 1 In vitro scratch assay ศึกษาการเคลื่อนเซลล์ เปรียบเทียบ เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง  
(A) OA fibroblast-like synoviocytes (B) OA chondrocytes



รูปที่ 2 ร้อยละการเคลื่อนเซลล์ (cell migration percentage)  
(A) OA fibroblast-like synoviocytes (B) OA chondrocytes



รูปที่ 3 ร้อยละการเพิ่มจำนวนเซลล์ (cell proliferation percentage) เปรียบเทียบ เวลา 0, 3, 6 และ 9 วัน  
(A) OA fibroblast-like synoviocytes (B) OA chondrocytes

นอกจากนี้ ในการศึกษาผลของ PRP ต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์ พบว่าเซลล์เยื่อข้อที่ได้รับ PRP มีการเพิ่มจำนวนมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP ในทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ( $P = 0.018$ ,  $P < 0.001$  และ  $P < 0.001$  ตามลำดับ) และมีการเพิ่มจำนวนมากกว่าในกลุ่มที่ได้รับ FBS ( $P < 0.001$ ) และยังคงพบว่าเซลล์เยื่อข้อกลุ่มที่ได้รับ FBS มีการเพิ่มจำนวนมากกว่าเซลล์กลุ่มที่ได้รับ PPP ในช่วงเวลาที่ 3 และ 6 วัน ( $P < 0.001$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3A

ในเซลล์กระดูกอ่อน ในช่วงเวลา 3 วันกลุ่มที่ได้รับ PRP มีการเพิ่มจำนวนน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ FBS ( $P < 0.001$ ) และไม่พบการเพิ่มจำนวนที่มีความแตกต่างกันระหว่างเซลล์กลุ่มที่ได้รับ PRP และ PPP แต่ในช่วงเวลาที่ 6 และ 9 วันพบว่า เซลล์ที่ได้รับ PRP มีการเพิ่มจำนวนมากกว่าเซลล์ที่ได้รับ PPP และ FBS อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ ) และเมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่ได้รับ FBS และ PPP พบว่าในช่วงเวลา 3 และ 9 วัน เซลล์ที่ได้รับ FBS มีการเพิ่มจำนวนมากกว่า ( $P < 0.001$ ) แต่ที่เวลา 3 วันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 3B

จากการศึกษาการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนเซลล์ พบว่าเซลล์เยื่อข้อมีอัตราการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนมากกว่าเซลล์กระดูกอ่อน เป็นผลจากธรรมชาติของเซลล์เยื่อข้อที่มีลักษณะเป็น fibroblast-like โดยปกติเซลล์เยื่อข้อมีอัตราการเพิ่มจำนวนและอัตราการเคลื่อนตัวสูง รวมถึงเยื่อข้อมีหลอดเลือดมาเลี้ยงจำนวนมากจึงเกิดการอักเสบได้ง่ายกว่า (Monemdjou et al., 2010) แตกต่างจากเซลล์กระดูกอ่อนที่มักอยู่ในระยะ resting phase (G0) และไม่มีหลอดเลือดเข้าไปเลี้ยง จึงมีอัตราการเพิ่มจำนวนและอัตราการเคลื่อนตัวต่ำ (Archer and Francis-West, 2003)

ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า PRP มีความสามารถกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ทั้งในเซลล์เยื่อข้อ (Gilbertie et al., 2018) และเซลล์กระดูกอ่อน (Jeyakumar et al., 2017) ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณ growth factors และ cytokines ที่ปล่อยออกมาจาก granules ของเกล็ดเลือดที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์ เช่น platelet-derived growth factor (PDGF), transforming growth factor- $\beta$  (TGF- $\beta$ ), vascular endothelial growth factor (VEGF), basic fibroblast growth factor (bFGF), epidermal growth factor (EGF), interferon-gamma (INF- $\gamma$ ) และ tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) เป็นต้น (Amable et al., 2013) โดยการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่า PRP มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์ในระยะยาวมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาทางคลินิกที่พบว่าการฉีด PRP เข้าข้อเข้าให้กับผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมมากกว่า 1 ครั้งได้ผลดีกว่าการฉีดให้เพียงครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (Görmeli et al., 2017) อย่างไรก็ตามยังต้องมีการศึกษาผลของ PRP ในการประยุกต์ใช้รักษาผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมต่อไป

## สรุป

PRP มีผลกระตุ้นการเคลื่อนตัวและการเพิ่มจำนวนของของเซลล์กระดูกอ่อนและเซลล์เยื่อข้อของผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมมากกว่า PPP ซึ่งอาจเป็นผลมาจากจำนวนเกล็ดเลือดที่ PRP มากกว่า PPP เกือบ 2 เท่า ทำให้ PRP มีปริมาณ growth factors และ cytokines มากกว่า และยังพบว่าทำให้ PRP อย่างต่อเนื่องทำให้เซลล์ทั้ง 2 ชนิดมีการเพิ่มจำนวนที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลในการประยุกต์ใช้รักษาโรคทางคลินิกในผู้ป่วยโรคข้อเสื่อมยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

## คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ฝ่ายออร์โธปิดิกส์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย หน่วยวิจัย Osteoarthritis and Musculoskeleton ศูนย์เครื่องมือภาควิชาชีวเคมี ศูนย์เครื่องมือกลาง Chula MRC (Chulalongkorn Medical Research Center) คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนการศึกษาเพื่อทำหน้าที่ผู้ช่วยสอน กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช และคุณภคิตติพันธ์ ธาระเขตร์ คุณนิกร ลีห์อรัณย์มวัฒน์ในการช่วยเหลือเก็บตัวอย่าง

## เอกสารอ้างอิง

- Amable, P. R., Carias, R. B. V., Teixeira, M. V. T., Pacheco, Í. C., Amaral, R. J. F. C. & Granjeiro, J. M. (2013). Platelet-rich plasma preparation for regenerative medicine: optimization and quantification of cytokines and growth factors. *Stem Cell Research & Therapy*, 4(67), 1-13.
- Archer, C. W. & Francis-West, P. (2003). Cells in focus the chondrocyte. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology.*, 35(4), 401–404.
- Dhurat, R. & Sukesh, M. (2014). Principles and Methods of Preparation of Platelet-rich plasma: A review and author's perspective. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*, 7(4), 189-197.
- Gilbertie, J. M., Long J. M., Schubert, A. G., Berglund, A. K., Schaer, T. P. & Schnabel, L. V. (2018). Pooled Platelet-Rich Plasma Lysate Therapy Increases Synoviocyte Proliferation and Hyaluronic Acid Production While Protecting Chondrocytes from Synoviocyte-Derived Inflammatory Mediators. *Frontiers in Veterinary Science*, 5(150), 1-11.
- Görmeli, G, Görmeli, C. A., Ataoglu, B., Çolak, C., Aslantürk, O. & Ertem, K. (2017). Multiple PRP injections are more effective than single injections and hyaluronic acid in knees with early osteoarthritis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(3), 958–965.
- Hunter, D. J. & Bierma-Zeinstra, S. (2019). Osteoarthritis. *Lancet*, 393(10182) 1745–1759.
- Jeyakumar, V., Niculescu-Morzsza, E., Bauer, C., Lacza, Z. & Nehrer, S. (2017) Platelet-Rich Plasma Supports Proliferation and Redifferentiation of Chondrocytes during In Vitro Expansion. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(5), 1-8.
- Kellgren, J. H. & Lawrence, J. S. (1957) Radiological assessment of osteo-arthritis. *Annals of The Rheumatic Diseases*. 16(4), 494–502
- Michael, J. W-P., Schlüter-Brust, K. U, & Eysel, P. (2010) The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(9), 152-162.
- Monemdjou, R, Fahmi, H. & Kapoor, M. (2010) Synovium in the pathophysiology of osteoarthritis. *Therapy*, 19(18), 661-668.
- Weibrich, G., Kleis, W. K., Hafner, G. & Hitzler, W. E. (2002) Growth factor levels in platelet-rich plasma and correlations with donor age, sex, and platelet count. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 30(2) 97-102.
- Wu, PI-K., Diaz, R. & Borg-Stein, J. (2016) Platelet-Rich Plasma. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27(4), 825-853.

