

JOURNAL OF

# SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 44 Number 1 January – February 2025

ISSN (Print ) : 2985-2617  
ISSN (Online ) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

INDEXED IN



# วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
สำนักงานกองบรรณาธิการ  
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150  
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

## ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่  
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง  
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

## บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

## ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมพรพรณ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิชมหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชา  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิทย์ กุมพล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ละอศรี เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงศ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง  
มหาวิทยาลัยนครพนม  
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรรค์ สุขะเสนา  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อาจารย์ เกสัชกร ดร.รักษ์จินดา วัฒนาลัย  
มหาวิทยาลัยสยาม

## เลขานุการ

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ

## ผู้ช่วยเลขานุการ

พักรัตน์ไฉ่ จันทร์ลอย  
จิรารัตน์ ภูสิฤทธิ

## กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ  
ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์  
ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน  
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน  
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม  
ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม  
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

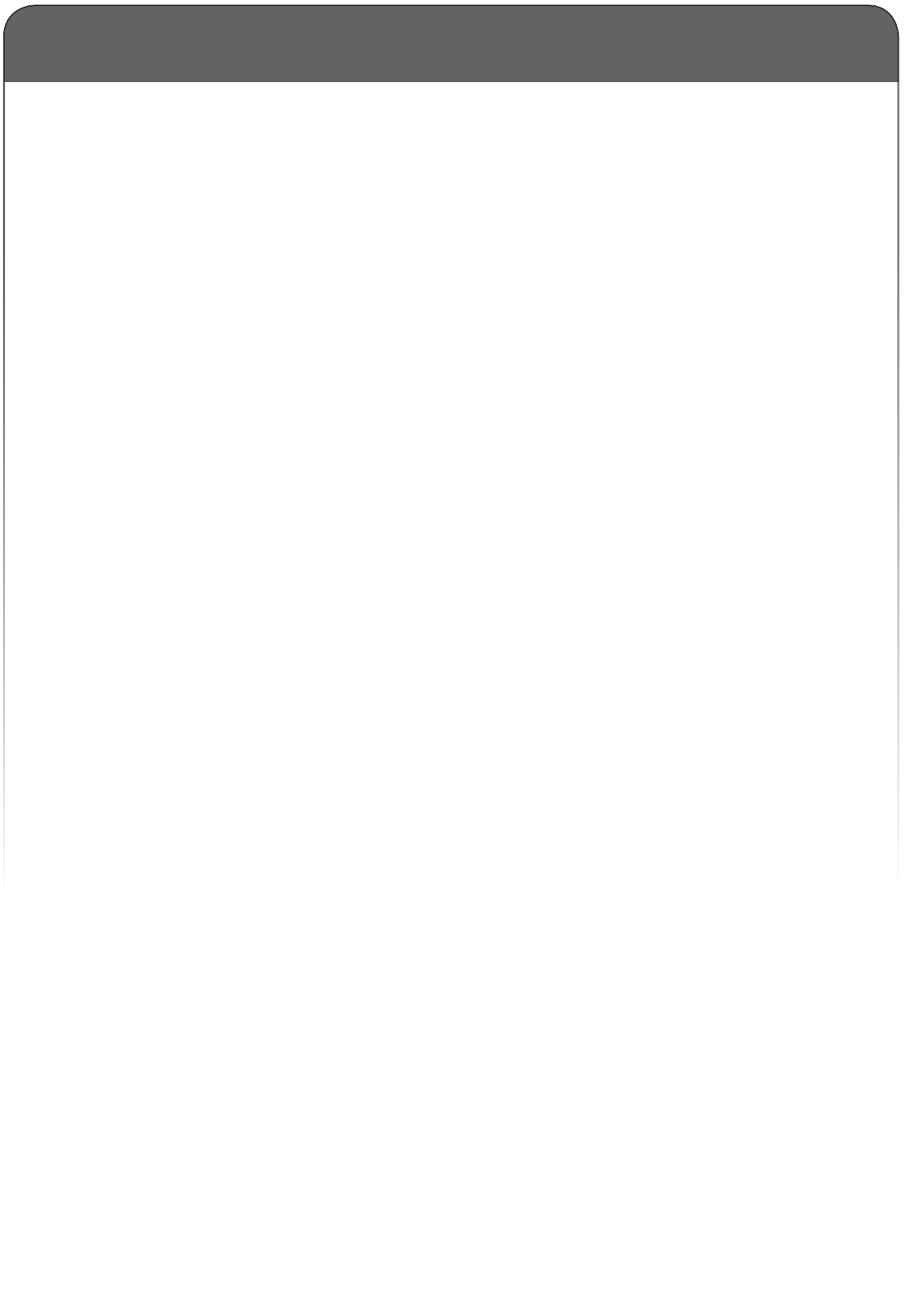
บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

### สิ่งมีชีวิตต่างถิ่น (alien species)

ในโลกที่มีการเชื่อมโยงกันมากขึ้น การเคลื่อนย้ายของสิ่งมีชีวิตไปยังถิ่นที่อยู่นอกเหนือจากแหล่งกำเนิดดั้งเดิมได้กลายเป็นปรากฏการณ์ทางนิเวศวิทยาที่สำคัญ สิ่งมีชีวิตต่างถิ่น หรือ ที่เรียกว่าสิ่งมีชีวิตนอกถิ่นกำเนิด (alien species) หมายถึงสิ่งมีชีวิตที่ถูกนำเข้ามายังพื้นที่ใหม่โดยเจตนาหรือไม่เจตนา แม้ว่าบางชนิดจะสามารถปรับตัวและอยู่ร่วมกับระบบนิเวศใหม่ได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหา แต่บางชนิดกลับกลายเป็นสายพันธุ์รุกรานที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เศรษฐกิจ และสังคม ผลกระทบของสิ่งมีชีวิตต่างถิ่นมีความซับซ้อนและหลากหลาย ในด้านลบ สิ่งมีชีวิตรุกรานสามารถทำลายสมดุลของระบบนิเวศ โดยแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตพื้นเมือง แย่งทรัพยากร ปรับเปลี่ยนโครงสร้างถิ่นอาศัย และอาจทำให้บางสายพันธุ์สูญพันธุ์ ตัวอย่างเช่น ปลาเทศบาลหรือปลาซีกเกอร์ธรรมดา (*Hypostomus plecostomus*) ที่ถูกนำเข้ามาก็ได้ทำให้ส่งผลต่อระบบนิเวศอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ทุกสายพันธุ์ต่างถิ่นจะก่อให้เกิดปัญหา บางชนิดสามารถเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของถิ่นที่อยู่ใหม่ เช่น ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และ หอยเชอร์รี่ (*Pomacea canaliculata* Lamarck) ได้เปลี่ยนแปลงไปเป็นสัตว์เศรษฐกิจสำคัญที่ช่วยพัฒนาสังคมมนุษย์อย่างมาก เนื่องจากผลกระทบที่มีทั้งด้านบวกและด้านลบ การจัดการสิ่งมีชีวิตต่างถิ่นจึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดความเสี่ยงและเพิ่มประโยชน์สูงสุด แนวทางที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ การป้องกันและการตรวจจับล่วงหน้า การกำจัดและควบคุม การสร้างความตระหนักและการบังคับใช้กฎหมาย และการบริหารจัดการเชิงบูรณาการ การป้องกันการนำเข้าสายพันธุ์รุกรานผ่านมาตรการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ การตรวจสอบเส้นทางการค้า และการประเมินความเสี่ยงเป็นแนวทางที่คุ้มค่าที่สุด สายพันธุ์ที่รุกรานและตั้งรกรากแล้วอาจกำจัดได้ยาก แต่สามารถลดผลกระทบได้ผ่านโครงการกำจัดเฉพาะทาง การใช้ศัตรูทางชีวภาพ และการฟื้นฟูถิ่นอาศัย การให้ความรู้แก่ประชาชน ผู้กำหนดนโยบาย และภาคอุตสาหกรรมเกี่ยวกับความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตต่างถิ่น เป็นกุญแจสำคัญในการบริหารจัดการระยะยาว แนวทางที่คำนึงถึงการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ ความยืดหยุ่นของระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนจะช่วยให้สามารถบริหารจัดการสิ่งมีชีวิตต่างถิ่นได้อย่างสมดุล

รศ.น.สพ.ดร.วรพล เองวานิช

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



## สารบัญ

### Agricultural Science

- การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางต้นไม้ชีวภาพจากเศษหังามันสำปะหลังและชานอ้อย 1  
 Study of the optimal ratio of biodegradable plant pot from cassava rhizome and bagasse  
 กานต์ วิรุณพันธ์, เกียรติชัย แซ่เท้า, ศุภวิชญ์ กวินจรณชัย, พวงทอง ทาเอื้อ และ สุรัสวดี ปลืโพธิ์  
 Kant Wirunphan, Kiattichai Saetow, Suphawit Kawiinjaronchai, Puangthong Taauea and Surassawadee Paliphot

### Biological Science

- การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกจากน้ำล้างการแปรรูปปลาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล 10  
 Selection of bacteria with probiotic properties from fish processing wastewater for use as ingredient in  
*Oreochromis niloticus* (nile tilapia) feed  
 นิสารัตน์ ตามสมศรี และ สุกัญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์  
 Nisarath Thamsamak and Sukhan Rattanloeadnusorn

- ความหลากหลาย และความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินปูน เขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง 20  
 ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู  
 Land snail diversity and abundance in limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai,  
 and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang district, Nong Bua Lumphu province  
 กิตติ ต้นเมืองปัก และ อาทิตย์ แก้วสว่าง  
 Kittit Tanmuangpak and Arthit Kaewsawang

- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบของสารสกัดดอกพวงชมพู 33  
 Antioxidant and anti-inflammatory of *Antigonon leptopus* flower extract  
 นฤภัสส์ คุ่มกลาง, พิพัฒน์พล สารโนทยาน และ นามอัย ปัญญา  
 Nadaphast Koomklang, Phiphatphol Saranothayan and Namoo Panya

### Chemistry

- การตรวจวัดตะกั่วในน้ำ โดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม 42  
 Detection of lead ion in water by the reagent extracted from pomegranate peel  
 วรณกษมา ฮารอน และ อลภา ทองไชย  
 Wankassama Haron and Alapa Thongchai

### Computer and Information Technology

- แบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 54  
 A model for analyzing the severity level of adverse drug reactions using machine learning  
 ศศิวิมล กอบัว, อรรถพล วงศ์กอบลาภ, ธรา อังสกุล และ จิตมินต์ อังสกุล  
 Sasiwimon Kobua, Akkapon Wongkoblaph, Thara Angskun and Jitimon Angskun

- การทำนายสุขภาพดินของพืชโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก 67  
 Prediction of soil health for plants using deep neural networks  
 ธวัชชัย พรหมรัตน์ และ ดุษฎี คำบุญเรือง  
 Thawatchai Promrat and Dusadee Khamboonrueng

### Engineering

- การออกแบบและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสำหรับสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ภาคใต้ของประเทศไทย 75  
 Design and development of automatic hatching machine for the bantam breed, Ban Wang Nak area in  
 Nakhon Si Thammarat province, Southern Thailand  
 วัชร คำหาญพล, ศักดิ์ศรี ขุนเพชร, วิชิต มาลาเวช, ชัยญญักษ์ ไชยพรรณ และ กริษา แก้วคงธรรม  
 Rawit Khamhanpol, Sakrapee Khunpetch, Vichit Malaweck, Chanyaphak Chaiyaphan and Kreettha Keawkongtham

- ผลของทังสเตนสมมูลต่อความแข็งหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดที่มีค่า 83  
 คาร์บอนสมมูลเท่ากับศูนย์  
 Effect of tungsten equivalent on hardness of heat-treated semi-multi-alloyed white cast irons with 0% carbon balance  
 วัฒนศักดิ์ สำรวย และ สุตสาคร อินธิเดช  
 Wattanasak Samruay and Sudsakorn Inthidech

### Geoinformatics Science

- การวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อประมาณค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 93  
 Geospatial analysis to estimate the solar energy in household scale by geographic information systems  
 จิรวาณ จันทองพูน, พรณรายณ์ บุญราศรี, รจนา คุณพูล, ศิริวัฒน์ จงหวัง, ณัฐพงศ์ อรุณวงศ์ และ วัชรภรณ์ แซ่จัน  
 Jirawat Jantongpoon, Pornarai Boonrasi, Rodjana Khoonpoon, Siriwat Jongwang,  
 Natapong Arunvong and Watcharaporn Sengain

# การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางต้นไม้ชีวภาพจากเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อย

## Study of the optimal ratio of biodegradable plant pot from cassava rhizome and bagasse

กานต์ วิรุณพันธ์<sup>1</sup>, เกียรติชัย แซ่เท่า<sup>1</sup>, ศุภวิชญ์ กวินจรณชัย<sup>1</sup>, พวงทอง ทาเอื้อ<sup>1</sup> และ สุรัสวดี ปลิโพธ<sup>2\*</sup>  
Kant Wirunphan<sup>1</sup>, Kiattichai Saetow<sup>1</sup>, Suphawit Kawiinjaronchai<sup>1</sup>,  
Puangthonng Taauea<sup>1</sup> and Surassawadee Paliphot<sup>2\*</sup>

Received: 29 January 2024 ; Revised: 17 April 2024 ; Accepted: 7 May 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขาน้อยต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กระถางต้นไม้ โดยนำเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยมาบดให้เป็นผงและแยกด้วยตะแกรงเบอร์ 80 เมช จากนั้นนำมาผสมกันที่อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน นำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแรงอัด 10 ตัน เป็นเวลา 5 นาที นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำกระถางที่ได้ไปทดสอบค่าความเค้นแรงกด อัตราการขยายตัวเมื่อสัมผัสความชื้น และการเสียรูปทรงจากการใช้งานจริง ผลการทดลองพบว่าเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้ได้ และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและกายภาพที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนผสมที่ 10:90 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าความเค้นแรงกด  $0.19 \pm 2.27$  นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีอัตราการขยายตัวเมื่อสัมผัสความชื้นร้อยละ 7.97 และการเสียรูปทรงในการใช้งานที่ระยะเวลา 14 วัน น้อยที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของขาน้อยมีเส้นใยเหนียวจึงช่วยในการยึดเกาะโครงสร้างของกระถางต้นไม้ได้ดี

**คำสำคัญ:** เศษเหง้ามันสำปะหลัง, ขาน้อย, กระถางต้นไม้ชีวภาพ

### Abstract

This research aimed to study the effect of different mixing ratios of cassava rhizome waste and bagasse on the mechanical and physical properties of plant pot products. The cassava rhizome waste and bagasse were crushed into powder and sieved using a No. 80 mesh sieve. The powders were then mixed at ratios of 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, and 10:90 (cassava rhizome waste: bagasse) by weight, with wet starch used as the binder. The mixtures were processed under a compression force of 10 tons for 5 minutes. The resulting plant pots were dried at 60°C for 6 hours and then tested for mechanical and physical properties, including compressive stress, expansion rate when exposed to moisture, and deformation under actual usage conditions. The study found that a mixture of cassava rhizome waste and bagasse could effectively form plant pot products. The optimal mixing ratio for achieving the best mechanical and physical properties was 10:90 by weight. This ratio exhibited a compressive stress of  $0.19 \pm 2.27$  N/mm<sup>2</sup>, an expansion rate of 7.97% when exposed to moisture, and minimal deformation over a 14-day period of actual use. The presence of sticky fibers in bagasse contributed to better structural integrity and reduced deformation in the plant pots. These findings highlight the potential of using cassava rhizome waste and bagasse as sustainable materials for developing plant pot products with desirable mechanical and physical properties.

**Keywords:** Cassava rhizome residue, Bagasse, Biodegradable plant pot

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อ.เมืองตาก จ.ตาก 63000

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อ.เมืองตาก จ.ตาก 63000

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang Tak, Tak, 63000, Thailand.

<sup>2</sup> Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang Tak, Tak, 63000, Thailand.