# การประเมินกิจกรรมทางชีวภาพของผลแคนตาลูปด้วยเทคนิคสเปคเคิล

Evaluation of bio-activity of cantaloupe fruit with speckle technique

กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

อรรถพล ศรีประดิษฐ์<sup>1</sup> นุชจรีย์ พุกกะมาน<sup>2</sup>

Auttapon Sripradit<sup>1</sup> Nuchjaree Pookkaman<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

การเกิดจุดสเปคเคิล (speckle) สามารถใช้เป็นวิธีการในการวิเคราะห์กิจกรรมการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (Bio-activity) โดยการใช้ลำแสงเลเซอร์ส่องบนตัวอย่างทางชีวภาพซึ่งเกิดกระเจิงแสงจากการแทรกสอดของแสงอย่างต่อเนื่องบนอนุภาคที่เคลื่อนไหวภายในตัวอย่าง ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้คือการตรวจสอบกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้น (ระดับความสุกของผลแคนตาลูปจากการสังเกตจุดสเปคเคิลแบบไดนามิก (Dynamic-speckle) โดยการวัดการกระเจิงของแสงเลเซอร์บนผิวแคนตาลูปสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการเกิดสเปคเคิลสามารถใช้วิธีวิเคราะห์จากภาพถ่ายสเปคเคิลได้ 2 วิธีคือ โมเมนต์ความเฉื่อยของภาพ และรูปแบบสเปคเคิลที่เปลี่ยนไปตามเวลา (Time History of Speckle Pattern, THSP) ซึ่งเกิดจากการจากการเปลี่ยนแปลงของภาพสเปคเคิลที่เวลาต่างๆ นอกจากนี้ผลจากการวัดความเปลี่ยนแปลงสเปคเคิลของผลไม้อย่างยังสามารถบอกคุณภาพที่ลดลงซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดสเปคเคิลบนภาพ

คำสำคัญ : สเปคเคิล กิจกรรมทางชีวภาพ แคนตาลูป

## Abstract

Bio-speckle can be used as a method for analysis the activity of biological materials illuminated with laser beam. Physically, bio-speckles are the result of scattering of coherent light on moving particles inside living tissue. Therefore, the aim of this study was to investigate bio-speckle activity and determine the degree of ripeness of the Cantaloupe fruit from the observation of its dynamic speckle pattern. The speckle pattern of laser light scattered in Cantaloupe fruits were measured through their quantification. For the quantification of the variation by bio-speckle, two different methods of image analysis were used: moment of inertia and profiles of time history speckle pattern (THSP) which contains data of time information of dynamic speckle. Furthermore, the result of measurement of the dynamic speckle varies for fruits as their quality decrease, and the values change with the position of images.

Keyword : Speckle, Bio-activity, Cantaloupe

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว สระแก้ว 27160 ประเทศไทย

Major of Human Resource Management, Faculty of Science and Social Science, Burapa University, Sakeow Campus, Sakeow 27160, Thailand.

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว สระแก้ว 27160 ประเทศไทย

Major of Human Resource Management, Faculty of Science and Social Science, Burapa University, Sakeow Campus, Sakeow 27160, Thailand.

## บทนำ

แคนตาลูป (Cantaloupe) หรือ "แตงแคนตาลูป" แคนตาลูป ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ "Cucumis melo L. var. cantaloupensis" เป็นผลไม้เพื่อสุขภาพชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย แต่มีผู้นำผลไม้ชนิดนี้ไปปลูกที่ประเทศอิตาลีในเมือง "แคนตาลูป (Cantalupu)" ซึ่งอยู่ใกล้กับกรุงโรม จึงเป็นที่มาของชื่อผลไม้ชนิดนี้ โดยผลไม้ชนิดนี้ได้นำเข้ามายังประเทศไทยเมื่อ พ.ศ.2478 ปลูกได้ในหลายพื้นที่ โดยแหล่งปลูกแคนตาลูปที่สำคัญของประเทศไทยในปัจจุบันอยู่ที่ อำเภอร้อยพระเทศ จังหวัดสระแก้ว อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงใหม่ และ กรุงเทพมหานคร แคนตาลูป จึงกลายเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในจังหวัดสระแก้ว โดยนิยมปลูกมากในพื้นที่ชายแดนระหว่างจังหวัดสระแก้วและประเทศกัมพูชา สำหรับประโยชน์ของแคนตาลูปและสรรพคุณของแคนตาลูปนั้นมีอยู่มากมาย เพราะอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโซเดียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุเหล็ก โดยแคนตาลูป 1 ชิ้น น้ำหนักประมาณ 250 กรัม ให้พลังงาน 40 แคลอรี ในส่วนของสรรพคุณเป็นยาบำรุงธาตุ มีส่วนช่วยรักษาโรคความดันโลหิต ช่วยป้องกันและรักษาโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยในการลดไข้ เพราะน้ำแคนตาลูปเป็นผลไม้เย็น ช่วยดับร้อน แก้กระหาย ช่วยเป็นยาขับปัสสาวะ ช่วยบรรเทาอาการอักเสบของทางเดินปัสสาวะ ช่วยเคลือบกระเพาะอาหาร บรรเทาอาการอักเสบของลำไส้ ช่วยบรรเทาอาการท้องป่วนจากกรับประทานอาหารไม่ตรงเวลา ช่วยในการขับน้ำนม ช่วยในการขับเหงื่อ ช่วยบำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรง

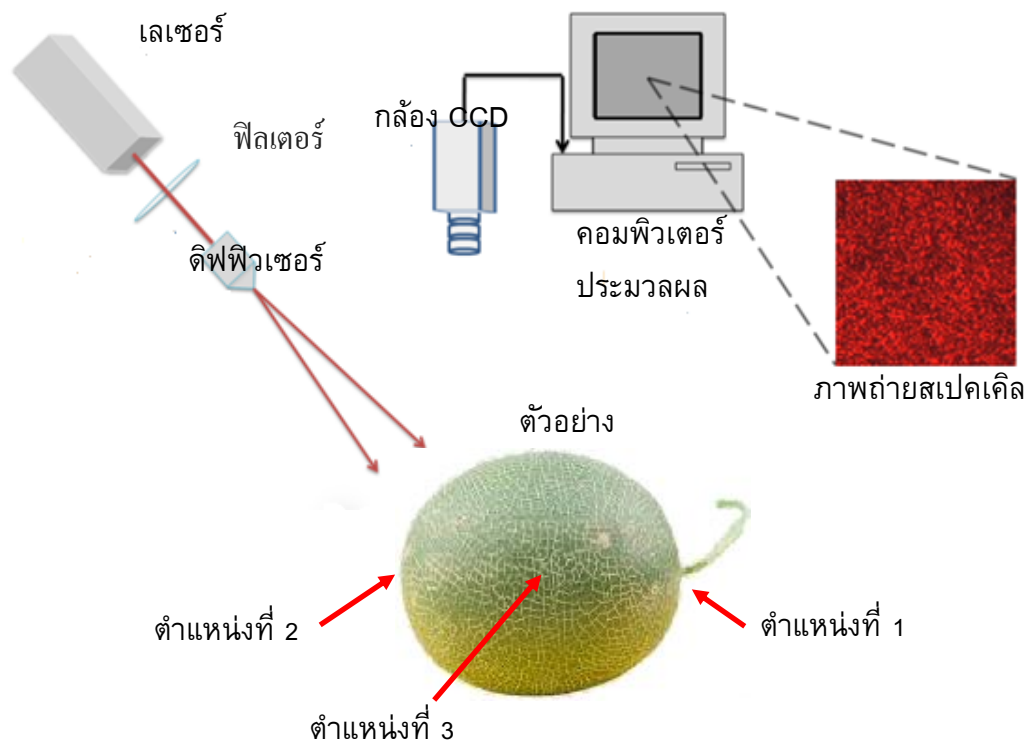
แต่ปัญหาอย่างหนึ่งของแคนตาลูปคือความสดและระดับความสุกที่ยากจะดูด้วยตาเปล่า ในบางครั้งจึงต้องผ่าเพื่อแสดงให้เห็นความสดและระดับความสุกจึงทำให้ผลที่ผ่าเกิดความเสียและขายไม่ได้ราคา จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะให้ความสำคัญกับการเก็บเกี่ยวและกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว (Rabelo, 2005) ส่วนใหญ่นำเสนอเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินคุณภาพของผลไม้โดยอาศัยพฤติกรรมเชิงกลโดยศึกษาความต้านทานเชิงกลของเนื้อเยื่อในทั่วไป เช่นการทดสอบการยืดหยุ่น การบีบอัด ความเค้น ความเครียด การทดสอบแรงกระแทก การวัดความตึงเครียดไฮโดรโพลและความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อผลไม้ ซึ่งส่วนใหญ่ต้องใช้ตัวอย่างจริง ทำให้ต้องสูญเสียตัวอย่างหรือเกิดตำหนิ เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะหาวิธีการวัดคุณภาพของผักและผลไม้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง บทความนี้รายงานทางเลือกสำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้เทคนิคเลเซอร์ซึ่งได้รับการศึกษาและชี้ให้เห็นว่าเป็นการประยุกต์ใช้ที่มีศักยภาพในการทำนายอายุการเก็บรักษาผลไม้และผัก เทคนิคเลเซอร์ประกอบด้วยการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของจุดสเปคเคิล(speckle dynamic)บนแคนตาลูป ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อเลเซอร์ส่องไปตามพื้นผิวตัวอย่างซึ่งจะแสดงให้เห็นกิจกรรมบางอย่างเกิดขึ้น ลักษณะของปรากฏการณ์ดังกล่าวคล้ายกับพื้นผิวที่เดือดของเหลวและมีการเคลื่อนที่ (dynamical) หรือจุดเดือด(bio-speckle) การระบุรูปแบบจุดที่แตกต่างกันของวัสดุชีวภาพสามารถบอกถึงการใช้จุดพลศาสตร์ที่สัมพันธ์คุณสมบัติของความสดของผักผลไม้เช่นของเม็ดสีของพื้นผิวที่มีความแตกต่างกัน เพื่อที่จะหาปริมาณความแปรปรวนของ bio-speckle

## วัตถุประสงค์

1. พิจารณาความแตกต่างของความสดหรือระดับความสุกของแคนตาลูปด้วยการใช้เทคนิคการถ่ายภาพสเปคเคิล

## อุปกรณ์และวิธีการ

ในการทดลองนี้จะใช้เลเซอร์ชนิดไดโอดขนาด 50 mW ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตรส่องผ่านตัวกระจ่างแสง(diffuser) ในการถ่ายภาพตัวอย่างใช้กล้อง CCD ความละเอียด 2560 × 1920 พิกเซลด้วยอัตราเฟรม 32 fps โดยภาพตัวอย่างถูกบันทึกไว้ทุก ๆ 0.05 วินาที ตัวอย่างจะถูกถ่ายภาพบริเวณหัว บริเวณท้าย และ บริเวณผิวตัวอย่างโดยจะถ่ายบริเวณดังกล่าววันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 500 รูป เป็นเวลา 4 วัน หลังจากได้ภาพมาแล้วทำการแปลงภาพให้เป็นระดับสีเทา โดยใช้เทคนิคTHSP (Rabelo, 2005) เพื่อบอกถึงการเปลี่ยนแปลงหรือกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้นหรือบอกถึงความสดหรือระดับความสุกของตัวอย่าง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ขนาดของรูรับแสงเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสง และตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ในการเคลื่อนที่ของจุดสเปคเคิล จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและตำแหน่งทำให้เกิดรูปแบบที่แตกต่างกันเกิดขึ้นบนตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างมีการเกิดกิจกรรมทางชีวภาพมากเช่น การแห้งของเมล็ดสี การเกิดร่องรอยของพื้นผิว หรือกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ก็จะทำให้เกิดจุดสเปคเคิลหรือเกิดการเคลื่อนขึ้นจำนวนมาก ในทางตรงข้ามถ้าเกิดกิจกรรมทางชีวภาพน้อยก็จะทำให้เกิดจุดสเปคเคิลแต่มีการเคลื่อนที่น้อย ซึ่งรูปแบบเครื่องมือการทดลองแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการรูปแบบและอุปกรณ์การทดลอง

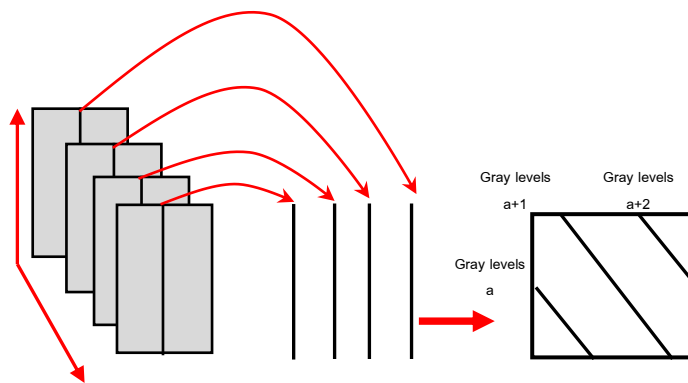
## โมเมนต์ความเฉื่อย(MI)

Arizaga และคณะ (1999) พัฒนาระบบการตามติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มและความต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในภาพรวมภาพ ด้วยการเลือกคอดัมน์ตำแหน่งเดียวกันในช่วงเวลาต่าง ๆ และนำคอดัมน์เหล่านั้นมารวมกันเป็นภาพ