\* Corresponding author: Email: scisur@rmu.ac.th

## บทนำ

จังหวัดตากมีพื้นที่ทางการเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยคิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ 845,494.45 ไร่ (สนง.เศรษฐกิจการเกษตร, 2566) พืชเศรษฐกิจที่สำคัญได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง ข้าวนาปี และลำไย มีเนื้อที่ในการเพาะปลูก 594,550 ไร่ 207,091 ไร่ 382,364 ไร่ และ 29,991 ไร่ ตามลำดับ ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตรเป็นอย่างมาก ซึ่งเศษเหลือทางการเกษตรจากพืชไม่ว่าจะเป็นข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณที่สูงมาก และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สูงมากเช่นกัน การจัดการเศษเหลือทางการเกษตรของเกษตรกรไทยในปัจจุบันมีทั้งหมด 3 วิธีด้วยกัน 1) การใช้เป็นอาหารปศุสัตว์ ซึ่งนิยมใช้ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด 2) การย่อยสลายทางธรรมชาติ ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยม แต่ใช้ระยะเวลาในการสลายค่อนข้างนานทำให้เสียเวลาที่จะเพาะปลูกในรอบต่อไป 3) การเผาวิธีนี้เป็นที่นิยมในเกษตรเป็นจำนวนมาก แต่จะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เรียกว่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (pm 2.5) ทำให้ภาครัฐมีมาตรการที่เข้มงวดเพิ่มมากขึ้นทำให้เกษตรกรไม่สามารถเผาเศษเหลือทางการเกษตรได้ ปัจจุบันได้มีอุตสาหกรรมเข้ามารองรับการจัดการเศษเหลือทางการเกษตรพวกนี้เช่นอุตสาหกรรมอาหารปศุสัตว์ อุตสาหกรรมน้ำตาล และอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า ชีวมวล ซึ่งในพื้นที่จังหวัดตากยังไม่มีการทำโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกนี้ และแต่ละอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดในการใช้วัสดุทางการเกษตรเป็นปัจจัยการผลิตที่แตกต่างกันไป (อุกฤษ, 2565) ฟางข้าว ชานอ้อย และมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ คือ เซลลูโลส ร้อยละ 37-45 (นิพนธ์ และคณะ, 2565) ซึ่งเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ทางธรรมชาติที่ประกอบอยู่ในพืชที่สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยการต้มในเบส และมีการใช้ตัวประสานในการเพิ่มความเหนียวและความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (จันทิมา และคณะ, 2565) จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และก่อให้เกิดมูลค่าในรูปแบบต่าง ๆ เช่นการนำกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์มมาผลิตกระถางต้นไม้ทดแทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติก โดยศึกษาอัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยางต่อวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 โดยน้ำหนัก และทะลายปาล์ม 25 กรัม ใช้กาบแปงเปียกเป็นตัวประสาน นำไปขึ้นรูปเป็นกระถาง พบว่า อัตราส่วน 0:100 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 246.67 กรัม สามารถขึ้นรูปเป็นกระถางได้ดี มีความแข็งแรง และมีผิวเรียบเนียน มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานจริง มีค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 99.18 ค่าการพองตัวร้อยละ 81.93 และมีการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ช้าที่สุด (Kaewmanee, 2021) จากการพัฒนา

กระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากเส้นใยทะลายปาล์มและซีลี้อยในอัตราส่วน 30:70, 50:50, 70:30 และ 100:0 โดยกำหนดให้มีความหนา 2, 5 และ 6 มิลลิเมตร อัดด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที พบว่าสามารถขึ้นรูปกระถางได้เพียง 3 สูตรได้แก่ 50:50, 70:30 และ 100:0 ความหนา 5 มิลลิเมตร เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที อัตราส่วน 70:30 มีการดูดซับน้ำได้ดีที่สุด จากการทดสอบการย่อยสลายในสภาวะแห้ง สภาวะรดน้ำทุก 7 วัน และสภาวะรดน้ำทุกวัน พบว่าอัตราส่วน 70:30 มีการย่อยสลายมากที่สุด (Thammachot *et al.*, 2019) เมื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุปลูกจากชานอ้อย ซีลี้อยและเปลือกไข่ จำนวน 4 อัตราส่วน คือ 75:75:0, 75:75:15, 75:75:30 และ 75:75:45 โดยน้ำหนัก มีกาบแปงเปียกเป็นวัสดุประสาน พบว่าทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกได้ และอัตราส่วน 75:75:30 มีความเหมาะสมที่สุด คือมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีการยึดเกาะของวัสดุได้ดี ค่าการดูดซับน้ำเฉลี่ยร้อยละ 38.92 ค่าการสลายตัวเฉลี่ยร้อยละ 2.77 มีค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) 6.02 และค่าการนำไฟฟ้า (EC) 3.58 dS/m แสดงให้เห็นถึงความเค็มของวัสดุปลูกที่อาจส่งผลกระทบต่อพืชที่อ่อนไหวต่อความเค็มได้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเปลือกไข่ส่งผลให้การดูดซับน้ำและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Nunkong & Saeui, 2020) วัสดุที่ใช้เป็นตัวประสานมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำแป้งเปียก ดินเหนียว กากน้ำตาล ผักตบชวา มูลสัตว์ ยางไม้ น้ำมันดิบ และผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม แป้งเปียกเกิดจากน้ำแป้ง เมื่อดูดด้วยกล้องจุลทรรศน์ ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดรวมกัน แต่ละเม็ดยาว 5-35  $\mu\text{m}$  ที่เกิดการดูดซับน้ำของเม็ดแป้งที่ละลายในน้ำเย็นจะเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างโมเลกุลแป้งในบริเวณอสัณฐานกับโมเลกุลของน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 58..5-70 องศาเซลเซียส พันธะไฮโดรเจนที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะอ่อนตัวลง ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้น น้ำแป้งจะเปลี่ยนเป็นแป้งเปียกที่มีลักษณะเหนียวหนืดมากขึ้น นิพนธ์ และคณะ, 2565 เปรียบเทียบตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังในการทำกระถางชีวภาพจากผักตบชวา อัตราส่วนผักตบชวาต่อตัวประสาน 0:1, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก พบว่ากระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยประสานทั้ง 2 ชนิดที่อัตราส่วน 5:5 มีความเหมาะสมต่อการขึ้นรูป เมื่อทดสอบการรับแรงอัดพบว่าตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังมีค่ารับแรงอัดที่ 0.81 และ 0.41 เมกะปาสกาลตามลำดับ เมื่อทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยการปลูกผักซีเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบร่องรอยการเสื่อมสภาพตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าเศษเหลือใช้ทางการเกษตรเช่นชานอ้อยสามารถ

นำมาเป็นวัสดุปลูกได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปของกระถางปลูกต้นไม้จากเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กระถางต้นไม้

## การทดลอง

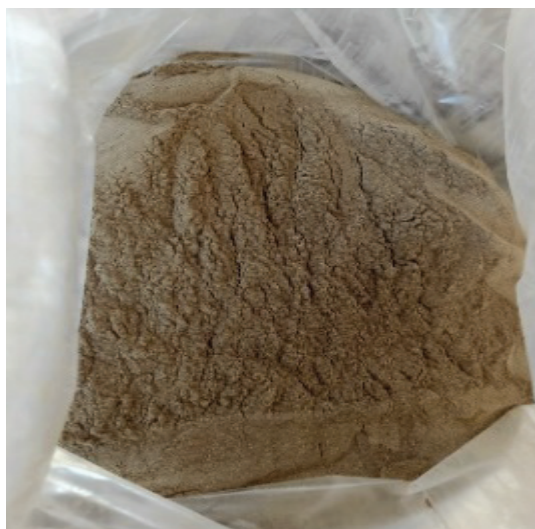
### ออกแบบชุดแม่พิมพ์กระถาง

การจัดทำแม่พิมพ์กระถางปลูกต้นไม้มีแนวคิดที่จะทำกระถางปลูกต้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงถาด เนื่องจากมีรูปร่างที่สวยงาม เป็นที่นิยมในการนำไปใช้งานและสามารถปลูกอยู่ได้ดินได้หรือสามารถแขวนปลูกก็ได้ ส่วนสำคัญที่จะ

ต้องพิจารณาคือวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปกระถางสามารถรับแรงกดอัดจากเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 10 ตัน โดยพิจารณาเลือกระหว่างโลหะอะลูมิเนียมเกรด 6xxx และ เหล็กหล่อ SUS 431

### การเตรียมวัตถุดิบ

นำเหง้ามันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 5 และขาน้อยสายพันธุ์อุทอง 11 ไปตากแดดเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและตีย่อยจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมช ตามมาตรฐาน ASTM E11 เพื่อคัดเอาเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 0.177 มิลลิเมตร ในส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงนำมาบดแล้วร่อนอีกครั้ง วัดความชื้นให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ก่อนเก็บรักษาวัสดุเอาไว้ในถุงปราศจากความชื้นเพื่อเตรียมขึ้นรูปกระถางต่อไปดัง Figure 1



(a) Cassava rhizome powder



(b) Bagasse powder

**Figure 1** Cassava rhizome and bagasse powder that has been sorted by sieve number 80

### การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomize design, CRD) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 9 ชุดการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักเศษเหง้ามันสำปะหลังต่อขาน้อยที่ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 ตามลำดับ ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance, ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) และกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 16

### การเตรียมชิ้นงานกระถาง

ทำการผสมเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 ตามลำดับ โดยเทียบน้ำหนัก 1,000 กรัม ใช้กาวแบ่งเปือกเป็นตัวประสานปริมาณ 400 กรัม การเตรียมตัวประสานโดยนำแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ต่อน้ำ 1,000 มิลลิลิตร มาละลายในหม้อโดยใช้ไฟอ่อน จนแบ่งเปือกมีลักษณะเหนียวใส ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาเป็นส่วนผสม (Piyang & Chaichan, 2018) ผสมเศษเหง้ามันสำปะหลัง ขาน้อย และตัวประสานด้วยเครื่องผสมมอร์ตาร์ (T-11005 Mortar Mixer, TEQ) นำวัสดุที่ผ่านการผสมมาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ให้ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร สูง 90 มิลลิเมตร ผนังหนา  $10 \pm 1$  มิลลิเมตร

ตามแบบอัดขึ้นรูปโดยแรงกดอัดจากเครื่องอัดไฮดรอลิก 10 ตัน กดแชเป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำออกมาตั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อน Horizontal Flow Oven รุ่น WOF-105 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (Wisetsin, 2010) แล้วนำชิ้นงานกระถางไปทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพต่อไป

#### การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน

การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยหาค่าความเค้นแรงกดในหน้าชิ้นงานจริงด้วยเครื่องทดสอบ ความต้านทานต่อแรงกดอัดของวัสดุ (Compressive Test) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H50K มีความสามารถในการกดมากที่สุด 2,000 KN ระยะกดมากที่สุด 200 mm. บันทึกข้อมูลทุก 0.004 mm. ศึกษาลักษณะการเสียรูปหรือแตกหักของชิ้นงาน โดยการกดเริ่มจากเพิ่มแรงกดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอจนกระทั่งชิ้นงานเสียรูป

ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดย 1) หาค่าการดูดซับน้ำตามมาตรฐาน มอก. 876 - 2547 ทำการตัดตัวอย่างทดสอบขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ตัดจากด้านบนของกระถางต้นไม้ วัดน้ำหนักชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดก่อนแช่ชิ้นงานตัวอย่างในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนักที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ ปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้นมาวัดน้ำหนัก หาสมบัติการดูดซึมน้ำ ดังนี้

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

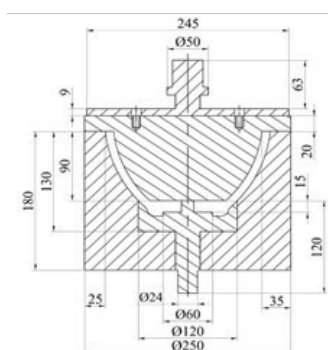
โดยที่ W คือน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังการแช่น้ำ (กรัม) และ  $W_0$  คือน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการแช่น้ำ (กรัม) 2) ทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจากการใช้งาน โดยจะนำชิ้นงานใส่ดินสำหรับปลูกพืชและทำ

การรดน้ำปริมาณ 200 มิลลิลิตรต่อกระถางตัวอย่าง วันละ 1 ครั้ง ในตอนเช้าเป็นระยะเวลา 14 วัน (นุชนาฏ และกนกรัตน์, 2560)

#### ผลการทดลองและอภิปรายผล

##### ออกแบบชุดแม่พิมพ์กระถาง

ในการขึ้นรูปกระถางเป็นกระบวนการอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 10 ตัน ขณะทำการกดอัดขึ้นรูปกระถางในแนวตั้งจะมีแรงกดบางส่วนกระจายเบียดไปบริเวณด้านข้างหรือผนังของแม่พิมพ์ อาจทำให้ผนังของแม่พิมพ์เกิดการแตกหักได้ จากการคำนวณหาค่าแรงเฉลี่ยจากแรงที่กระทำต่อพื้นที่ในการรับแรงของกระถางปลูกต้นไม้ จึงเลือกใช้โลหะอลูมิเนียม 6061 แทนเหล็ก เนื่องจากโลหะอลูมิเนียมเกรด 6xxx เป็นโลหะอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมกับซิลิกอน มีสัดส่วนและปริมาณโดยทั่วไป คือแมกนีเซียม 0.6 - 1.2 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกอน 0.4 - 1.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้อย โดยโลหะผสมดังกล่าวสามารถทำการเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเติมสัดส่วนของโครเมียมหรือทองแดงเข้าไปได้ เหมาะกับการนำไปทำแม่พิมพ์ ในส่วนโลหะประเภทเหล็กหล่ออื่นนั้นเหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากกว่า 1.7 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหล็กชนิดนี้จะขึ้นรูปได้ด้วยวิธีหล่อเท่านั้น เพราะปริมาณคาร์บอนที่สูงทำให้โครงสร้างมีคุณสมบัติที่แข็งแต่เปราะจึงไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการรีดหรือวิธีทางกลอื่น ๆ ได้ หลักสำคัญในการออกแบบรูปร่างของตัวกระถาง คือให้มีลักษณะเป็นรูปทรงถาด เนื่องจากรูปร่างที่สวยงาม สามารถปลูกอยู่ใต้ดินได้หรือสามารถแขวนปลูกก็ได้ โดยออกแบบให้ชิ้นงานกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร สูง 90 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร สามารถแสดงดัง Figure ที่ 2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานจากเศษเหล็กมันสำปะหลังผสมขานอ้อยด้วยแรงกดอัดจากเครื่องอัดไฮดรอลิก 10 ตัน กดแชเป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้ผลการขึ้นรูปดัง Figure 3



(a) Draft of plant pot mod



(b) Aluminum pot mod

Figure 2 Draft plant pot mod and aluminum pot mod



**Figure 3** Plant pot mod from the cassava rhizome and bagasse by hydraulic machine

### ผลการทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบคุณสมบัติทางกลเป็นการทดสอบหาค่าความเค้นแรงกดในหน้าขึ้นงานกระถางต้นไม้ที่อัดขึ้นรูปจากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขาน้อยที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมช ตามมาตรฐาน ASTM E11 ที่ อัตราส่วนผสม 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทำการทดสอบแรงกดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H50KS สามารถเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงกด ดัง Table 1

**Table 1** The compressive force of plant pot from cassava rhizome and bagasse

| Ratio of cassava rhizome and bagasse (%w) |         | Compressive force (N)      | Compressive stress (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------|---------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Cassava Rhizome                           | Bagasse |                            |                                         |
| 90                                        | 10      | 2,669.13±6.87 <sup>a</sup> | 0.11±2.25 <sup>a</sup>                  |
| 80                                        | 20      | 2,704.50±4.65 <sup>a</sup> | 0.11±1.23 <sup>a</sup>                  |
| 70                                        | 30      | 2,738.73±4.98 <sup>a</sup> | 0.11±1.14 <sup>a</sup>                  |
| 60                                        | 40      | 2,613.96±6.57 <sup>a</sup> | 0.11±2.18 <sup>a</sup>                  |
| 50                                        | 50      | 3,459.66±7.37 <sup>b</sup> | 0.14±3.25 <sup>b</sup>                  |
| 40                                        | 60      | 3,586.76±4.87 <sup>b</sup> | 0.15±1.20 <sup>b</sup>                  |
| 30                                        | 70      | 4,441.56±5.47 <sup>c</sup> | 0.18±1.94 <sup>c</sup>                  |
| 20                                        | 80      | 4,472.06±6.00 <sup>c</sup> | 0.18±2.12 <sup>c</sup>                  |
| 10                                        | 90      | 4,613.59±6.88 <sup>c</sup> | 0.19±2.27 <sup>c</sup>                  |

Means within the same column followed by different latter are significantly different ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงกดของกระถางปลูกต้นไม้จากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขาน้อยพบว่าเมื่อปริมาณขาน้อยเพิ่มมากขึ้นความสามารถรับความเค้นแรงกดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยขาน้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลสร้อยละ 68.50 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 18.80 ลิกนินร้อยละ 6.40 เพคตินร้อยละ 1.10 ไขมันและแว็กซ์ร้อยละ 3.20 โดยปริมาณองค์ประกอบเหล่านี้จะทำให้เส้นใยมีลักษณะค่อนข้างใหญ่ และหยากกระต้าง ลักษณะของเส้นใยติดเป็นแพจำนวน 2-8 เส้น โดยเส้นใยขาน้อยมีความแข็งแรง จับโค้งงอได้ดี ไม่หักง่าย เหนียวทนน้ำได้ดี (Poonpipat, 2021) ขึ้นงานกระถางต้นไม้ขึ้นรูปจากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขาน้อยที่อัตราส่วนผสม 10:90 โดยน้ำหนักมีค่าความเค้นแรงกดสูงสุดคือ 0.19±2.27 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

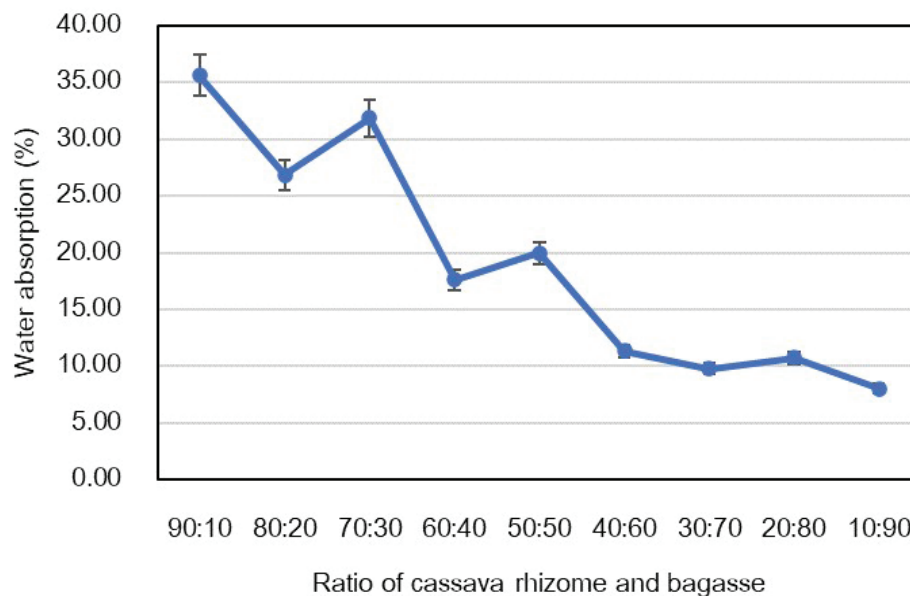
### ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ตัดขึ้นกระถางต้นไม้ที่อัดขึ้นรูปจากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขาน้อยขนาดกว้างและยาว 50 มิลลิเมตรโดยตัดจากด้านบนของกระถางต้นไม้ทำการวัดน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลดัง Table 2 ข้อมูลหลังการดูดซับน้ำในแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การวัดน้ำหนักของกระถางปลูกต้นไม้จากเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยพบว่าน้ำหนักก่อนการแช่น้ำทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วง 10.18-10.67 กรัม และน้ำหนักหลังจากแช่น้ำมีน้ำหนักมากกว่าก่อนการแช่น้ำในทุกอัตราส่วนมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 11.17-13.93 กรัม เนื่องจากเส้นใยของเศษเหง้ามันสำปะหลังและขาน้อยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักเมื่อทำการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซึมน้ำแสดงดัง Figure 4

**Table 2** The weight of water absorption of plant pot from cassava rhizome and bagasse

| Ratio of cassava rhizome and bagasse |         | Weight of water absorption (g) |                         |
|--------------------------------------|---------|--------------------------------|-------------------------|
| Cassava Rhizome                      | Bagasse | Before                         | After                   |
| 90                                   | 10      | 10.27±1.07 <sup>a</sup>        | 13.93±1.12 <sup>c</sup> |
| 80                                   | 20      | 10.67±1.49 <sup>a</sup>        | 13.54±1.87 <sup>c</sup> |
| 70                                   | 30      | 10.40±1.04 <sup>b</sup>        | 13.72±1.56 <sup>c</sup> |
| 60                                   | 40      | 10.48±1.25 <sup>b</sup>        | 12.33±0.94 <sup>b</sup> |
| 50                                   | 50      | 10.52±1.68 <sup>c</sup>        | 12.62±1.13 <sup>b</sup> |
| 40                                   | 60      | 10.18±1.41 <sup>a</sup>        | 11.34±1.62 <sup>a</sup> |
| 30                                   | 70      | 10.60±1.62 <sup>c</sup>        | 11.64±0.97 <sup>a</sup> |
| 20                                   | 80      | 10.40±1.44 <sup>b</sup>        | 11.51±1.54 <sup>a</sup> |
| 10                                   | 90      | 10.34±1.02 <sup>a</sup>        | 11.17±2.35 <sup>a</sup> |

Means within the same column followed by different latter are significantly different ( $p \leq 0.05$ )

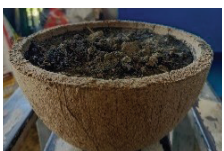
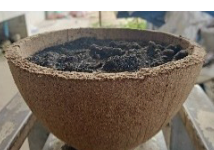
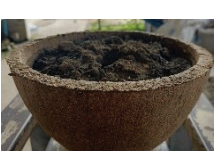
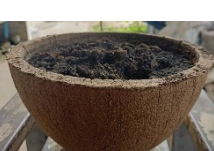


**Figure 4** The percentage of water absorption of plant pot from cassava rhizome and bagasse

จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของกระถางปลูกต้นไม้จากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขุยมะพร้าว พบว่าอัตราส่วนผสม 90:10 มีอัตราการขยายตัวมากที่สุดร้อยละ 35.63 และอัตราส่วนผสม 10:90 มีอัตราการขยายตัวน้อยที่สุดร้อยละ 8.02 โดยการดูดซึมน้ำของกระถางจากเศษเหง้ามันสำปะหลังผสมขุยมะพร้าวที่อัตราส่วน 90:10 มีปริมาณมาก เนื่องจากเศษเหง้ามันสำปะหลังจัดเป็นวัตถุติดประเภทโพลีเมอร์ ซึ่งมีความแข็งแรงและทนทานประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเมื่อถูกแช่น้ำในโพลีเมอร์ซึ่งมีความแข็งแรงสามารถดูดซับน้ำ

เข้าไปในโมเลกุลได้ปริมาณมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Sanguansuk, 2009 และ Kaewchuea & Kiatnukul, 2011 ที่พบว่าเมื่อนำกระถางต้นไม้จากซีเมนต์มาทดสอบจะมีปริมาณของช่องว่างวัสดุมากจนทำให้น้ำแทรกเข้าไปในวัสดุที่อยู่ในเนื้อชิ้นส่วนได้มากทำให้เกิดการดันตัวของชิ้นส่วนออกมาทำให้เกิดการพองตัวได้มาก เมื่อทำการทดสอบการเสวยรูปทรงจากการใช้งานระยะเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิห้อง โดยนำชิ้นงานใส่ดินปลูกและทำการรดน้ำปริมาณ 200 มิลลิลิตร วันละ 1 ครั้ง ทุกเช้า จากการสังเกตด้วยสายตา แสดงดัง Table 3

**Table 3** The deformation of plant pot from cassava rhizome and bagasse storage at room temperature for 14 day.

| Ratio of cassava rhizome and bagasse |         | Storage time (day) at room temperature                                              |                                                                                      |                                                                                       |
|--------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Cassava Rhizome                      | Bagasse | Day 1                                                                               | Day 7                                                                                | Day 14                                                                                |
| 90                                   | 10      |    |    |    |
| 80                                   | 20      |    |    |    |
| 70                                   | 30      |    |    |    |
| 60                                   | 40      |   |   |   |
| 50                                   | 50      |  |  |  |
| 40                                   | 60      |  |  |  |
| 30                                   | 70      |  |  |  |
| 20                                   | 80      |  |  |  |
| 10                                   | 90      |  |  |  |

จาก Table 3 แสดงให้เห็นลักษณะการเสียรูปทรงทางกายภาพจากการใช้งานเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่ากระถางต้นไม้จากเศษเหล้ามันสำปะหลังผสมขี้เถ้าอัตราส่วน 10:90 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพน้อยกว่าอัตราส่วนผสมอื่น สอดคล้องกับผลการทดสอบการดูดซับน้ำที่อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าอัตราส่วนอื่น และเส้นใยขี้เถ้ามีเส้นใยค่อนข้างเหนียว ความสามารถในการดูดซับน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าอัตราส่วนผสมอื่น

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการหาอัตราส่วนของเศษเหล้ามันสำปะหลังผสมขี้เถ้าที่เหมาะสม โดยนำเศษเหล้ามันสำปะหลังและขี้เถ้าที่ร่อนผ่านกระแกรงเบอร์ 80 เมช ตามมาตรฐาน ASTM E11 ทำการอัดขึ้นรูปด้วยแรง 10 ตัน กดแช่เป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก และปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที พบว่า วัสดุที่ผลิตจากเศษเหล้ามันสำปะหลังและขี้เถ้าในภาคเกษตรกรรมสามารถทำการขึ้นรูปและผลิตเป็นกระถางต้นไม้ได้ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษมันสำปะหลังและขี้เถ้าที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ พบว่า อัตราส่วน 10:90 มีค่าความเค้นแรงกดอัดค่าความเค้นแรงกดมากที่สุด คือ 0.196 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานโดยการทดสอบอัตราการขยายตัวเมื่อสัมผัสความชื้นพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างเศษเหล้ามันสำปะหลังผสมขี้เถ้าที่ 10:90 มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเมื่อสัมผัสความชื้นน้อยที่สุด คือร้อยละ 8.02 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยการสังเกตลักษณะผิวภายนอก การคงรูปทรง และการแตกร้าวของกระถางปลูกต้นไม้ จากสภาพการใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างเศษเหล้ามันสำปะหลังผสมขี้เถ้าที่ 10:90 มีสภาพการเสียรูปทรงจากการใช้งานจริงน้อยที่สุด งานวิจัยนี้จะมีผลสัมฤทธิ์มากยิ่งขึ้นหากมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้านอื่น ๆ ของเศษเหล้ามันสำปะหลังและขี้เถ้าก่อนและหลังการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม หากมีการทดลองปลูกพืชจริงจะทำให้งานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และเป็นแนวทางในการนำเศษเหลือทางเกษตรอื่น ๆ เช่น เปลือกข้าวโพด ฟางข้าว มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการจัดการของเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และเปิดโอกาสให้ได้ทำงานวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- จันทิมา ช้างสิริพร, พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า และนิรนา ชัยฤกษ์. (2565). การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากฟางข้าวและขี้เถ้าโดยใช้โคโคซานเคลือบผิว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 27(1), 20-30.
- นิพนธ์ ดันไพบลีย์กุล, ธรพร บุศย์น้ำเพชร, กนกวรรณ ศุกรนันท์ และพิมพ์ภา โพธิ์ลังกา. (2565). กระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 8(1), 56-69.
- นุชนาฏ นิลอ และกนกรัตน์ นาวิกการ. (2560). การผลิตกระถางเพาะชำต้นจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566, May). ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดตาก. <https://www.opsmoac.go.th/tak-dwl-files-441591791909/>
- อุกฤษ อุณหเลขกะ. (2565). การส่งเสริมเกษตรกรเก็บซากวัสดุทางการเกษตรผ่านแอปพลิเคชัน รีคัลท์. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช). [https://Khonthai4-0.net/system/resource/file/kpfgo\\_content\\_attach\\_file\\_320\\_1.pdf](https://Khonthai4-0.net/system/resource/file/kpfgo_content_attach_file_320_1.pdf).
- Chungsiriporn, J., Pongyeela, P., & Chairerk, N. (2022). Production of Molded Pulp Packaging from Rice Straw and Bagasse Coating by Chitosan. *Burapha Science Journal*, 27(1), 20-30.
- Kaewmanee, J. (2021). The production of biodegradable flowerpot from sludge of rubber factory with waste from mushroom culture and palm bunches. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 84-93.
- Kaewchuea, P., & Kiatnukul, W. (2011). Project for the development of plant pots from sawdust. *The 8<sup>th</sup> National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference*, December 8-9, 2011, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom: Kasetsart University.
- Nunkong, W., & Saeui, Nattaporn. (2020). Possibility of growing material from bagasse sawdust and eggshell. *The 12<sup>th</sup> NPRU National Academic Conference*, Nakhon Pathom Rajabhat University.
- Piyang, T., Sagulsawasdiapan, K., & Chaichan, W. (2018). Production plant pot from palm oil sludge mixed mushroom cultivation waste. Faculty of science and fisheries technology, Rajamengals University of Technology Srivijaya.

- Poonpipat, C. (2021). *Development of natural rubber composites filled with cellulose fiber from sugarcane bagasse* [Master dissertation, Chulalongkorn University].
- Sanguansuk, P. (2009). *Development of molded-pulp pot packaging from palm oil sludge and activated sludge cake for plant seedlings* [Master dissertation, Kasetsart University].
- Thammachot, N., Muksan, C., & Sakmas, C. (2019). *Flower pot from empty fruit bunch fiber of oil palm and wood dust*. Rajamengals University of Technology Srivijaya.
- Wisetsin, W. (2010). *Development of Nursery pot products from paper wastes in hat yai city municipality* [Master dissertation, Prince of Songkla University].

# การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกจากน้ำล้างการแปรรูปปลาเพื่อใช้เป็น ส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล

## Selection of bacteria with probiotic properties from fish processing wastewater for use as ingredient in *Oreochromis niloticus* (nile tilapia) feed

นิศารัตน์ ตามสมัค<sup>1\*</sup> และ สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์<sup>2</sup>

Nisarath Thamsamak<sup>1</sup> and Sukhan Rattanloedanusorn<sup>2</sup>

Received: 11 August 2023 ; Revised: 27 October 2023 ; Accepted: 20 March 2024

### บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติโพรไบโอติกจากน้ำล้างการแปรรูปปลา และศึกษาผลของการใช้โพรไบโอติกเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล จากการคัดแยกและจัดจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ FM7 FM11 และ FM12 ที่แยกจากน้ำล้างปลา พบว่าแบคทีเรียดังกล่าวสามารถสร้างเอนไซม์โปรตีเอส อะไมเลส และไม่ย่อยเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ ยังสามารถเจริญเติบโตที่ความเป็นกรดต่างในช่วง 2 -10, NaCl ความเข้มข้น 0-10 % (w/v) และน้ำดีสดปลอดเชื้อของปลานิลที่มีความเข้มข้น 0, 10, 30 และ 50 % (v/v) การทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรค *Aeromonas hydrophila* ด้วยวิธี Antagonistic test ปรากฏว่าเฉพาะไอโซเลท FM11 แสดงบริเวณยับยั้ง จากการจัดจำแนกด้วยวิธีทางชีวเคมีและชีวโมเลกุลด้วย VITEK<sup>®</sup> 2 Compact และการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA ตามลำดับ พบว่าไอโซเลท FM11 มีความใกล้เคียงกับเชื้อ *Bacillus siamensis* KCTC13613 ที่ความเหมือน 99.77 % ผลการเจริญเติบโตของปลานิล ด้วยการผสม 0.3 % แบคทีเรียโพรไบโอติก ในอาหารเลี้ยงปลา พบว่าการเพาะเลี้ยงปลานิลด้วยแบคทีเรีย *B. siamensis* ไอโซเลท FM11 ปลานิลเจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยมีน้ำหนักเท่ากับ  $2.15 \pm 0.13$  กรัมต่อตัวต่อวัน และมีอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ  $87.50 \pm 5.89$  % ส่วนการเลี้ยงปลาด้วยอาหารเลี้ยงปลาอย่างเดียวน้ำหนักเท่ากับ  $0.96 \pm 0.11$  กรัมต่อตัวต่อวัน อัตราการรอดชีวิต  $79.17 \pm 29.46$  ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้น จึงควรเลี้ยงปลานิลโดยให้อาหารร่วมกับแบคทีเรียโพรไบโอติกไอโซเลท FM11 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอาหารเลี้ยงปลานิล ส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มน้ำหนัก และเพิ่มอัตราการรอดชีวิต ซึ่งทดแทนการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเลี้ยงปลาแบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียวได้

**คำสำคัญ:** การคัดเลือก, การจำแนกลักษณะ, แบคทีเรีย, โพรไบโอติก, น้ำล้างจากกระบวนการแปรรูปปลา, ปลานิล

### Abstract

The aim of this research was to select bacteria with probiotic properties from fish processing wastewater and to investigate the effects of using probiotics as an ingredient in feed for Nile tilapia. The isolation and morphological characterization of bacteria including FM7 FM11 and FM12 from fish processing wastewater, found that all isolates could produce protease and amylase enzymes without blood hydrolysis. In addition, all isolates also grow at the pH range of 2.0-10.0, NaCl concentration of 0-10% (w/v), and in fresh sterile bile of *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) in the concentration of 10, 30, and 50% (v/v). The pathogenic inhibition of *Aeromonas hydrophila* by antagonistic test revealed that only isolate FM11 showed the inhibition zone. The biochemical and molecular identification by VITEK<sup>®</sup> 2 Compact and 16S rRNA gene sequencing found that isolate FM11 was closely related to *Bacillus siamensis* KCTC13613

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อีเมล: nisarath\_t@mail.mutt.ac.th

<sup>2</sup> อาจารย์สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อีเมล: sukhana@mail.mutt.ac.th

<sup>1</sup> Student, Department of Applied Biotechnology, Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi

<sup>2</sup> Lecture, Department of Applied Biotechnology, Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi

\* Corresponding author: nisarath\_t@mail.mutt.ac.th

with an identity of 99.77%. The growth measurement of Nile tilapia with 0.3 percent (v/W) probiotic bacteria mixed with feed found that the highest growth was found when culturing Nile tilapia with *B. siamensis* isolate FM11 with a weight of  $2.15 \pm 0.13$  g/fish/day. The survival rate was  $87.50 \pm 5.89\%$ . While culturing with feed only, the weight was  $0.96 \pm 0.11$  g/fish/day with a survival rate of  $79.17 \pm 29.46$  with statistical significance ( $P < 0.05$ ). Therefore, Nile tilapia should be fed by the conventional feed together with the bacterial isolate FM11 for promotion of the efficiency of the tilapia feed to increase growth, weight gain, and survival rates, which can replace the sole conventional feed.