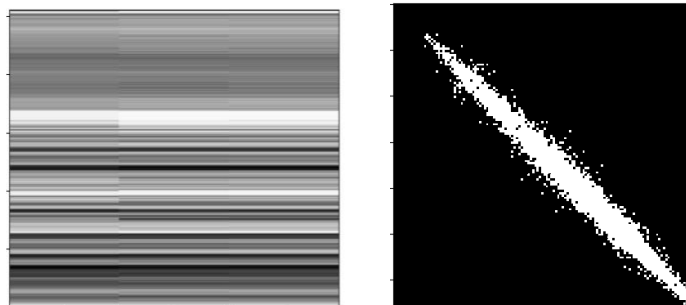
THSP กระบวนการนี้อาศัยวิธีการวิเคราะห์เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระดับสีเทาซ้ำๆ ในโครงร่างของภาพ เมทริกซ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่าเมทริกซ์ร่วม (Co-occurrence Matrix, COM) กำหนดโดยสมการที่ 1

$$COM = [N_{ij}] \quad (1)$$

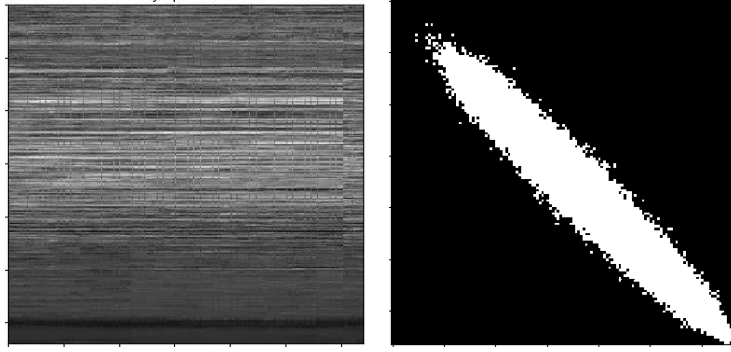
$N_{ij}$  คือจำนวนครั้ง  $i$  ของค่าความเข้มในแนวตั้งตามค่าความเข้มใดๆ  $j$  โดยอาศัยเมทริกซ์ระดับสีเทาเชิงพื้นที่ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันของภาพและบอกถึงกิจกรรมทางสีของภาพที่เกิดขึ้นโดยวิธีการรวมภาพ THSP ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการรวมข้อมูลสำหรับการสร้างภาพ THSP และค่าเมทริกซ์ที่เกิดขึ้น



(a)



(b)

รูปที่ 3 (a) แสดงค่า THSP และ COM ของกิจกรรมทางชีวภาพต่ำและ (b) แสดงค่า THSP และ MCOM ของกิจกรรมทางชีวภาพสูง

COM เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการประมาณกิจกรรมทั้งหลายทางชีวภาพและไม่ใช่วิธีชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวอย่าง นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างตัวเลขจะเกิดขึ้นในเส้นทแยงมุม ถ้าภาพ THSP ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันน้อยผลที่ได้คือการกระจายในเส้นทแยงมุมของค่าในเมทริกซ์จะน้อย แต่หากภาพ THSP ที่ได้มีค่าความแตกต่างกันมาก การกระจายของข้อมูลในแนวเส้นทแยงมุมจะมีค่ามาก ปริมาณการกระจายข้อมูลเป็นตัวชี้วัดกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวอย่าง การวัดการกระจายของค่าเมทริกซ์รอบเส้นทแยงมุมเกิดจากผลรวมของค่า COM คูณด้วยระยะห่างของแถวกำลังสอง ผลที่ได้คือค่าโมเมนต์ความเฉื่อย(IM) ของเมทริกซ์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2 ซึ่งสามารถเป็นตัววัดกิจกรรมที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทางชีวภาพได้อีกวิธีหนึ่ง

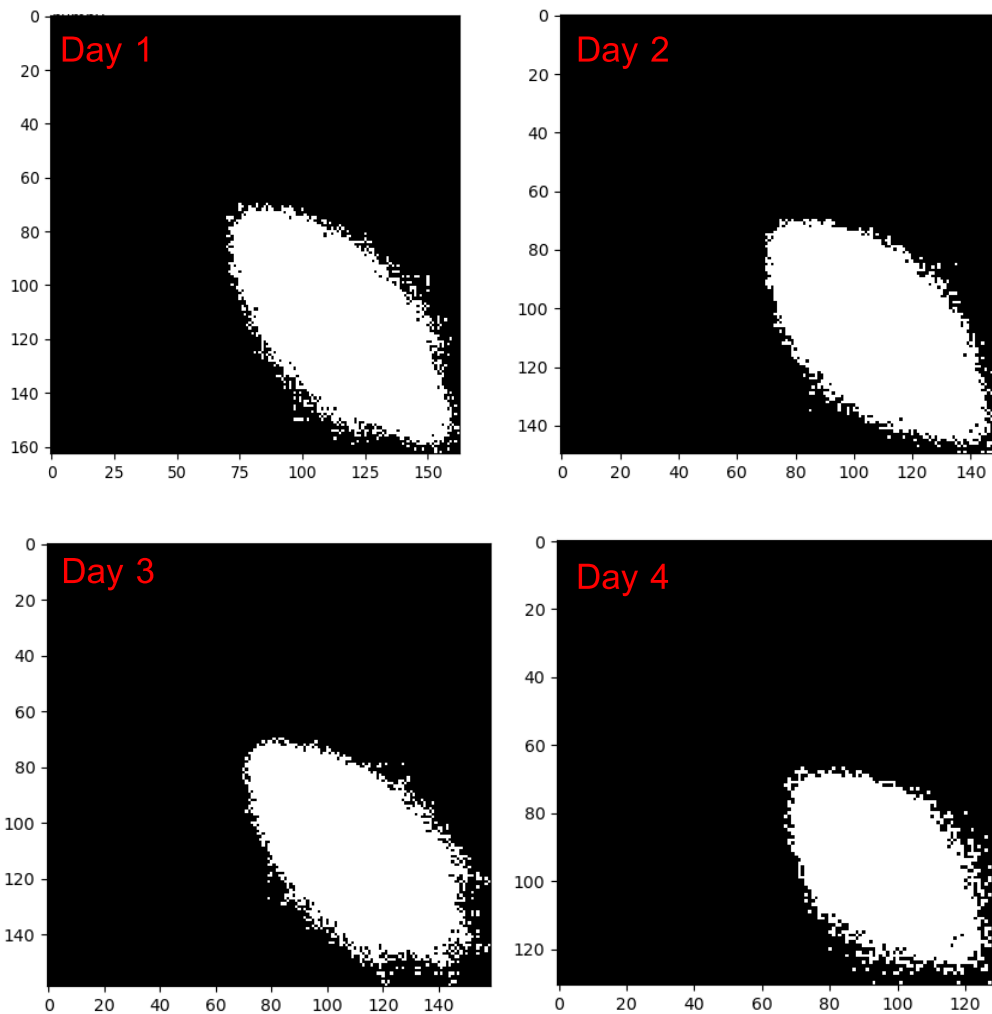
$$IM = \sum_{ij} M_{ij} (i - j)^2 \quad (2)$$

เมื่อ

$$M_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} \quad (3)$$



## ผลและวิจารณ์



รูปที่ 3 แสดงภาพ MCOM และกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวอย่างในวันที่ 1 2 3 และ 4