**Keywords:** Selection, Characterization, Bacteria, Probiotic, Fish processing wastewater, *Oreochromis niloticus*

## บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปปลาและสัตว์น้ำ มักมีการทิ้งวัสดุเหลือทิ้งหลังจากการแปรรูป เช่น หัว หาง และไส้ รวมถึงปล่อยน้ำล้างจากการแปรรูปปลาสู่แหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม หากโรงงานปล่อยน้ำล้างจากการกระบวนการแปรรูปปลา เป็นระยะเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ค่าพีเอช (pH) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) และปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus) สูงเกินค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด (Watson *et al.*, 2013) ประกอบในปัจจุบัน ได้มีการนำน้ำและวัสดุเหลือทิ้ง นำกลับมาใช้ประโยชน์ควบคู่ไปกับการบำบัดน้ำทิ้งด้วยธรรมชาติ เช่น น้ำล้างปลา ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปปลา สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้น (substrate) ในกระบวนการหมัก โดยใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติก (probiotic microbe)

จากการคัดแยกและการจำแนก การเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ การทดสอบคุณสมบัติโปรไบโอติก การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติก (probiotic) และหัวเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (antagonistic microbe) บนวัสดุอินทรีย์ธรรมชาติ การสกัดสารชีวภาพร่วมกับจุลินทรีย์ปฏิปักษ์และโปรไบโอติก ได้แก่ ยีสต์ *Candida ethanolica*, แบคทีเรีย *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, รา *Aspergillus* sp., *Trichoderma asperellum*, *Gliocladium* sp. และ *Penicillium* sp. เพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งให้กลายเป็นสารสกัดชีวภาพที่ประกอบด้วยสารอาหารหลัก สารอาหารรองและสารอาหารเสริมที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก กรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด น้ำตาลรีดิคซ์ กรดแลกติก เกลือแร่ และวิตามินอื่น ๆ หลังกระบวนการย่อยสลายของเอนไซม์โปรตีเอส (protease) เอนไซม์อะไมเลส (amylase) เอนไซม์ไลเปส (lipase) เอนไซม์แลกเคส (laccase) เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เอนไซม์ไคเนส (kinase) ซึ่งสารสกัดชีวภาพจากกลไกจุลินทรีย์นี้ มีคุณสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ (Hanafy *et al.*, 2016) เพิ่มการเจริญเติบโต (Park *et al.*, 2016) เพิ่มภูมิคุ้มกัน (Duarate *et al.*, 2015) เพิ่มรสชาติ ลดต้นทุน ลดสารอันตราย ลดไนเตรตสะสมที่มีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค จากการใช้

สารเคมีกำจัดวัชพืช สารเคมีควบคุมโรคพืชและไล่ศัตรูแมลง ปรับสภาพน้ำและดิน เพื่อผลิตคุณภาพผลผลิตเกษตร ตามมาตรฐานอินทรีย์ไทย (organic Thailand) (Frank, 2005; Ahemad and Malik, 2012; Park *et al.*, 2016) ต่อมา นักวิจัยสุกาญจน์ ร่วมกับสถานประกอบ จึงพัฒนาการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติกแบคทีเรียธรรมชาติ *Bacillus subtilis* จุลินทรีย์ปฏิปักษ์รา *Trichoderma asperellum* บนสารอินทรีย์นาโนด้วยชีวเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี มาตรฐาน Q และมาตรฐาน IFOAM ภายใต้เครื่องหมายการค้า THAN ในเชิงพาณิชย์ (Organic agriculture certification Thailand, 2018) สำหรับการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว ไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรโดยการนำชีวภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ผสมกับปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ ด้านการประมงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการผสมกับอาหารเลี้ยงปลา สัตว์เลี้ยง ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และด้านการปลูกพืชสวน เพื่อช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มภูมิคุ้มกันในการต้านโรคพืช เพิ่มอัตราการรอดลดสารเคมีอันตรายที่มีผลต่อสุขภาพ และช่วยปรับปรุงสภาพน้ำและดิน อื่น ๆ อย่างแพร่หลาย (Mishra and Prasad, 2005; Hanafy *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2016; Behera *et al.*, 2017; Rattanaloeadnusorn, 2017; Rattanaloeadnusorn, 2020)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกแบคทีเรีย ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติก จากน้ำล้างในกระบวนการแปรรูปปลา การทดสอบคุณสมบัติความเป็นโปรไบโอติกของแบคทีเรียที่คัดแยกได้ การจำแนกทางชีวเคมีโดย vitex 2 compact และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์โปรไบโอติก ผสมกับอาหารเลี้ยงปลานิล ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอาหารปลา ทดแทนการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารปลาเพียงอย่างเดียว

## วิธีการวิจัย

### 1. การสุ่มเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำล้างจากการแปรรูปปลา

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำล้างจากการแปรรูปปลาของโรงงานแปรรูปตัดแต่งปลา ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 3 จุด ได้แก่ น้ำล้างก่อนตัดแต่ง

ปลา (Fm1) น้ำล้างหลังจากกระบวนการตัดแต่งปลา (Fm2) และน้ำทิ้งในบ่อพัก (Fm3) สุ่มเก็บน้ำล้างปลาแต่ละจุดจำนวน 30 ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะกายภาพของน้ำล้างจากการแปรรูปปลา ได้แก่ ค่า pH ด้วยเครื่อง pH Meter ปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl Method ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS) โดยวิธีทำแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดี (BOD) โดยวิธี Azide modification ที่ปรับปรุงจากวิธี Winkler method ค่าซีโอดี COD โดยวิธี Rapid COD (Apha *et al.*, 1980) และปริมาณไขมันและน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet ปริมาณ Total phosphorus (George and Latimer, 2016) และการย่อยเม็ดเลือดแดง (hemolysis) ตามวิธีของ (Hanafy *et al.*, 2016)

## 2. การคัดแยกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติสร้างเอนไซม์ภายนอกเซลล์

แยกเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำล้างปลา ในห้องปฏิบัติการตามวิธีของ (Korgdahl *et al.*, 2005; Harikrishna *et al.*, 2017) โดยใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.85% (v/v) และเจือจางครั้งละ 10 เท่า (Ten-fold serial dilution) จนถึงความเข้มข้น  $10^{-6}$  จากนั้นนำน้ำล้างปลาที่เจือจาง ในแต่ละความเข้มข้น เกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) ที่เติมสารตั้งต้นโปรตีน แป้ง และไขมัน ได้แก่ Skimmed milk ร้อยละ 10 เติมน้ำละลาย starch ร้อยละ 0.2 และน้ำมันมะกอกร้อยละ 2.5 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตลักษณะของโคโลนี คัดเลือกจุลินทรีย์แบคทีเรียที่สร้างโซนใส (clear zone) ไปทดสอบเอนไซม์โปรติเอส อะไมเลส และไลเปส ในลำดับต่อไปจนกระทั่งได้ single colony ก่อน แล้วจึงนำ single colony ที่แยกได้ไปทดสอบการหลั่งเอนไซม์ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย และจำแนกชนิดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Abushelaibi *et al.*, 2017)

## 3. ทดสอบคุณสมบัติความเป็นโปรไบโอติกของเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้

3.1 การทดสอบความเป็นพิษ (toxicity) ของแบคทีเรียที่แยกได้ โดยการศึกษาการย่อยเม็ดเลือดแดง (hemolysis) ตามวิธีของ (Hanafy *et al.*, 2016) โดยเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกลงในอาหาร Blood agar นำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง สังเกตบริเวณที่เชื้อเชื่อว่าเกิดโซนใสสีเหลืองรอบโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียคือกลุ่ม Beta-hemolysis ( $\beta$ ) แบคทีเรียมีความสามารถย่อยเม็ดเลือดแดงและเกิดโซนใสสีเขียวรอบโคโลนีของแบคทีเรียคือกลุ่ม Alpha-hemolysis ( $\alpha$ ) และกลุ่ม Gamma-hemolysis ( $\gamma$ ) หรือโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าแบคทีเรียไม่มีความสามารถย่อยเม็ดเลือดแดง

3.2 ความทนทานต่อสภาวะต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของ NaCl, pH และน้ำดีส (ดัดแปลงจาก Wang *et al.*, 2010)

คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่ไม่ย่อยเม็ดเลือดแดง ศึกษาการเจริญเติบโตในอาหารเหลว Nutrient broth (NB) ที่ประกอบด้วย NaCl เข้มข้น 0 ถึง 10% (w/v) ทดสอบความทนต่อกรดและด่างที่มีค่า pH 2.0-10.0 และความทนต่อน้ำดีสของปลานิลเข้มข้น 0, 10, 30 และ 50% (w/v) โดยเตรียมผสมกับสารละลายเกลือน้ำดี (Bile salt) ที่มีความเข้มข้น 0.3% (v/v) นำไปทำให้ปลอดเชื้อด้วยหม้อนิ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที โดยมีเกลือน้ำดีไม่เติมน้ำดีส (pH 6.2) เป็นชุดควบคุมและเติมเซลล์แขวนลอยของเชื้อ  $10^7$  CFU/ml บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6-12 ชั่วโมง นับจำนวนเซลล์ที่เหลืรอดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ NA ที่ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (Hanafy *et al.*, 2016) ตรวจดูการเจริญเติบโตของเชือบนผิวหน้าอาหารของแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ โดยวิธีนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (total plate count)

## 4. การทดสอบคุณสมบัติยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคสัตว์น้ำ

การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคตามวิธีของ Hanafy *et al.*, 2016 โดยการนำโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ *Aeromonas hydrophila* ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน โดยถ่ายเชื้อและบ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Spellhaug and Harlander, 1989) นำเชือดังกล่าว streak บนอาหารเป็นเส้นเดียวส่วนเชื้อแบคทีเรียโปรไบโอติกที่คัดแยกได้นำมาเลี้ยงในอาหาร NA อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง มา streak ทับลงบนอาหารที่ streak เชื้อก่อโรคก่อนหน้า โดยขีดในแนวกากบาททับกัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง สังเกตบริเวณที่ยับยั้ง (inhibition zone) ของเชื้อที่คัดแยกจากน้ำล้างปลากับเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

## 5. การจัดจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียโปรไบโอติกที่คัดเลือก

นำเชื้อแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคที่แยกได้ ศึกษาลักษณะ สัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Bowman, 2005) ร่วมกับการจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียทางชีวเคมีโดยวิธี Vitex 2 compact จำแนกแบคทีเรียระดับสปีชีส์ ด้วยวิธี molecular technique โดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนที่บริเวณ 16S rRNA ด้วยวิธี BLASTN เพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank ที่ website <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> และสร้างแผนภูมิต้นไม้วิวัฒนาการเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของเชื้อที่คัดแยกได้โดยใช้โปรแกรม MEGA11 ด้วยการวิเคราะห์แบบ Neighbor-joining method

## 6. การทดสอบการเติบโตและการรอดชีวิตของลูกปลานิลด้วย 0.3 เปอร์เซ็นต์โพรไบโอติกที่คัดแยกและโพรไบโอติกทางการค้า ผสมอาหารเลี้ยงปลานิลสำเร็จรูป

น้ำแบคทีเรียโพรไบโอติกขยายในอาหารเหลว NB ที่เข้มข้นมากกว่า  $10^7$  CFU/ml และนำทำแห้งแบบฟลินฟอยตามวิธีของ (Fronson and Mary, 1980; Guerra *et al.*, 2017; Rattanaloeadnusorn, 2017) หลังจากนั้น จึงนำ 0.3% ของผงจุลินทรีย์โพรไบโอติกจากน้ำล้างปลา และโพรไบโอติกในเชิงพาณิชย์ (THAN) 3 สูตรปริมาณ 0.3% ผสมกับอาหารเลี้ยงปลานิลและเคลือบผิวด้วยน้ำมันน้ำมันพืช เพื่อนำไปเลี้ยงลูกปลานิล ที่มีน้ำหนัก ตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 8.84 ถึง 8.90 กรัม โดยเฉพาะเลี้ยงในถังไฟเบอร์ที่มีความจุประมาณ 50 ลิตร จำนวน 10 ตัวต่อถัง ที่มีการให้ออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง ให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน คือ เวลา 8.00 น. และ 16.00 น. คูดตะกอนทุก ๆ 3 วัน และเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทุก ๆ 7 วัน โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) ดังนี้

กลุ่มทดลองที่ 1 (T1) เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปยี่ห้อไฮเกรต ที่มีปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม)

กลุ่มทดลองที่ 2 (T2) เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมโพรไบโอติก FM11 ที่ได้จากการคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำล้างแปรรูปปลา นำมา 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ  $10^7$  CFU/g

กลุ่มทดลองที่ 3 (T3) เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมเชื้อโพรไบโอติกทางการค้า *T. asperellum* THAN13 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ  $10^7$  CFU/g

กลุ่มทดลองที่ 4 (T4) เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมเชื้อโพรไบโอติกทางการค้า *B. subtilis* และ *T. asperellum* THAN2 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ  $10^7$  CFU/g

กลุ่มทดลองที่ 5 (T5) เลี้ยงปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมเชื้อโพรไบโอติกทางการค้า *B. subtilis* THAN14 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ  $10^7$  CFU/g

บันทึกผลวันที่ 0, 10, 20 และ 30 โดยชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมด น้ำหนักอาหารที่เหลือ และจำนวนปลาที่รอดชีวิต เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดชีวิต

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way-ANOVA) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 1. ผลการคัดแยกและทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียที่พบในน้ำล้างปลาของโรงงาน

จากการศึกษาลักษณะกายภาพของน้ำล้างปลา 3 จุด ได้แก่ 1) น้ำล้างก่อนตัดแต่ง (Fm1) 2) น้ำล้างหลังตัดแต่งเพื่อเอาส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เกล็ด ก้าง หัว หาง ไส้ และส่วนที่เป็นของเหลว เมื่อกลั่นและกรองผ่านตะแกรง เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกก่อนที่จะมีการปล่อยลงสู่อบฟัก (Fm2) และ 3) น้ำล้างในบ่อพัก ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Fm3) ดังนี้

คุณลักษณะของน้ำล้างจากการแปรรูปปลา เมื่อสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำล้างจากการแปรรูปปลาของโรงงาน จำนวน 3 จุด และวิเคราะห์ลักษณะกายภาพ ปรากฏว่าคุณลักษณะกายภาพบริเวณจุดน้ำล้างในบ่อพัก มีปริมาณ Total nitrogen, Total fat, Total phosphorus, TDS, BOD, COD และ pH มากกว่าจุด น้ำล้างหลังการตัดแต่ง และน้ำล้างก่อนตัดแต่ง ตามลำดับ

**Table 1** Effluent quality of fish wash water.

| Constituent      | fish washing water sampling |              |               |
|------------------|-----------------------------|--------------|---------------|
|                  | Fm1(n=30)                   | Fm2(n=30)    | Fm3(n=30)     |
| pH               | 7.0±0.2                     | 6.3±0.2      | 7.9±0.2       |
| Total N (mg/l)   | 1.56±0.40                   | 14.06±1.42   | 131.98±2.22   |
| TDS (mg/l)       | 4.44±0.54                   | 333.01±34.76 | 412.11±180.43 |
| BOD (mg/l)       | 5.75±0.66                   | 15.12±2.75   | 26.88±2.54    |
| COD (mg/l)       | 4.27±0.30                   | 17.67±0.66   | 36.03±0.44    |
| Total fat (mg/l) | 0.0±0.00                    | 3.49±0.12    | 5.69±0.43     |
| Total P (mg/l)   | 0.02±0.00                   | 0.004±0.00   | 0.36±0.01     |

Fm1 Fish washing water before cutting of cobia fish.

Fm2 Fish washing water after cutting of cobia fish. Fm3 Fish washing water in septic tank.

การคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย จากน้ำล้างก่อนตัดแต่ง น้ำล้างหลังการตัดแต่ง และน้ำล้างในบ่อพัก พบเชื้อแบคทีเรียเฉพาะจุด น้ำล้างหลังการตัดแต่ง และน้ำล้างในบ่อพักเท่านั้น จำนวน 13 ไอโซเลท (FM1-FM13) ผลการทดสอบสมบัติสร้างและหลั่งเอนไซม์ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียโพรไบโอติก พบแบคทีเรียโพรไบโอติก 3 ไอโซเลท คือ FM7 FM11 และ FM12 ที่ไม่ย่อยเม็ดเลือดแดง (hemolysis) ในอาหาร blood agar ให้ผลเป็นแบบแอมมา (γ) คือไม่เกิดโซนใสรอบโคโลนีเชื้อ (Hanafy *et al.*, 2016) นอกจากนี้ ไอโซเลท FM7 FM11 และ FM12 ยังมีกรหลังเอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส ออกสู่ภายนอกเซลล์ (Harikrishna *et al.*, 2017) ดัง Table 2

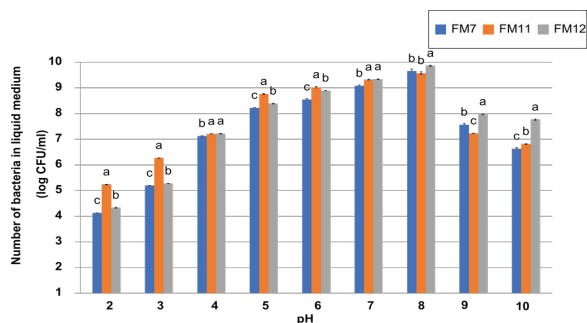
การทดสอบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโพรไบโอติก ไอโซเลท FM7 FM11 และ FM12 ที่มีจำนวนเชื้อแบคทีเรีย ในอาหารเหลวภายใต้สภาวะ pH 2.0-10.0 เกลือ NaCl 1-10%(w/v) และน้ำดีปลาณิลปลอดเชื้อ 0-50%(v/v) พบว่า ที่ pH 2 มีจำนวนเชื้อเฉลี่ย  $5.24 \pm 0.01$  log CFU/ml ที่ pH 8 มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย FM12 เท่ากับ  $9.86 \pm 0.02$ , FM7 เท่ากับ  $9.66 \pm 0.08$  และ FM11 เท่ากับ  $9.58 \pm 0.05$  logCFU/

ml ตามลำดับแสดงว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่เป็นกรดแก่ pH 2-8 (Figure 1) นอกจากนี้แบคทีเรียโพรไบโอติกนี้ยังสามารถเจริญเติบโตในอาหารเหลวที่ประกอบด้วยเกลือ NaCl ที่ความเข้มข้นระดับ 0-10 %(w/v) ดัง Figure 2 และแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตในน้ำดีสดที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0-50 %(v/v) ได้ ดัง Figure 3

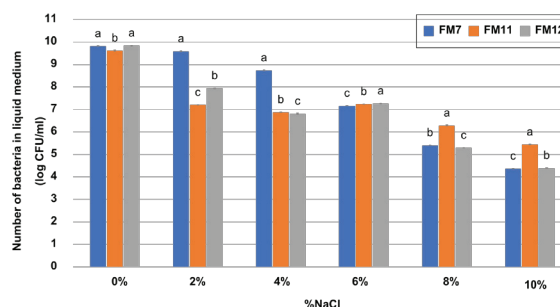
**Table 2** Extracellular enzyme production of bacteria and hemolysis test

| Isolates | Sampling | Colony morphology                                                      | Protease | Amylase | Hemolysis test |
|----------|----------|------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------------|
| FM0      | Fm1      | No enzyme producing                                                    | -        | -       | -              |
| FM1      | Fm2      | Opaque, Convex Oval shape, Pale white, Entire and Gram negative        | ++       | -       | $\beta$        |
| FM2      | Fm2      | Opaque, Flat, Round shape, Pale white, Entire and Gram positive        | +        | -       | $\alpha$       |
| FM3      | Fm2      | Opaque, Umbonate, Round shape, White, Undulate, and Gram positive      | +        | -       | $\alpha$       |
| FM4      | Fm2      | Transparent, Flat Round shape, White, Entire and Gram negative         | ++       | -       | $\beta$        |
| FM5      | Fm2      | Opaque, Convex, Round shape, Pale white, Entire and Gram positive      | +        | -       | $\alpha$       |
| FM6      | Fm2      | Opaque, Flat, Irregular shape, White, Undulate and Gram positive       | +        | -       | $\alpha$       |
| FM7      | Fm2      | Opaque, Convex, Irregular shape, White, Undulate and Gram positive     | +        | +++     | $\gamma$       |
| FM8      | Fm3      | Opaque, Umbonate, Filamentous shape, White, Undulate and Gram positive | ++       | -       | $\alpha$       |
| FM9      | Fm3      | Transparent, Flat, Round shape, White, Undulate and Gram negative      | +++      | -       | $\beta$        |
| FM10     | Fm3      | Opaque, Raised, Round shape, White, Undulate and Gram positive         | +++      | -       | $\beta$        |
| FM11     | Fm3      | Transparent, Raised, Round shape White, Entire and Gram positive       | +++      | +++     | $\gamma$       |
| FM12     | Fm3      | Opaque, Flat, Round shape White, Entire and Gram positive              | ++       | ++      | $\gamma$       |
| FM13     | Fm3      | Opaque, Flat, Irregular shape, White, Undulate and Gram negative       | ++       | -       | $\beta$        |

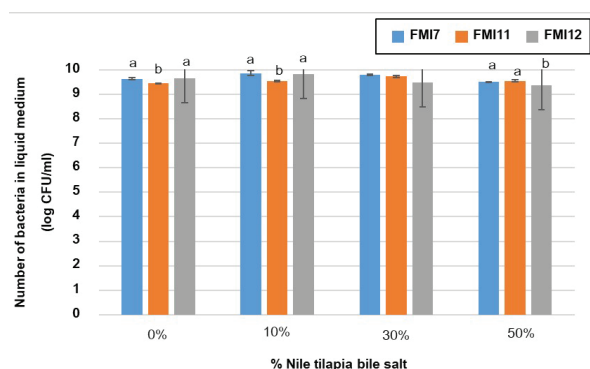
- = Negative result, + = Diameter of clear zone < 10 mm, ++ = Diameter of clear zone 10.1-20.0 mm and +++ = Diameter of clear zone 20.1-30.0 mm



**Figure 1** Growth of bacteria in culture media at pH 2.0-10.0. Different letters (above each bar) indicate a significant difference between mean of each sample ( $P < 0.05$ ).



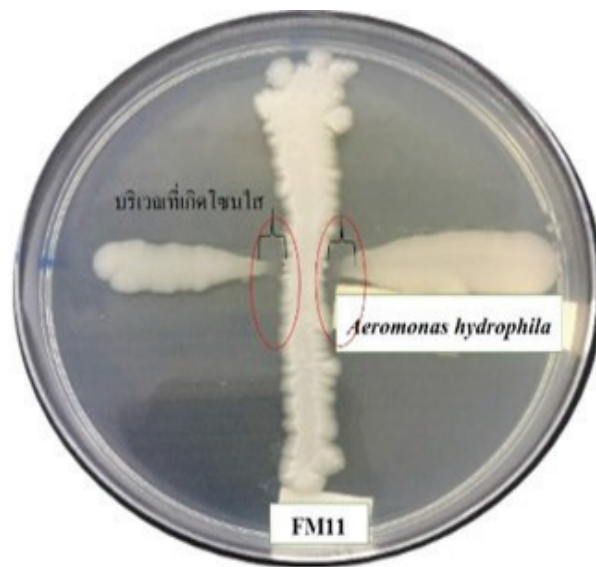
**Figure 2** Growth of bacteria in culture media with a 0-10% (w/v) NaCl. Different letters (above each bar) indicate a significant difference between mean of each sample ( $P < 0.05$ ).



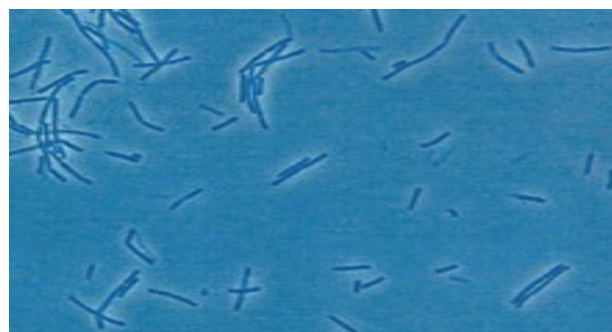
**Figure 3** Growth of bacteria in culture media with a Nile tilapia bile salt at 0-50% (v/v). Different letters (above each bar) indicate a significant difference between mean of each sample ( $P < 0.05$ ).

การทดสอบกับเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ *A. hydrophila* พบว่าไอโซเลท FM7 และ FM12 ไม่มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ แต่ไอโซเลท FM11 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคลายพันธุ์ *A. hydrophila* ได้ โดยมีการสร้างโซนใสระหว่างไอโซเลท FM11 และ *A. hydrophila* ดัง Figure 4 จากการจัดจำแนกแบคทีเรียโปรไบโอติกไอโซเลท FM11 จากลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่าเชื้อแบคทีเรียไอโซเลท FM11 มีลักษณะเป็นท่อนยาว แกรมบวก ดัง Figure 5 ส่วนผลการทดสอบทางชีวเคมีโดย vitex 2 compact พบว่าไอโซเลท FM11 มีคุณสมบัติเหมือนกับ *B. siamensis* ดัง Table 3 เมื่อจำแนกลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA ด้วยวิธี BLASTN ของแบคทีเรียโปรไบโอติก ไอโซเลท FM11 เปรียบเทียบกับข้อมูลใน GenBank ของ NCBI พบว่าแบคทีเรียไอโซเลท FM11 มีลำดับนิวคลีโอไทด์คล้ายกับ *B. siamensis* KCTC13613 โดยมีความเหมือนเท่ากับ 99.77 เปอร์เซ็นต์ *B. subtilis* NCIB3610 99.62 เปอร์เซ็นต์ แบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* DSM7 99.55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำยีน 16S rRNA ของไอโซเลท

FM11 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยการสร้าง phylogenetic tree ดัง Figure 6 พบว่าไอโซเลท FM11 มีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการใกล้เคียงกับ *B. siamensis* KCTC13613AJ<sup>T</sup> (VF01000043)



**Figure 4** The formation of a clear zone of the bacterial isolate FM11 inhibiting the *A. hydrophila*.



**Figure 5** Cell morphology of probiotic bacteria isolate FM11.

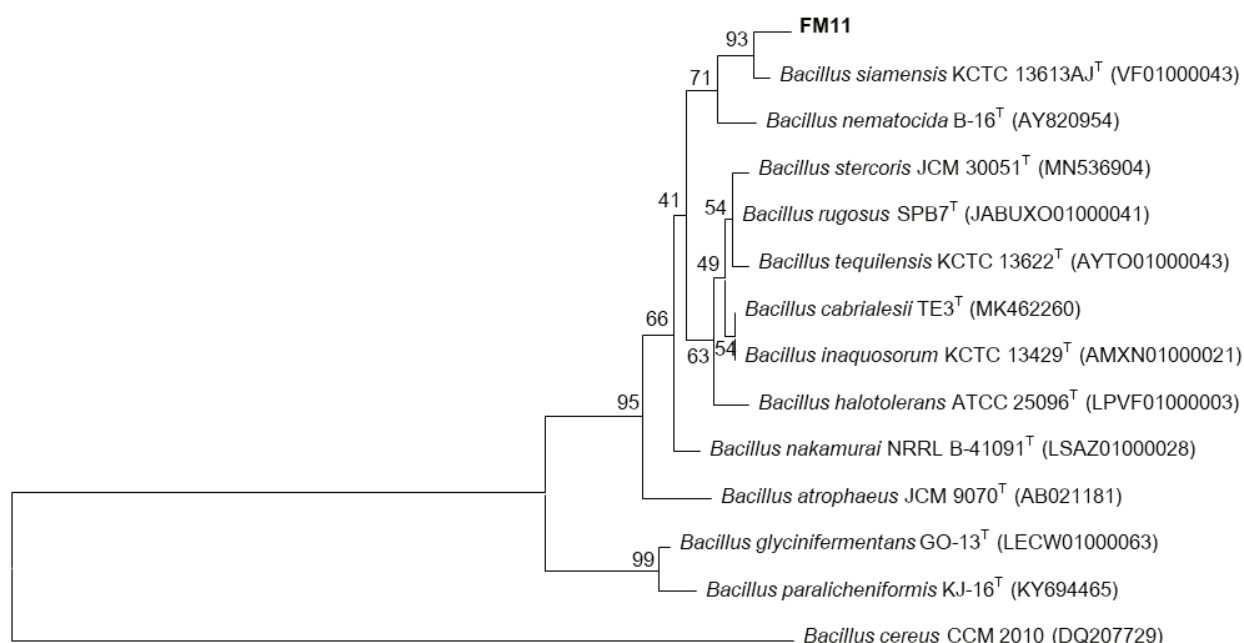
**Table 3** Biochemical tests by Vitex 2 compact of probiotic bacteria isolate FM11.

| Biochemical test           | Result   | Biochemical test       | Result |
|----------------------------|----------|------------------------|--------|
| Gram stain                 | positive | Glycine arylamidase    | -      |
| $\beta$ -xylosidase        | +        | D-mannitol             | +      |
| L-lysine arylamidase       | -        | D-mannose              | +      |
| L-aspartate arylamidase    | -        | D-melezitose           | -      |
| Leucine arylamidase        | (+)      | N-acetyl-D-glucosamine | -      |
| Phenylalanine arylamidase  | +        | Palatinose             | +      |
| L-pyrrolidonyl arylamidase | -        | L-rhamnose             | -      |

**Table 3** Biochemical tests by Vitex 2 compact of probiotic bacteria isolate FM11. (cont.)

| Biochemical test                                  | Result | Biochemical test        | Result |
|---------------------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| $\beta$ -galactosidase                            | -      | $\beta$ -glucosidase    | +      |
| L-pyrrolidonyl arylamidase                        | +      | $\beta$ -mannosidase    | -      |
| $\alpha$ -galactosidase                           | +      | Phosphoryl choline      | -      |
| Alanine arylamidase                               | -      | Pyruvate                | -      |
| Tyrosine arylamidase                              | +      | $\alpha$ -glucosidase   | -      |
| $\beta$ -N-acetyl-glucosaminidase                 | -      | D-tagatose              | -      |
| Ala-Phe-Pro arylamidase                           | (-)    | D-thehalose             | -      |
| Cyclodextrine                                     | -      | Inulin                  | -      |
| D-galactose                                       | -      | D-glucose               | +      |
| Glycogene                                         | -      | D-ribose                | (-)    |
| Myo-inositol                                      | -      | Putrescine assimilation | -      |
| Methyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside acidification | +      | Growth in 6.5% NaCl     | +      |
| Ellman                                            | -      | Kanamycin resistance    | -      |
| Methyl-D-xyloside                                 | -      | Oleandomycin resistance | -      |
| $\alpha$ -mannosidase                             | -      | Esculin hydrolyse       | +      |
| Maltotriose                                       | -      | Tetrazolium red         | -      |
|                                                   |        | Polymixin_B resistance  | -      |

(+) = Weak-positive reaction; + = Positive reaction; (-) = Weak-negative reaction  
and - = Negative reaction



**Figure 6** Phylogenetic relationships of FM11 with some species of the genus *Bacillus* and related taxa based on 16S rRNA gene sequence analysis. The branching pattern was generated by the neighbor-joining method Alignment with ClustalW with Bioedit program and Sequence phylogenetic tree with MEGA11 program.