จากรูปที่ 3 ภาพ COM แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน วันที่ 1 แสดงการกระจายของค่า COM มากที่สุดเมื่อเทียบกับวันอื่น ๆ เนื่องจากระดับความสดมากที่สุดลักษณะทางกายภาพบนพื้นผิวได้แก่ รอยเหี่ยวหรือการแห้งของเมล็ดสี มีน้อยทำให้เกิดกิจกรรมทางชีวภาพมากที่สุด ในวันถัดมาจนถึงวันที่ 4 การกระจายของค่า COM น้อยที่สุด เนื่องจากการคายน้ำบนพื้นผิวตัวอย่างทำให้เกิดร่องรอยและการแห้งของเมล็ดสีในพื้นผิวมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยและการกระจายและระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเมทริกซ์ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยซึ่งแสดงให้เห็นถึงกิจกรรมทางชีวภาพมีค่ามากในการวัดครั้งแรก เนื่องจากความสดของตัวอย่าง และค่าโมเมนต์ความเฉื่อยลดลงเมื่อเวลาผ่านไปดังแสดงในตารางที่ 1 ค่า COM ภาพ THSP และโมเมนต์ความเฉื่อยเป็นวิธีการที่สามารถบอกความแตกต่างของตัวอย่างทางชีวภาพได้ เมื่อนำมาใช้กับแคนตาลูป ผลการทดสอบชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างกัน แต่ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากตัวอย่างมีพื้นผิวหลากหลาย

รูปแบบซึ่งทำให้ในบางครั้งผลการทดลองที่ได้ไม่ตรงกับข้อมูลจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาและปรับปรุงให้ผลการทดลองดีขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในอนาคต

ตารางที่ 1 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวอย่าง และกิจกรรมทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวอย่างในวันที่ 1 2 3 และ 4

วันที่ทดลอง	โมเมนต์ความเฉื่อย	ตำแหน่งการวัด		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
วันที่ 1	Mean	2110.38	2080.65	1892.64
	SD	196.7	180.36	158.21
	SE	40.2	35.32	27.48
วันที่ 2	Mean	2002.52	1820.63	1941.78
	SD	110.36	84.68	96.57
	SE	33.2	26.51	30.89
วันที่ 3	Mean	1201.25	1198.87	980.54
	SD	87.54	81.58	62.7
	SE	17.6	16.8	15.41
วันที่ 4	Mean	457.21	584.89	596.78
	SD	42.45	51.25	53.98
	SE	9.64	10.12	11.1

## สรุป

วิวัฒนาการของภาพ THSP และค่า MCOM ช่วยให้สามารถระบุความแตกต่างเมื่อใช้ร่วมกับวิธี IM มีความสามารถแยกความแตกต่างของความสดหรือระดับความสุกได้ในเบื้องต้น ข้อดีของวิธีดังกล่าวคือสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วและไม่สร้างตำหนิหรือทำลายตัวอย่าง

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการคณิตศาสตร์กลุ่มข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิชุดา จันทรข้างแรม คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในงานวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ

## เอกสารอ้างอิง

- Abbott, J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3): 207–225.
- Nicolaï, B. M., T. Defraeye, B. De Ketelaere, E. Herremans, M. L. A. T. M. Hertog, W. Saeys, A. Torricelli, T. Vandendriessche, and P. Verboven. 2014. Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5: 285-312.
- Zdunek, A., P. M. Pieczywek, A. Adamiak, and A. Kurenda. 2014. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: a review. *Optics and Lasers in Engineering*, 52(11):276-285.
- Rabelo, G. F., R. A. Braga, I. M. D. Fabbro, M. R. Trivi, H. J. Rabal, and R. Arizaga. 2005. Laser speckle techniques in quality evaluation of orange fruits, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4): 570-575.
- Xu, Z., C. Joenathan, and B. M. Khorana. 1995. Temporal and spatial properties of the time-varying speckles of botanical specimens. *Optical Engineering*, 34(5): 1487-1502.
- Rabelo, G. F. 2000. Avaliação do fenômeno biospeckle” no monitoramento de qualidade de laranjas (CitrusSinensis). Campinas: UNICAMP, 147p. TeseDoutorado.
- Yoshimura, T. 1986. Statistical properties of dynamic speckles. *Journal of the Optical Society of America A – Optics and Image Science*, 3(7):1032-1054.
- Arizaga, R., M. R. Trivi, and Rabal, H. J. 1999. Speckle time evolution characterization by co-occurrence matrix analysis. *Optics & Laser Technology*, Atlanta, 4-5(3): 1-7.
- Haberacker, P. 1985. *Digitale bildverarbeitung grundlagen und anwendungen*, Hanser, C., Ed., Verlag, München.
- Zobrist, A., and W. Thompson. 1975. Building a distance function for gestalt grouping. *IEEE Transactions on Computers.*, 24(4):718.
- Kruger, R., W. Thompson, and A. F. Turner. 1974. Computer diagnosis of pneumoconiosis. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 4(1):40.
- Rabal, H. J., and R. A. Braga Dynamic. 2009. *Laser Speckle and Applications*, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton Fl. 105-106.
- Zdunek, A., L. I. Muravsky, L. Frankevych, and K. Konstankiewicz. 2007. New non-destructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality duringshelf-life. *International Agrophysics*, 21(3):305-310.

# การประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจของการใช้น้ำยางพาราสำหรับการสร้างถนนในประเทศไทย

## Economic Impact Assessment of Utilizing Latex for Road Construction in Thailand

ธนกฤต กักวิชัย<sup>1</sup> และ ปิยานนทน์ หาพุกธา<sup>1\*</sup>

Thanakrit Kukvichai<sup>1</sup> and Piyanon Haputta<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันราคาน้ำยางพาราสดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยาง เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรดังกล่าว ภาครัฐได้มีนโยบายส่งเสริมการนำน้ำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนน เพื่อให้ทราบว่านโยบายดังกล่าวสามารถช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางได้จริงหรือไม่และมีผลกระทบต่อภาพรวมของเศรษฐกิจในประเทศไทย พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลกระทบของการนำน้ำยางพาราไปใช้ในการผลิตล้อยานพาหนะ ผ่านโครงการการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราจำลอง 5 โครงการ โดยอาศัยการวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output analysis) จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราโดยการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของการทำถนนส่งผลให้มูลค่าผลผลิตมวลรวมภายในประเทศเบื้องต้น และมูลค่าการจ้างงานในสาขาการเพาะปลูกยางพาราของประเทศสูงขึ้นมากกว่าการเพิ่มอุปสงค์ของนำน้ำยางพาราผ่านการนำน้ำยางพาราไปใช้ในการผลิตล้อรถ ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราผ่านการนำน้ำยางพาราไปใช้สำหรับการผลิตถนนสามารถช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางได้จริง อีกทั้งยังเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ โดยผลการศึกษานำไปใช้สำหรับการตัดสินใจเชิงนโยบายด้านการส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราอย่างยั่งยืนต่อไป

**คำสำคัญ:** การวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิต ผลกระทบทางเศรษฐกิจศาสตร์ น้ำยางพารา ถนนยางพารา

### Abstract

Decreasing latex price can affect the income of rubber farmers. In order to reduce the effect on farmers' income, the government has plans to increase the demand for latex and utilizing latex for road construction is an option. To check if the utilization of latex for road construction can help farmers and to understand its impacts to wide-economy, this study aims to assess the economic impacts of utilizing latex for road construction using an input-output (I-O) analysis. The 5 scenarios that related to raising the demand for latex are set. Other than road construction, the scenarios on increasing the demand for latex through the tire production are included in the 5 scenarios for comparison. The results show that the increase in rubber road can bring about higher Gross Domestic Product and more employment (both overall employment and the employment in rubber cultivation sector) to the society more than the increase in tire production. So, the plan

to use latex for road construction is efficient and can help rubber farmers. The results of this study are useful to policy-makers in making the decision towards sustainable rubber industry in Thailand.