**Table 4** Comparison of nile tilapia growth and water quality

| Parameters                        | Treatments              |                         |                          |                         |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                   | T1(n=30)                | T2(n=30)                | T3(n=30)                 | T4(n=30)                | T5(n=30)                |
| Initial weight (g)                | 8.93±0.06               | 8.94±0.07               | 8.94±0.80                | 8.88±1.00               | 8.84±0.91               |
| Final weight (g)                  | 11.93±0.33 <sup>c</sup> | 17.06±0.53 <sup>a</sup> | 13.17±1.54 <sup>bc</sup> | 14.04±2.94 <sup>b</sup> | 14.11±1.99 <sup>b</sup> |
| Average daily weight gain (g/day) | 0.96±0.1 <sup>c</sup>   | 2.15±0.13 <sup>a</sup>  | 1.29±0.02 <sup>bc</sup>  | 1.52±0.27 <sup>b</sup>  | 1.56±0.02 <sup>b</sup>  |
| Feed conversion ratio (FCR)       | 2.97±1.18               | 2.32±0.10               | 2.00±0.04                | 2.04±0.15               | 2.06±0.04               |
| Survival rate (%)                 | 79.17±29.46             | 87.50±5.89              | 100±0.00                 | 100±0.00                | 100±0.00                |
| Temperature (°C)                  | 25.33±0.58              | 26.33±1.53              | 26.00±0.00               | 26.67±0.58              | 27.00±1.00              |
| pH                                | 7.00±0.50               | 6.93±0.51               | 7.10±0.36                | 6.70±0.20               | 6.67±0.29               |
| DO (mg/l)                         | 4.17±0.76 <sup>bc</sup> | 4.83±0.29 <sup>a</sup>  | 4.83±0.29 <sup>a</sup>   | 3.90±0.53 <sup>bc</sup> | 4.33±0.29 <sup>b</sup>  |

The different letters in the same row indicated statistically significant difference ( $P < 0.05$ )

## 2. ผลของแบคทีเรียโพรไบโอติกต่อการเติบโตและรอดชีวิตของลูกปลานิล

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และอัตราการรอดชีวิตของลูกปลานิล เมื่อนำ 0.3 เปอร์เซ็นต์แบคทีเรียโพรไบโอติก ไอโซเลท FM11 และโพรไบโอติก ในเชิงพาณิชย์ 3 ชนิด คือ รา *T. asperellum* (T3), รา *T. asperellum* และแบคทีเรีย *B. subtilis* และแบคทีเรีย *B. subtilis* (T5) ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่มีจำนวนเชื้อมากกว่า  $10^7$  CFU/g ผสมกับอาหารเม็ดสำเร็จรูป เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ให้เฉพาะอาหารปลาอย่างเดียวย (T1) การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารผสมแบคทีเรียโพรไบโอติกดีขึ้น โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มีแนวโน้มสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารผสมโพรไบโอติก ( $P < 0.05$ ) ดังนี้ (Table 4) คือ ผลน้ำหนักสุดท้ายที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมโพรไบโอติกปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) คือ ไอโซเลท FM11 (T2) ดีที่สุด ( $2.15 \pm 0.13$  กรัมต่อตัวต่อวัน) รองลงมาแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. subtilis* (T5) ( $1.56 \pm 0.02$  กรัมต่อตัวต่อวัน) ราและแบคทีเรีย (T4) ( $1.52 \pm 0.27$  กรัมต่อตัวต่อวัน) และรา *T. asperellum* (T3) ( $1.29 \pm 0.02$  กรัมต่อตัวต่อวัน) ตามลำดับ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม 0.3 เปอร์เซ็นต์โพรไบโอติก มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดทดลองอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ดัง Table 4 (Park *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017) และอัตราการรอดชีวิตของปลา ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม 0.3 เปอร์เซ็นต์โพรไบโอติกไอโซเลท FM11 มีอัตราการรอดตาย  $87.50 \pm 5.89$  เปอร์เซ็นต์ แต่แบคทีเรียโพรไบโอติก *B. subtilis* (T5) และราและแบคทีเรีย (T4) มีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งการที่การเจริญเติบโตของปลาที่ผสมแบคทีเรียโพรไบโอติกสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารผสมโพรไบโอติก เนื่องจากแบคทีเรียโพรไบโอติกมีส่วนช่วยเร่งย่อยสลายสารประกอบอาหารหลักและเสริม ที่มีขนาดเล็กโมเลกุลเล็ก ๆ กรดอะมิโน 20 ชนิด น้ำตาลรีดิวซ์ เอนไซม์โปรติเอส (protease) อะไมเลส ไลเปส เพอร์ออกซิเดส ไคเนส และกรดแลกติก อื่นๆ ที่ช่วยในการชักนำการเจริญเติบโต (ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) เพิ่มอัตราการรอดชีวิตของปลานิลได้ดี (Inoue *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2016; Afrilasari *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017; Tang *et al.*, 2017; Villamil *et al.*, 2017; Rattanaloeadnusorn, 2017) นอกจากนี้ แบคทีเรียโพรไบโอติกช่วยกระตุ้นการทำงานของภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ ทำให้เม็ดเลือดแดงมีความสมบูรณ์ และสามารถผลิตสาร Bacteriocin ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค *Aeromonas hydrophila* (Sumpavapoli *et al.*, 2010; Selim and Reda, 2015; Meidong *et al.*, 2017; Tang *et al.*, 2017; Harikrishna *et al.*, 2017; Jahangiri *et al.*, 2018) การยืดเกาะส่วนผนังลำไส้และร่องวิลไล (Villi) และการแย่งพื้นที่การเกาะติดผนังลำไส้ของเชื้อก่อโรค

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีของแบคทีเรียโพรไบโอติก ที่แยกจากน้ำล้างในการแปรรูปปลา จำนวน 13 ไอโซเลท พบแบคทีเรีย 3 ไอโซเลท ได้แก่ FM7 FM11 และ FM12 ที่สามารถผลิตและผลิตเอนไซม์โปรติเอส และอะไมเลส แบคทีเรีย และเจริญเติบโตได้ ที่ความเป็นกรดต่าง pH 2-10 ความเข้มข้นของเกลือ (NaCl) 0-10% (v/v) และในน้ำที่สดปลอดเชื้อของปลานิลที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0-50% (v/v) แต่ไม่มีการย่อยเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้

แบคทีเรียโพรไบโอติก ไอโซเลท FM11 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรค *A. hydrophila* ได้ ซึ่งผลการจำแนกแบคทีเรียโพรไบโอติก ไอโซเลท FM11 ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี โดยวิธี Vitex 2 compact และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA พบว่าไอโซเลท FM11 พบว่ามีความคล้ายกับ *B. siamensis* KCTC13613 99.77 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบแบคทีเรียโพรไบโอติก *B. siamensis* ไอโซเลท FM11 ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ที่มีจำนวนโคโลนีมากกว่า  $10^7$  CFU/g ผสมกับอาหารปลา ปรากฏว่าการเจริญเติบโต และอัตราการรอดชีวิตปลาชนิดที่สูงสุด คือ  $2.15 \pm 0.13$  กรัมต่อตัววัน และ  $87.50 \pm 5.89$  เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารปลานิลอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้น ควรนำปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์จุลินทรีย์โพรไบโอติก ไอโซเลท FM11 ที่มีจำนวนมากกว่า  $10^7$  CFU/g ผสมกับอาหารปลาล้างปลานิล เพื่อใช้เป็นทางเลือกทดแทนการใช้สารเคมีเร่งการเจริญเติบโตในปลานิล อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาทดลองกับปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดิน เพื่อศึกษาผลในด้านการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของปลานิล

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาคีวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน ในความอนุเคราะห์สายพันธุ์เชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำเพื่อการวิจัยในครั้งนี้ และ ผศ.ดร. สุกาญจน์รัตน์เลิศนุสรณ์ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่จุดประกายการวิจัยต่อยอดการพัฒนาการประมงอินทรีย์ด้วยกลไกจุลินทรีย์โพรไบโอติก

## เอกสารอ้างอิง

- Abushelaibi, A., Mahadin, A.I., Tarabily, E.I., Nagendra P.S. and Ayyash, M. (2017). Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk LWT. *Food Science and Technology*, 79, 316-325
- Afrilasari, W., Widanarni, Meryandini and Meryandini, A. 2016. Effect of probiotic *Bacillus megaterium* PTB14 on the population of intestinal microflora, digestive enzyme activity and the growth of catfish (*Clarias* sp.). *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(4), 168-172.
- Ahemad, M. and Malik, A. (2012). Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater. *Bacteriology Journal*, 2(1), 12-21.
- APHA, AWWA and WPCF. (1980). *Standard methods for examination of water and wastewater*. 16<sup>th</sup> ED. APHA Inc. New York.
- Behera, B.C., Yadav, H., Singh S.K., Mishra R.R., Set hi B.K., Dutta S.K. and Thatoi H.N. (2017). Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi River delta, Odisha, India. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(1), 169-178.
- Bowman, J.P. (2005). *Bergey's manual of systematic bacteriology volume II (The proteobacteria), Part C (The Alpha, Beta, Delta and Epsilonproteobacteria)*. Springer, New York, USA.
- Duarte, J.G., Silva, L.L.S., Freire, D.M.G., Cammarota, M.C. and Gutarra, M.L.E. (2015). Enzymatic hydrolysis and anaerobic biological treatment of fish industry effluent: Evaluation of the mesophilic and thermophilic conditions. *Renewable Energy*, 83, 455-462.
- Frank, A.B. (2005). *Mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecology theory* Mycorrhiza, 15(4), 277-281.
- Fronson and Mary Ann H. (1980). *Standard method for examination water and wastewater (15<sup>th</sup> ed.)*. American public health Publisher Inc., New York, USA.
- George, W. and Latimer, Jr. (2016). *Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements (19<sup>th</sup> Ed.)*. AOAC International Inc. Gaithersburg MD, USA.
- Guerra, B.S., José, F. L.O., Bruno, O.M., Alice, B.B., Denise, S.P.P., Francisco, J.S.V., Robson, B.C., Ricardo, C.B.A. and Rodrigo F.S. (2017). Synchronization to light and mealtime of daily rhythms of locomotor activity, plasma glucose and digestive enzymes in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry & Physiology*, 204, 40-47.
- Hanafy, A.M., Al-Mutairi, A.A., Al-Reedy, R.M. and Al-Garni, S.M. (2016). Phylogenetic affiliations of *Bacillus amyloliquefaciens* isolates produced by a bacteriocin-like substance in goat milk. *Journal of Taibah University for Science*, 10, 631-641.
- Harikrishna, N., Mahalakshmi, S., Kiran Kumar, K. and Reddy, G. (2017). Fish scales as potential substrate for production of alkaline protease and amino acid rich aqua hydrolyzate by *Bacillus altitudinis* GVC11. *Indian Journal of Microbiology*, 57, 339-343.

- Inoue, S., Suzuki-Utsunomiya, K., Komori, Y., Kamijo, A., Yumura, I. and Tanabe, K. (2013). Fermentation of non-sterilized fish biomass with a mixed culture of film-forming yeasts and lactobacilli and its effect on innate and adaptive immunity in mice. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 116(6), 682-687.
- Jahangiri, L., Sudagar, M., Ashayerizadeh, O., Kolangi, H. and Tabarraei, A. (2018). Isolation of probiotic bacteria from Guppy *Poeciliareticulata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(6), 809-815.
- Korgdahl, A., Hemra, G.I. and Mommsem, T.P. (2005). Carbohydrate in fish nutrition: digestion and absorption in postlar stages. *Aquaculture nutrition*, 11, 103-122.
- Liu, H., Shifeng, W., Yan, C., Xiaohui, G., Zhenjie, C., Yongzheng, Z., Shubin, L., Wei, Y., Weiwei, Z., Yu, Z., Zhenyu, X., Weiliang, G. and Yongcan, Z. (2017). Dietary administration of *Bacillus subtilis* HAINUP40 enhances growth, digestive enzyme activities, innate immune responses and disease resistance of tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Shellfish Immunol*, 60, 326-333.
- Meidong, R., Doolgindachbaporn, S., Jamjan, W., Sakai, K., Tashiro, Y. and Okugawa, Y.A. (2017). A novel probiotic *Bacillus siamensis* B44v isolated from Thai pickled vegetables (Phak-dong) for potential use as a feed supplement in aquaculture. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 63(4), 246-253.
- Mishra, V. and Prasad, D.N. (2005). Application of in vitro method for selection of *Lactobacillus casei* strains as potential probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 103, 109-115.
- Organic agriculture certification Thailand (ACT). (2018). *Generic Manual for ACT Organic Certification*. 7<sup>th</sup>ed, organic agriculture certification Thailand, 801/21 Ngamwongwan 27 Rd., Tambon Bangkhen, Muang District, Nonthaburi Thailand.
- Park, Y., Moniruzzaman, M., Lee, S., Hong, J., Won, S., Lee, J.M., Yun, H., Kim, K.W., Ko, D. and Bai, S.C. (2016). Comparison of the effects of dietary single and multi-probiotics on growth, non-specific immune responses and disease resistance in starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 59, 351-357.
- Raquel, O., Cristóvão Cidália, M., BotelhoRamiro, J.E., Martins, R. and Boaventura, A.R. (2014). Primary treatment Optimization of a fish canning wastewater from a Portuguese plant. *Water Resources and Industry*, 6, 51-63.
- Rattanaloeadnusorn, S. (2017). Inoculants Fungal *Trichoderma*, *Mucor* and *Bacillus* for Community Development based on sufficiency economy philosophy. *International Journal of GEOMATE*, 13(40), 16-23.
- Rattanaloeadnusorn, S. (2020). Antagonistic Microbe on Palm Soil for Producing of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Yeast and Fungal (PGPR) Mixed Microbe. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 12(2), 240-243. (in Thai)
- Selim, K.M. and Reda, R.M. (2015). Improvement of immunity and disease resistance in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, by dietary supplementation with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Fish & Shellfish Immunology*, 44, 496-503.
- Spelhaug, S.R. and Harlander S.K. (1989). Inhibition of foodborne bacterial pathogens by bacteriocins from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. *Journal of Food Protection*, 52, 856-62.
- Sumpavapol, P., Tongyonk, L., Tanasupawat, S., Chokesajjawatee, N., Luxananil, P. and Visessanguan, W. (2010). *Bacillus siamensis* sp. nov., isolated from salted crab (poo-khem) in Thailand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(10), 2364-2370.
- Tang, L., Huang, K., Xie, J., Yu, D., Sun, L. and Huang, Q. (2017). 1-Deoxynojirimycin from *Bacillus subtilis* improves antioxidant and antibacterial activities of juvenile Yoshitomi tilapia. *Electronic Journal of Biotechnology*, 30, 39-47.
- Villamil, O., Váquiro, H. and Solanilla, J.F. 2017. Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 224, 160-171.
- Wang, C.Y., Lin, P.R., Chang-Chai, N.G. and Shyu, Y.T. (2010). Probiotic properties of *Lactobacillus* strains isolated from the feces of breast-fed infants and Taiwanese pickled cabbage. *Clinical Microbiology Anaerobe*, 16, 578-585.
- Watson, J.D., Gann A., and Levine.M. (2013). *Molecular Biology of the Gene* (5<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc., San Francisco, USA.