**Keywords:** input-output analysis, economic impact, latex, rubber road

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani 12120

## บทนำ

ยางพาราถือได้ว่าเป็นพืชสำคัญที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยประเทศไทยมีการส่งออกน้ำยางธรรมชาติซึ่งมากที่สุดในโลก ที่ปริมาณ 4.4 ล้านตัน และมีพื้นที่ปลูกยางพารามากเป็นลำดับสองรองจากประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกยางพาราของประเทศไทยมีทั้งหมด 22.47 ล้านไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2561) นอกจากนี้จะมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจแล้วยางพารายังมีความสำคัญด้านอื่นด้วยคือ อุตสาหกรรมยางพาราทำให้เกิดการเชื่อมโยงในการดำเนินการต่างๆ เช่น ด้านการสร้างอาชีพให้กับคนในชุมชนร่วมกับการจัดการของชุมชนที่ได้รับความช่วยเหลือจากนักวิจัย ด้านการรักษาระบบนิเวศน์ที่ช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับประเทศและทำให้พื้นที่เพาะปลูกยางพาราสามารถนำพืชชนิดอื่นมาเพาะปลูกร่วมด้วยได้ทำให้ความหลากหลายในระบบนิเวศน์เพิ่มมากขึ้น เป็นต้น

เนื่องจากปัจจุบันราคาน้ำยางพารานั้นมีแนวโน้มที่จะลดต่ำลงและไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยาง รัฐบาลจึงมีมาตรการช่วยเหลือเกษตรกรดังกล่าวคือ การเพิ่มอุปสงค์สำหรับน้ำยางพาราโดยการสนับสนุนให้มีการนำน้ำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนน โดยการทำถนนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารานั้นมี 3 รูปแบบ คือ การฉาบผิวแบบพาราสเลอริซิด การทำแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางธรรมชาติ และการนำน้ำยางพารามาใช้ในการก่อสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (การยางแห่งประเทศไทย, 2562) ซึ่งถนนยางพาราดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการเดินทางหรือสัญจรบนท้องถนนเพิ่มขึ้นมากขึ้น อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานที่มากกว่าถนนที่ไม่มีส่วนผสมของยางพารา

อย่างไรก็ตามการนำน้ำยางพารามาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำถนนมีผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจในวงกว้าง เพื่อให้ทราบว่ามีมาตรการดังกล่าวสามารถช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางได้จริงหรือไม่และมีผลกระทบต่อภาพรวมของเศรษฐกิจในประเทศอย่างไร การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจของการนำน้ำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนน โดยอาศัยการวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output analysis) เพื่อเปรียบเทียบแนวทางการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพารา โครงการจำลอง 5 โครงการถูกสร้างขึ้นเพื่อนำเสนอผลกระทบทางเศรษฐกิจของการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราผ่านการนำน้ำยางพาราไปใช้ทำถนนยางพารา รวมถึงการนำน้ำยางพาราไปใช้ผลิตล้อรถ โดยพิจารณาผลกระทบจากดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ คือ ผลิตภัณฑ์รวมภายในประเทศเบื้องต้น (Gross Domestic Product, GDP) การจ้างงาน (Employment) และ มูลค่าเพิ่ม (Value-added) รายสาขาการผลิต ทั้งนี้ ผลการศึกษาถูกคาดหวังว่าจะสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายด้านการส่งเสริมการผลิตและการใช้ยางพารา

ภายในประเทศ เพื่อช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรชาวสวนยางอันจะนำไปสู่ความยั่งยืนของอุตสาหกรรมยางพาราของไทยต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจของการนำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนน และเพื่อให้ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่เป็นประโยชน์ด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนนเพื่อส่งเสริมการผลิตและการใช้ยางพาราในประเทศต่อไป

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษผลกระทบทางเศรษฐกิจของการใช้น้ำยางพาราสำหรับการสร้างถนนนั้นมีข้อมูลที่ใช้และวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

### 1. การจัดการข้อมูล

การศึกษานี้ ทำการประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจของการนำน้ำยางพารามาเป็นส่วนผสมในการทำถนน โดยอาศัยการวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต โดยตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการหมุนเวียนของสินค้าและบริการระหว่างสาขาการผลิตของระบบเศรษฐกิจในช่วงระยะเวลาที่แน่นอนและจัดเป็นหมวดหมู่ โดยตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทยจัดทำขึ้นทุกๆ 5 ปี โดยสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติและตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตปีล่าสุดของประเทศคือ ปี พ.ศ. 2558 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2562) การนำตารางดังกล่าวมาใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการศึกษานี้จึงอยู่ภายใต้ข้อสมมติคือ อุตสาหกรรมทางเศรษฐกิจระหว่างสาขาการผลิตของปี 2562 (ปีที่ใช้ศึกษาผลกระทบในการศึกษานี้) และปี 2558 นั้นมีรูปแบบเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตปี 2558 นี้ถูกใช้พิจารณาผลกระทบของการนำยางพารามาใช้เพิ่มขึ้น โดยผู้วิจัยได้จัดกลุ่มสาขาการผลิตในตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตใหม่ จากเดิม 180 สาขาการผลิตเป็น 19 สาขาการผลิตที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำถนนที่มียางพาราเป็นส่วนผสม โดยสาขาการผลิตถนนยางพาราถูกแยกออกมาจากสาขาการผลิตการก่อสร้างงานบริการสาธารณะที่ไม่เกี่ยวกับเกษตร โดยมูลค่าของสาขาการผลิตดังกล่าวมาจากมูลค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างถนนยางพารา โดยอาศัยข้อมูลจากผลการประชุมคณะอนุกรรมการขับเคลื่อนการปฏิรูปเศรษฐกิจด้านการเกษตร สภาขับเคลื่อนการปฏิรูปประเทศ ครั้งที่ 6 คู่มือปฏิบัติงานการควบคุมคุณภาพและรับรองมาตรฐานวัสดุ สำหรับงานก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ยางพารา) (คณะกรรมการพิจารณารับรองมาตรฐานวัสดุน้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มสำหรับการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ, 2562) และรายงานทั่วไปสำหรับงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กขององค์การบริหารส่วนตำบลสาคร (องค์การบริหารส่วนตำบลสาคร)

โครงการจำลอง 5 โครงการถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในโครงการที่ 1 นั้นมีการทำถนนที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม 3 ประเภท คือ ถนนที่ฉาบผิวแบบ