ความหลากหลาย และความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินปูน เขตป่าสงวนแห่งชาติ  
ป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอต อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู  
Land snail diversity and abundance in limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa  
Dong Nong Phai, and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang  
district, Nong Bua Lumphu province

กิตติ ตันเมืองปัก<sup>1\*</sup> และ อาทิตย์ แก้วสว่าง<sup>2</sup>  
Kitti Tanmuangpak<sup>1\*</sup> and Arthit Kaewsawang<sup>2</sup>

Received: 2 January 2024 ; Revised: 24 January 2024 ; Accepted: 12 February 2024

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลาย และความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอต อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู ในช่วงปลายฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 - กุมภาพันธ์ 2565 ด้วยแปลงสี่เหลี่ยมขนาด 20 x 20 เมตร ทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่ A, B, C และ D สถานีละ 6 แปลง รวมทั้งหมด 24 แปลง ผลการสำรวจ พบหอยทากบกทั้งหมด 8,069 ตัวอย่าง จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 22 สกุล 26 ชนิด โดยที่หอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) และหอยทากจิ๋วจุกแดง (*Georissa* sp.) มีจำนวนประชากร และความชุกชุมสัมพัทธ์สูงที่สุดตามลำดับ ค่าดัชนีความหลากหลาย เท่ากับ 1.891 ค่าความหลากหลายสูงสุด เท่ากับ 3.258 ดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เท่ากับ 0.580 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพที่บ่งบอกถึงชนิดพันธุ์ของหอยทากบกที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากัน เท่ากับ 6.628 ค่าดัชนีความเด่น เท่ากับ 0.239 และค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงสูงที่สุด ได้แก่ สถานี C กับ D เท่ากับ 0.838 ในการศึกษาครั้งนี้พบหอยทากจิ๋วสกุล *Dicharax* sp. และ *Hypselostoma* sp. โดยพบในแหล่งอาศัยที่เป็นป่าไผ่ ซึ่งเป็นรายงานการค้นพบครั้งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

คำสำคัญ: หอยทากบก ภูเขาหินปูน ป่าสงวนแห่งชาติ ความหลากหลาย

### Abstract

This study aimed to investigate the diversity and abundance of land snails in limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai, and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forests, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lamphu Province, during the late rainy season to early winter, from November 2021 to February 2022. Sampling was conducted using 20 x 20-meter plots across four stations (A, B, C, and D), with six plots per station, resulting in a total of 24 plots. The findings revealed a total of 8,069 land snail specimens, belonging to 22 genera and 26 species. *Sarika siamensis* exhibited the highest population, while *Georissa* sp. showed the highest relative abundance. The diversity index ( $H'$ ) was 1.891, the maximum diversity index ( $H'_{max}$ ) was 3.258, and the evenness index ( $J'$ ) was 0.580. The exponential of Shannon entropy ( $\exp^H$ ), reflecting species of land snails exhibiting equal relative abundance, was 6.628. The dominance index ( $C$ ) was 0.239, and the highest similarity coefficient ( $S_s$ ) was observed between stations C and D, at 0.838. In this study, microsnails of the genera *Dicharax* sp. and *Hypselostoma* sp. were discovered in bamboo forest habitats. This is the first report of these genera in the northeastern region of Thailand.

**Keywords:** Land snails, Limestone hills, National Reserved Forests, Diversity

<sup>1</sup> สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

<sup>2</sup> โรงเรียนบ้านท่าสวรรค์ ตำบลท่าสวรรค์ อำเภอนาดัว จังหวัดเลย 42210

<sup>1</sup> Program of Biology, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University 42000

<sup>2</sup> Banthasawan School, Thasawan Subdistrict, Na Duang District, Loei Province 42210

\* Corresponding author: landsnail2015@hotmail.com

## บทนำ

หอยทากบก (land snail) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บนบกและประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตเป็นอย่างมาก สามารถพบหอยทากบกได้ในทุกสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะป่าที่มีความสมบูรณ์และมีความชุ่มชื้นสูง ได้แก่ บริเวณป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) และป่าเบญจพรรณ (mixed-deciduous forest) ที่มีพื้นที่ป่าสลับกับภูเขาหินปูน (limestone hill) เนื่องจากหอยทากบกนั้นสามารถดำรงชีวิตได้ดีในถิ่นที่อยู่อาศัยย่อย (microhabitat) ที่มีความชุ่มชื้นสูง (Oke & Chokor, 2010) เนื่องจากภูเขาหินปูนมีชอล์กเคลือบเพื่อการหลบภัยจากศัตรูธรรมชาติ อีกทั้งยังอุดมไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate content) มาใช้ในการสร้างเปลือกเสริมความแข็งแรงให้กับหอยทากบก และเป็นประโยชน์ในการป้องกันอันตรายจากศัตรูธรรมชาติได้ จึงทำให้บริเวณภูเขาหินปูนพบกลุ่มของหอยทากบกมีความหลากหลายของชนิดพันธุ์มาก และเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของป่าได้อีกกลุ่มหนึ่งด้วย (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข)

ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาหินปูน เนื่องจากสภาพป่ามีความเหมาะสมกับการดำรงชีวิตของหอยทากบก ซึ่งในจังหวัดหนองบัวลำภู เป็นพื้นที่ที่น่าสนใจในการศึกษาความหลากหลายของหอยทากบก เนื่องจากเป็นพื้นที่แนวรอยต่อของเทือกเขาหินทรายกับเทือกเขาหินปูนของพื้นที่ราบสูงโคราช โดยมีการสำรวจความหลากหลายของ หอยทากบกในพื้นที่ภูวัง ภูเหล็ก ภูวังทอง (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข) ซึ่งเป็นป่าเบญจพรรณที่ปกคลุมภูเขาหินปูน และเขตภูโหล่นเป็นภูเขาหินทราย จังหวัดหนองบัวลำภู พบหอยทากบกทั้งหมด 22 ชนิด ได้แก่ *Cyclotus* sp., *Pupina* sp. และ *Sarika siamensis* เป็นต้น มีค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในช่วงระหว่าง 0.675 - 2.290 นอกจากนี้ในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น มีนักวิจัยได้ทำการศึกษาความหลากหลายของ หอยทากบกในเขตบริเวณภูผาขาว อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น พบหอยทากบกทั้งหมด 25 ชนิด ได้แก่ *Sarika* sp., *Georissa* sp., *Sarika siamensis* และ *Gylotrachela* sp. เป็นต้น มีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 2.502 (อาทิตย์ แก้วสว่าง และคณะ, 2565; กิตติโรจน์ แสนสุนนท์ และคณะ, 2565)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินปูนในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด ซึ่งประกอบด้วยป่าเบญจพรรณ และป่าไผ่ ที่เป็นเขตป่ารอยต่อของจังหวัดหนองบัวลำภู และจังหวัดเลย เพื่อให้ได้ข้อมูลความหลากหลายที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีเก็บ

ตัวอย่างจากแปลงสำรวจขนาด 20 X 20 เมตร ดัดแปลงการเก็บตัวอย่างจากวิธี A Square Kilometer โดยใช้รูปแบบการประยุกต์การลดทอนจำนวนของแปลงสำรวจตามวิธีการของ Winter & Gittenberger (1998) ร่วมกับวิธีการของ Schilthuisen & Rutjes (2001), Schilthuisen *et al.* (2003), Oke & Alohan (2006), ปฏิพล จำลอง และคณะ (2556) และ ชุตินา สาสังข์ และคณะ (2561) โดยงานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เลขที่การรับรอง A 004/2563

## วิธีดำเนินการวิจัย

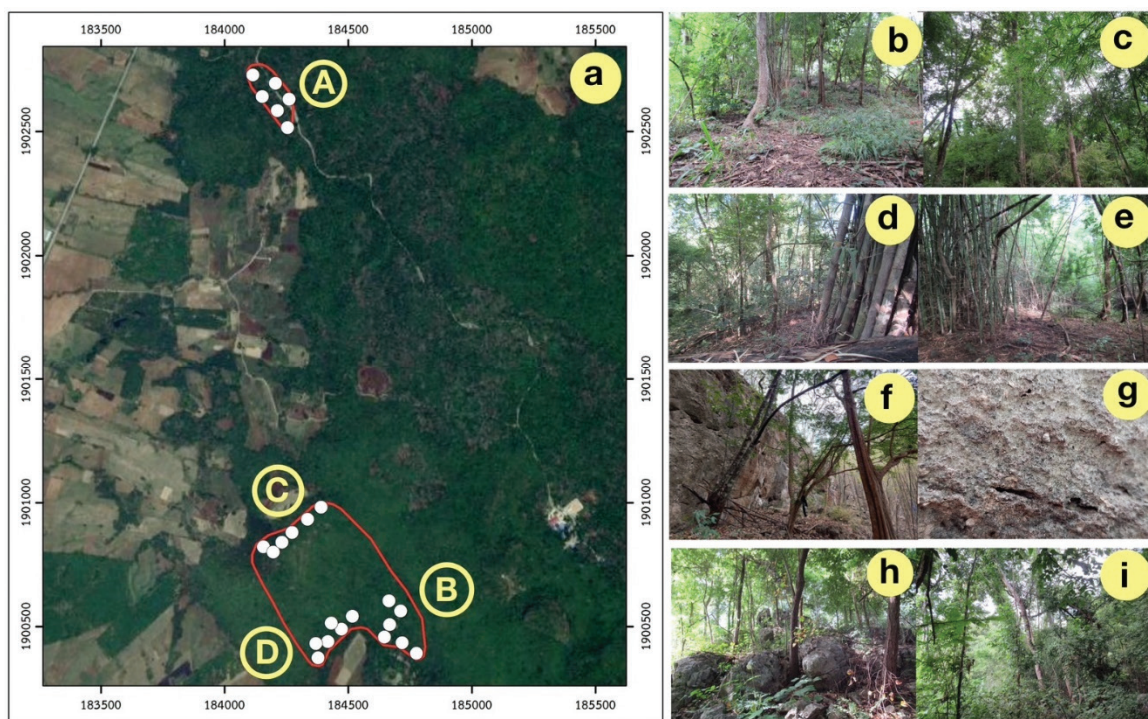
ศึกษาแผนที่ภูมิประเทศในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอดจังหวัดหนองบัวลำภู มาตรฐาน 1 : 15,000 ของสำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 6 (อุดรธานี) กรมป่าไม้ โดยได้รับอนุญาตให้เข้าไปศึกษาหรือวิจัยทางวิชาการจากกรมป่าไม้ (หนังสืออนุญาตจากกรมป่าไม้เล่มที่ 008 ฉบับที่ 41) ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 - เดือนกุมภาพันธ์ 2565 โดยกำหนดพื้นที่บริเวณป่าเบญจพรรณ และป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูนในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด พิกัดภูมิศาสตร์ UTM WGS 1984 Zone 48 184238E 1902624N ในการตีแปลงสำรวจขนาด 20 X 20 เมตร ดังนี้ สถานี A ตั้งอยู่ทางทิศเหนือ บริเวณป่าเบญจพรรณผสมกับป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด จังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งเป็นแนวเขตรอยต่อกับจังหวัดเลย รวมทั้งหมดจำนวน 6 แปลง สถานี B ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออก สถานี C ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตก และสถานี D ตั้งอยู่ทางทิศใต้ สถานีละ 6 แปลง ทำการตีแปลงในป่าเบญจพรรณผสมกับป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด จังหวัดหนองบัวลำภู โดยเลือกพื้นที่ตีแปลงให้ครอบคลุมทุกถิ่นที่อยู่อาศัย รวมทั้งหมดจำนวน 24 แปลง (Figure 1) เก็บตัวอย่างหอยทากบกอย่างละเอียดทั้งหอยทากบกที่ยังมีชีวิต และเปลือก ในช่วงปลายฤดูฝนไปหาต้นฤดูหนาว ซึ่งจะพบหอยทากบกได้มาก ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 - เดือนกุมภาพันธ์ 2565 โดยแต่ละแปลงนั้นจะสำรวจหาหอยทากบกในบริเวณที่หอยอาศัยอยู่ ได้แก่ บนต้นไม้ ซากใบไม้ที่ทับถมกัน ซอก หลืบของหินปูน และตามผนังของหินปูน เป็นต้น โดยใช้ผู้เก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 คน เดินเก็บเป็นเส้นตรง 3 คน และอีก 1 คนเดินเก็บทั่วแปลงสำรวจเก็บตัวอย่างหอยที่มีชีวิตทุกตัวพร้อมเก็บเปลือกหอยที่สำรวจพบเป็นเวลา 30 นาที ต่อ 1 แปลงสำรวจ เมื่อสำรวจเสร็จแล้วทำการคัดเลือกตัวอย่างหอยทากบกที่มีชีวิต (living snail) ระยะตัวเต็มวัย จำนวนไม่เกิน 20 ตัวอย่างต่อ

ชนิด เพื่อนำมาศึกษาลักษณะ ทางกายวิภาคระบบสืบพันธุ์ (reproductive anatomy) และแผ่นฟัน (radula) และตัวอย่าง เปลือกที่สมบูรณ์ (empty shell) ชนิดละไม่เกิน 20 ตัวอย่าง ต่อชนิด เพื่อมาบันทึกภาพสัณฐานวิทยาของเปลือก โดยไม่กระทบต่อจำนวนประชากรของหอยทากบนแต่ละชนิดในพื้นที่ เพื่อจะนำตัวอย่างหอยทากไประบุชนิดต่อไป

นำตัวอย่างหอยทากที่ได้จากแปลงสำรวจมาทำการ คัดแยกหอยทากที่ยังมีชีวิต และเปลือก จากนั้นนำหอยทาก ที่มีชีวิตมาบันทึกภาพ ลงทะเบียนและเก็บตัวอย่างเปลือกไว้ เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงของสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จากนั้นทำการจัด จำแนก และระบุชนิดโดยใช้เอกสารงานวิจัย และคู่มือของ ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บรร ตุ่มปีสุวรรณ (2553ก, ข), ปฏิพล จำลอง และคณะ (2556), ชุตินา สาสังข์ และคณะ (2561), ภูริพงศ์ เมฆสุวรรณ และคณะ (2563), จิรายุทธ บัวทองแสง และกิตติ ตันเมืองปัก (2565), Blanford & Godwin-Austen

(1908), Panha & Burch (2005), Foon *et al.* (2017), Foon & Liew (2017), Pall-Gergely & Grego (2020), Jirapatrasilp *et al.* (2021), Jirapatrasilp *et al.* (2022)

นำผลข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีความหลากหลาย (Diversity index) ตามสูตรของ Shannon-Weiner's index ( $H'$ ) (Krebs, 1999), ค่าความ หลากหลายสูงสุด (The maximum value of  $H$ ,  $H_{max}$ ) (Krebs, 1999), ดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Evenness index,  $J'$ ) (Pielou, 1975), ดัชนีความเด่น (Dominance index,  $D$ ) (Odum, 1971), ความชุกชุมสัมพัทธ์ (Relative abundance) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Pettingill (1950), ดัชนีจำนวน ของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective number of species; Exponential of Shannon entropy index,  $\exp^H$ ) (Hubalek, 2000) และสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) (Krebs, 1999)



**Figure 1** Map of site samplings of land snail collection in limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai, and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lumphu Province (scale 1 : 15,000) (a) station of land snail collection, (b)-(c) station A, (d)-(e) station B, (f)-(g) station C and (h)-(i) station D.