พาราเซลเลอร์ซิด ถนนแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางธรรมชาติ และการนำน้ำยางพารามาใช้ในการก่อสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ซึ่งมีการใช้น้ำยางพาราเป็นส่วนผสมในสัดส่วน เป็นร้อยละ 0.4 ร้อยละ 12.1 และ ร้อยละ 87.5 ของปริมาณน้ำยางพาราทั้งหมด 120,000 ตัน ที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนนตามลำดับ ในโครงการจำลองที่ 2 มีการเพิ่มปริมาณอุปสงค์สำหรับถนนยางพาราเพิ่มขึ้นจากโครงการที่ 1 ร้อยละ 10 โครงการที่ 3 มีการเพิ่มปริมาณอุปสงค์ในการทำถนนยางพาราเพิ่มขึ้นจากโครงการที่ 1 ร้อยละ 20 โครงการที่ 4 มีการเพิ่มปริมาณอุปสงค์ในการผลิตยางล้อรถเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 10 และโครงการจำลองที่ 5 มีการเพิ่มปริมาณอุปสงค์ในการผลิตยางล้อรถเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 20 โดยเพิ่มปริมาณอุปสงค์ดังกล่าวนี้ถูกสมมติให้มาจากการสนับสนุนของ รัฐบาลในรูปแบบต่างๆ เช่น การออกนโยบายทางด้านการค้า มาตรการในการกระตุ้นเศรษฐกิจ การลงทุนของรัฐบาลในระบบคมนาคมในประเทศ เป็นต้น

## 2. การวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

ผลกระทบของการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราด้วยวิธีต่างๆในโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการถูกนำมาวิเคราะห์ โดยการใช้ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต โดยสาขาการผลิต 19 กลุ่มสาขาถูกนำมาแสดงเป็นรูปแบบความสัมพันธ์ในรูปเมทริกซ์ (Matrix) ดังตารางที่ 2 และประยุกต์ใช้กับ Leontief model (Steenge, 1978) ในสมการที่ 1 โดยที่ X คือ เมทริกซ์ที่แสดงมูลค่าของผลผลิตทั้งหมดของแต่ละสาขาการผลิต I คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ A คือ เมทริกซ์ที่แสดงผลกระทบทางตรง นั่นคือ ผลผลิตของสาขาการผลิตหนึ่งถูกนำไปใช้เป็นปัจจัยการผลิตในสาขาการผลิตอื่นที่เกี่ยวข้อง และ Y คือ เมทริกซ์ที่แสดงมูลค่าของอุปสงค์ขั้นสุดท้ายของแต่ละสาขาการผลิต

$$X = [I - A]^{-1} Y \quad (1)$$

จะได้ว่าตัวทวีคูณ (Multiplier) หรือ เมทริกซ์ผกผันของสัมประสิทธิ์การใช้ปัจจัยการผลิต (Leontief Inverse Matrix) ของแต่ละสาขาการผลิตคือ  $(I - A)^{-1}$  เป็นค่าอินเวอร์สของผลลระหว่างเมทริกซ์เอกลักษณ์กับเมทริกซ์ A ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาคูณกับเมทริกซ์ที่แสดงผลกระทบทางตรงแต่ละประเภทที่มีความเกี่ยวข้องกับการนำน้ำยางพารามาเป็นส่วนผสมในการทำถนนเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงในระบบเศรษฐกิจของโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการ

## สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษารวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตสำหรับการเพิ่มอุปสงค์ของน้ำยางพาราผ่านโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการ ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ

หากพิจารณาตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้นพบว่า ทุกโครงการมีการเพิ่มขึ้นของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้น โดยโครงการจำลองที่ 3 ที่มีการทำถนนที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 มีการเพิ่มขึ้นของมูลค่าดังกล่าวมากที่สุด โดยมีการเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 0.034

ในทางกลับกันโครงการจำลองที่มีการเพิ่มขึ้นของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้นน้อยที่สุด คือ โครงการที่ 4 คือ การผลิตยางล้อรถเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยมีค่าการเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.006 การเปลี่ยนแปลงของการจ้างงานเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้น กล่าวคือ โครงการจำลองที่ 3 มีการเพิ่มขึ้นของการจ้างงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.042 ของมูลค่าเดิม และโครงการจำลองที่ 4 มีการเพิ่มขึ้นของการจ้างงานน้อยที่สุด

สำหรับการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเพิ่มรายสาขาการผลิตนั้น จะเห็นได้ว่าหากมีเพิ่มปริมาณอุปสงค์ของโครงการถนนยางพารา สาขาการผลิตที่เป็นปัจจัยการผลิตให้กับการผลิตถนนยางพาราจะมีมูลค่าเพิ่มที่เพิ่มขึ้น เช่น สาขาการผลิตการทำสวนยางพารา เป็นต้น ในทางกลับกันกลับมีบางสาขาการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเพิ่มลดลง เนื่องจากการสร้างถนนยางพาราซึ่งมีอายุการใช้งานที่มากกว่าทำให้มีการใช้วัสดุอื่น ๆ ในการก่อสร้างและซ่อมแซมน้อยลง อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณการผลิตถนนปกติทำให้บางสาขาการผลิตที่เป็นปัจจัยสินค้าให้แก่การก่อสร้างถนนปกติมีมูลค่าเพิ่มที่ลดลง เช่น สาขาการผลิตผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามมูลค่าเพิ่มของสาขาการผลิตการทำสวนยางพาราในทุกโครงการมีมูลค่าที่เพิ่มขึ้นและโครงการทำถนนยางพารามีร้อยละการเพิ่มขึ้นของมูลค่าเพิ่มที่มากกว่าการผลิตยางล้อรถ ดังนั้นการทำถนนที่มีส่วนผสมของยางพาราจะทำให้เกษตรกรชาวสวนยางได้รับผลประโยชน์มากกว่าการผลิตยางล้อรถ

## บทสรุป

เพื่อให้ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายด้านเศรษฐกิจ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการด้วยการพิจารณาผลกระทบด้านเศรษฐกิจผ่านการวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบเศรษฐกิจ พบว่าโครงการจำลองที่ 3 การเพิ่มขึ้นของการทำถนนที่มีส่วนผสมของยางพาราร้อยละ 20 มีการเพิ่มของตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัดมากที่สุด หากพิจารณามูลค่าเพิ่มรายสาขาจะพบว่า มูลค่าเพิ่มสาขาการผลิตการทำสวนยางพาราของการทำถนนที่มีส่วนผสมของยางพาราจะมีการเพิ่มขึ้นของมูลค่าดังกล่าวมากกว่าการผลิตยางล้อรถ ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า การทำถนนที่มีส่วนผสมของยางพาราจะเป็นผลดีต่อระบบเศรษฐกิจและรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางมากกว่าการผลิตยางล้อรถดังนั้นจากผลการศึกษาข้างต้น สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบายได้ดังนี้

1. รัฐบาลควรสนับสนุนการใช้น้ำยางพาราเป็นส่วนผสมในการสร้าง ปรับปรุง บำรุงรักษาหรือซ่อมแซมระบบคมนาคมต่างๆ โดยการออกนโยบายหรือมาตรการเพื่อเพิ่มปริมาณอุปสงค์การใช้น้ำยางพารา เช่น โครงการการสร้างถนนยางพาราในเขตทุรกันดาร เป็นต้น จากการสนับสนุนดังกล่าวจะเพิ่มอายุการใช้งานของระบบคมนาคม ทำให้ประหยัดค่าวัสดุประเภทต่างๆในการสร้างหรือซ่อมแซม มีการลดปริมาณน้ำยางพาราในระบบเศรษฐกิจทำให้ราคาน้ำยางพารามีเสถียรภาพมากขึ้น และยังสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยางอีกด้วย

2. แม้ว่าการนำน้ำยางพาราไปใช้ในการผลิตยางล้อรถจะให้ผลได้ทางเศรษฐกิจน้อยกว่าการนำน้ำยางพาราไปใช้สำหรับการทำถนน แต่การนำน้ำยางพาราไปใช้ในการผลิตยางล้อรถก็ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ดีและควรสนับสนุนเนื่องจากให้ผลได้ทางเศรษฐกิจและช่วยเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรเช่นกัน โดยรูปแบบของการสนับสนุนการใช้น้ำยางพารา



เป็นส่วนผสมในการทำยางล้อรถ อาจจะใช้ในลักษณะของนโยบาย หรือมาตรการต่างๆ เช่น สนับสนุนการเปลี่ยนยางล้อรถในราคาที่ถูกลง โดยกำหนดให้ประชาชนสามารถนำไปเสร็จของการเปลี่ยนยางรถไปลดภาษีต่างๆ ได้ เป็นต้น

## คำขอขอบคุณ

การศึกษานี้ดำเนินภายใต้ “โครงการเครือข่ายวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการค้าและการผลิตอาหารและพลังงานอย่างยั่งยืน” ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ผู้วิจัยขอขอบคุณ สวทช. มา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการพิจารณารับรองมาตรฐานวัสดุ น้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่มและสารผสมเพิ่มสำหรับการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). แนวทางการปฏิบัติงาน. *คู่มือปฏิบัติการควบคุมคุณภาพและการรับรองมาตรฐานวัสดุสำหรับงานก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ยางพารา)* : น.23-29

คณะอนุกรรมการขับเคลื่อนการปฏิรูปเศรษฐกิจด้านการเกษตร. (2559). *สรุปผลการประชุมคณะอนุกรรมการขับเคลื่อนการปฏิรูปเศรษฐกิจด้านการเกษตรในคณะกรรมการขับเคลื่อนการปฏิรูปด้านเศรษฐกิจ สภาขับเคลื่อนการปฏิรูปประเทศ ครั้งที่ 6*, 26 กุมภาพันธ์ 2559.

ทีมข่าวประชาสัมพันธ์ การยางแห่งประเทศไทย. (2562). *กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จัดโครงการส่งเสริมความร่วมมือนวัตกรรมถนนผสมยางพาราวัสดุสุดต้านโอบอ้อมหวังผลักดันนวัตกรรมถนนยางสู่ระดับนานาชาติ*. สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2563, จาก [https://www.raot.co.th/ewt\\_news.php?nid=7556](https://www.raot.co.th/ewt_news.php?nid=7556),

สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561) การผลิต การใช้ และการส่งออกยางของ ไทย. *ข้อมูลวิชาการยางพาราปี 2561*: (น.14-19)

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักงานนายกรัฐมนตรี. (2558) *ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทยปี 2558*. สืบค้นวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2562. จาก [https://www.nesdc.go.th/ewt\\_w3c/ewt\\_news.php?filename=io\\_page&nid=9712](https://www.nesdc.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?filename=io_page&nid=9712)

องค์การบริหารส่วนตำบลลาด. รายงานทั่วไปสำหรับงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก. โครงการก่อสร้างเสริมผิวถนนพาราแอสฟัลติกคอนกรีต

Miller, R. E., Blair, P. D. (1985). *Input-Output Analysis: Foundation and Extensions*. (2<sup>nd</sup> ed.). Cambridge University Press.

Steenge, A. E. (1978). Environmental Repercussions and the Economic Structure: Further Comments. *Review of Economics and Statistics*, 60(3), 482-486

ตารางที่ 1 โครงการจำลอง

โครงการจำลองที่	รายละเอียด
1	มีการนำน้ำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำถนน โดยปริมาณน้ำยางพาราถูกมาใช้เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 20
2	การทำถนนที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจากโครงการที่ 1 ร้อยละ 10
3	การทำถนนที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจากโครงการที่ 1 ร้อยละ 20
4	การผลิตยางล้อรถเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 10
5	การผลิตยางล้อรถเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติร้อยละ 20

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

	Intermediate Demand	Final Demand	Total Output
Intermediate Transactions	$\begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{matrix}$	$\begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix}$
Value-added	$\begin{matrix} V_1 & V_2 & \cdots & V_n \end{matrix}$		
Total Output	$\begin{matrix} X_1 & X_2 & \cdots & X_n \end{matrix}$		

ที่มา: Miller and Blair, 1985

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้นและการจ้างงานของโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการ (ร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากสถานการณ์ปกติ)

ตัวชี้วัด	โครงการจำลอง				
	1	2	3	4	5
ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้น <sup>1</sup>	0.030	0.032	0.034	0.006	0.012
การจ้างงาน <sup>2</sup>	0.036	0.039	0.042	0.006	0.011

**หมายเหตุ:**

<sup>1</sup>ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเบื้องต้น ณ ปี 2562 ของสถานการณ์ปกติคือ 16,879 พันล้านบาท (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2562)

<sup>2</sup>การจ้างงาน ณ ปี 2562 ของสถานการณ์ปกติคือ 37,483 พันคน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2562)

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าเพิ่มของโครงการจำลองทั้ง 5 โครงการ ในแต่ละสาขาการผลิต (ร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากสถานการณ์ปกติ)

สาขาการผลิต	โครงการจำลอง				
	1	2	3	4	5
เกษตรกรรม	0.004	0.004	0.004	0.001	0.001
การทำสวนยางพารา	2.501	2.750	3.000	0.120	0.239
การขุดเจาะและทำเหมือง	0.012	0.001	-0.011	0.008	0.017
การผลิตอาหาร	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	0.000	0.000	0.000	0.014	0.028
การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ	0.001	0.000	-0.001	0.001	0.001
อุตสาหกรรมสารเคมีและปิโตรเลียม	0.018	0.018	0.017	0.011	0.022
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่นๆ (ยางมะตอย)	0.014	-0.002	-0.017	0.010	0.020
การผลิตยางแผ่นรมควัน ยางเครปและยางแท่ง	0.000	0.000	0.000	0.177	0.355
การผลิตยางนอกและยางใน	0.000	-0.001	-0.003	1.005	2.010
การผลิตผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ	0.000	-0.001	-0.001	0.001	0.002
ผลิตภัณฑ์โลหะ อโลหะ และการผลิตเครื่องจักร	-0.002	-0.006	-0.010	0.001	0.002
การผลิตผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง	-0.001	-0.004	-0.007	0.000	0.000
สาธารณูปโภค	0.003	0.002	0.002	0.005	0.009
การก่อสร้าง	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
การก่อสร้างงานบริการสาธารณะที่ไม่เกี่ยวกับเกษตร	0.000	0.008	0.015	0.000	0.000
การขนส่งและการติดต่อสื่อสาร	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002
การค้า การบริการและอื่นๆ	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000