## ผลการวิจัย

ผลการศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของ หอยทากบก บริเวณป่าเบญจพรรณผสมกับป่าไผ่ สลับกับภูเขา หินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าดงช้าทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสายมอด จังหวัดหนองบัวลำภู โดยใช้แปลง

สุ่มตัวอย่างขนาด 20X20 เมตร จำนวน 24 แปลง พบจำนวน หอยทากบกจำนวนทั้งหมด 8,069 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีชีวิต 3,989 ตัวอย่าง คิดเป็น 49.437% ตัวอย่างเปลือก 4,080 ตัวอย่าง คิดเป็น 50.563% จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 22 สกุล 26 ชนิด แบ่งเป็น 3 ชั้นย่อย (Subclass) ประกอบด้วย

(1) Subclass Prosobranchia (ชั้นย่อยหอยทากบกที่มีฝาปิดเปลือก) พบทั้งหมด 11 ชนิด คิดเป็น 42.310% ได้แก่ *Cyclophorus* sp., *Cyclotus* sp.1, *Cyclotus* sp.2, *Cyclotus* sp.3, *Dicharax* sp., *Diplommatina* sp., *Georissa* sp., *Pollicaria myersii*, *Pupina bilabiata*, *Pupina dorri isanensis* และ *Rhiostoma ebenozostera* (2) Subclass Pulmonata (ชั้นย่อยหอยทากบกที่ไม่มีฝาปิดเปลือก) พบทั้งหมด 14 ชนิด คิดเป็น 53.850% ได้แก่ *Sarika siamensis*, *Durgella* sp., *Ganesella carinella*, *Gyliotrachela* sp., *Hemiplecta distincta*, *Hypselostoma* sp., *Landouria* sp.1, *Landouria* sp.2, *Macrochlamys* sp., *Megaustenia siamensis*, *Phuphania costata*, *Prosopoeas* sp., *Sarika* sp. และ *Sitala* sp. (3) Subclass Gymnomorpha (ชั้นย่อยหอยทากบกที่ไม่มีเปลือก) พบทั้งหมด 1 ชนิด คิดเป็น 3.840% ได้แก่ *Semperula siamensis* (Table 1 และ Figure 2-3) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon Weiner's index ( $H'$ ) เปรียบเทียบกับค่าความหลากหลายสูงสุด ( $H_{max}$ ) พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง โดยมีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 1.891 และมีค่าดัชนีความหลากหลายสูงสุดเท่ากับ 3.258 ค่าดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ( $J'$ ) พบว่าหอยทากบกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ของแปลงสำรวจปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.580 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ ( $exp^H$ ) มีค่าเท่ากับ 6.628 หมายความว่าหอยทากบกประมาณ 6-7 ชนิดที่มีความซุกซุ่มสัมพันธ์เท่ากัน และค่าดัชนีความเด่น (D) มีค่าเท่ากับ 0.239 (Table 1)

สถานี A ตั้งอยู่ทางทิศเหนือ พบหอยทากบกทั้งหมด 2,908 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีชีวิต 777 ตัวอย่าง คิดเป็น 26.720% ตัวอย่างเปลือก 2,131 ตัวอย่าง คิดเป็น 73.280% จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 20 สกุล 24 ชนิด แบ่งเป็น 3 ชั้นย่อย ประกอบด้วย (1) Subclass Prosobranchia พบทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ *Cyclophorus* sp., *Cyclotus* sp.1, *Cyclotus* sp.2, *Cyclotus* sp.3, *Diplommatina* sp., *Georissa* sp., *Pollicaria myersii*, *Pupina bilabiata*, *Pupina dorri isanensis* และ *Rhiostoma ebenozostera* ถัดมา (2) Subclass Pulmonata พบทั้งหมด 13 ชนิด ได้แก่ *Sarika siamensis*, *Durgella* sp., *Ganesella carinella*, *Gyliotrachela* sp., *Hemiplecta distincta*, *Hypselostoma* sp., *Landouria* sp.1, *Landouria* sp.2, *Macrochlamys* sp., *Megaustenia siamensis*, *Phuphania costata*, *Sarika* sp. และ *Sitala* sp. และ (3) Subclass Gymnomorpha พบ *Semperula siamensis* เพียงชนิดเดียว (Table 1 และ Figure 2-3) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายเปรียบเทียบกับค่าความหลากหลายสูงสุด พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในเกณฑ์สูง มีค่าเท่ากับ 1.914 และมีค่า

ดัชนีความหลากหลายสูงสุดเท่ากับ 3.178 ค่าดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ พบว่าหอยทากบกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ของแปลงสำรวจปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.602 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ มีค่าเท่ากับ 6.781 หมายความว่าหอยทากบกประมาณ 6-7 ชนิดที่มีความซุกซุ่มสัมพันธ์เท่ากัน และค่าดัชนีความเด่น (D) มีค่าเท่ากับ 0.311 (Table 1)

สถานี B ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออก พบ หอยทากบกทั้งหมด 1,073 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีชีวิต 325 ตัวอย่าง 30.290% ตัวอย่างเปลือก 748 ตัวอย่าง คิดเป็น 69.710% จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 9 สกุล 11 ชนิด แบ่งเป็น 2 ชั้นย่อย ประกอบด้วย (1) Subclass Prosobranchia พบทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ *Cyclophorus* sp., *Cyclotus* sp.1, *Cyclotus* sp.2, *Cyclotus* sp.3, *Georissa* sp. และ *Pollicaria myersii* และ (2) Subclass Pulmonata พบทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ *Sarika siamensis*, *Gyliotrachela* sp., *Hemiplecta distincta*, *Hypselostoma* sp. และ *Landouria* sp.1 (Table 1 และ Figure 2-3) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายเปรียบเทียบกับ ค่าความหลากหลายสูงสุด พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีค่าเท่ากับ 1.225 และมีค่าดัชนีความหลากหลายสูงสุดเท่ากับ 2.397 ค่าดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ พบว่าหอยทากบกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ของแปลงสำรวจปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.510 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ มีค่าเท่ากับ 3.404 หมายความว่าหอยทากบกประมาณ 3-4 ชนิดที่มีความซุกซุ่มสัมพันธ์เท่ากัน และค่าดัชนีความเด่น (D) มีค่าเท่ากับ 0.412 (Table 1)

สถานี C ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตก พบหอยทากบกทั้งหมด 2,613 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีชีวิต 1,933 ตัวอย่าง คิดเป็น 73.980% ตัวอย่างเปลือก 680 ตัวอย่าง คิดเป็น 26.020% จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 15 สกุล 15 ชนิด แบ่งเป็น 2 ชั้นย่อย ประกอบด้วย (1) Subclass Prosobranchia พบทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ *Cyclotus* sp.1, *Dicharax* sp., *Georissa* sp., *Pupina dorri isanensis* และ *Rhiostoma ebenozostera* ถัดมา (2) Subclass Pulmonata พบทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ *Sarika siamensis*, *Ganesella carinella*, *Gyliotrachela* sp., *Hemiplecta distincta*, *Hypselostoma* sp., *Landouria* sp.2, *Macrochlamys* sp., *Phuphania costata*, *Prosopoeas* sp. และ *Sitala* sp. (Table 1 และ Figure 2-3) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายเปรียบเทียบกับค่าความหลากหลายสูงสุด พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีค่าเท่ากับ 1.436 และมีค่าดัชนีความหลากหลายสูงสุดเท่ากับ 2.708 ค่าดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ พบว่าหอยทากบกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ของแปลงสำรวจปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.530 ค่าดัชนีจำนวนของ

ชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ มีค่าเท่ากับ 4.206 หมายความว่า หอยทากบกประมาณ 4-5 ชนิดที่มีความซุกซมสัมพันธ์เท่ากัน และค่าดัชนีความเด่น (D) มีค่าเท่ากับ 0.329 (Table 1)

สถานี D ตั้งอยู่ทางทิศใต้ พบหอยทากบกทั้งหมด 1,475 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีชีวิต 954 ตัวอย่าง คิดเป็น 64.677% ตัวอย่างเปลือก 521 ตัวอย่าง คิดเป็น 35.323% จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 12 สกุล 12 ชนิด แบ่งเป็น 2 ชั้นย่อย ประกอบด้วย (1) Subclass Prosobranchia พบทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ *Cyclophorus* sp., *Cyclotus* sp.1, *Dicharax* sp., *Georissa* sp. และ *Pollicaria myersii* ถัดมา (2) Subclass Pulmonata พบทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ *Sarika siamensis*, *Ganesella carinella*, *Gyliotrachela* sp., *Hemiplecta distincta*, *Landouria* sp.2, *Macrochlamys* sp. และ *Prosopoeas* sp. (Table 1 และ Figure 2-3) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายเปรียบเทียบกับค่าความหลากหลายสูงสุด พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีค่าเท่ากับ 1.364

และมีค่าดัชนีความหลากหลายสูงสุด เท่ากับ 2.484 ค่าดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ พบว่าหอยทากบกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ของแปลงสำรวจ ปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.549 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ มีค่าเท่ากับ 3.913 หมายความว่าหอยทากบกประมาณ 3-4 ชนิดที่มีความซุกซมสัมพันธ์เท่ากัน และค่าดัชนีความเด่น (D) มีค่าเท่ากับ 0.326 (Table 1)

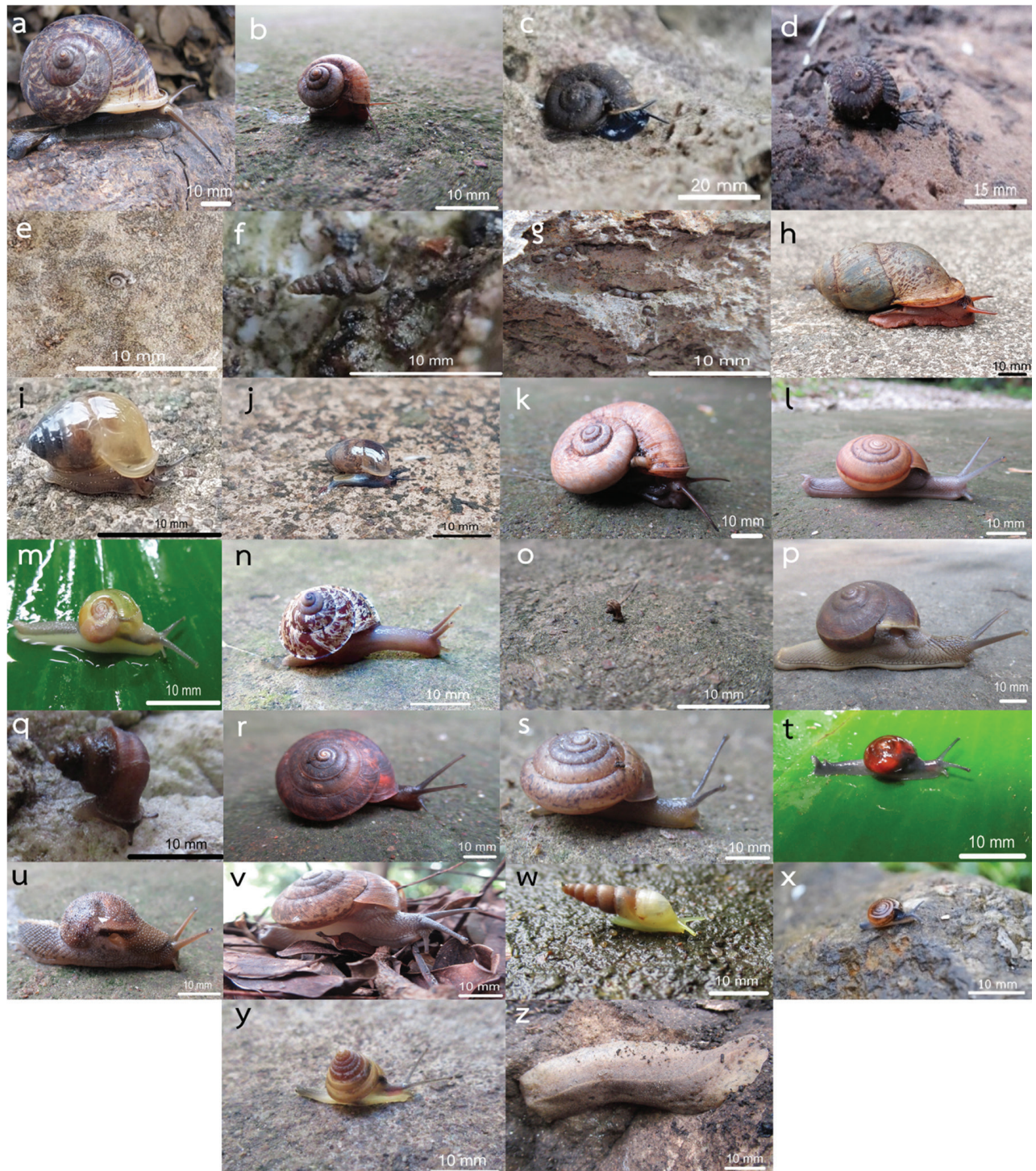
หอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) มีค่าความซุกซมสัมพันธ์สูงสุด รองลงมาได้แก่ หอยจิ้งจกแดง (*Georissa* sp.) มีค่าเท่ากับ 38.022% และ 27.078% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความคล้ายคลึง (Ss) พบว่าทุกสถานีมีค่าดัชนีความคล้ายคลึงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.461 - 0.838 มีค่าอยู่ในระดับปานกลางไปหามาก พิจารณาจากค่าเมื่อเข้าใกล้ 1 (Table 2)



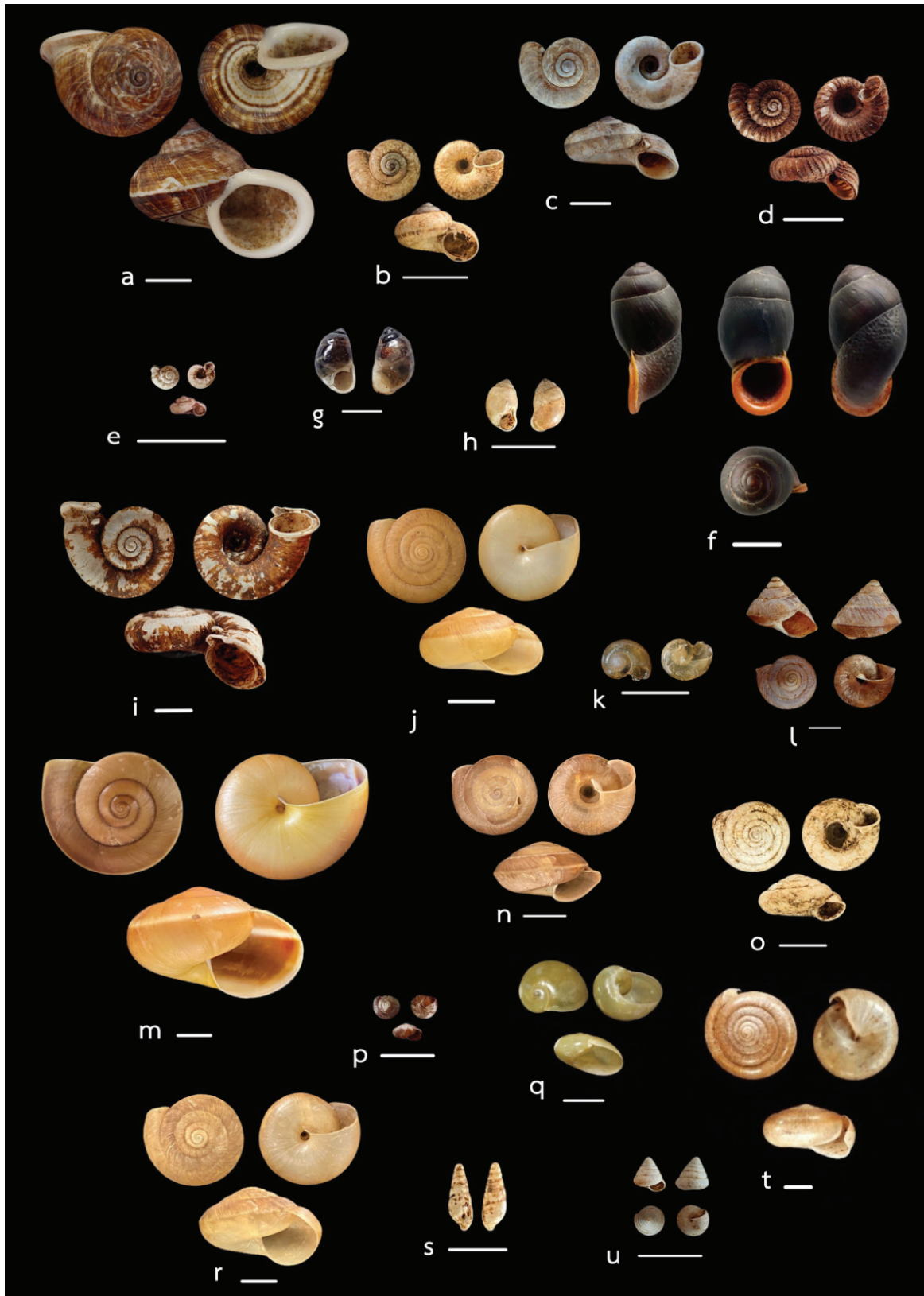
**Table 1** Land snail specimens (empty shell (S) and living snail (LS)) in site samplings were collected, and biological diversity indices; Shannon-Weiner's index ( $H'$ ), Evenness index ( $J'$ ), The maximum value of H index ( $H_{max}$ ), Exponential of Shannon entropy index ( $\exp^H$ ), and Dominance index (D) of land snail investigation at limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai, and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lumphu Province, Thailand (cont.)

| No.                  | Land snail species           | No. of land snail individuals |     |       |     |           |       |     |       |           |     |     |       |           |       |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|-----|-------|-----|-----------|-------|-----|-------|-----------|-----|-----|-------|-----------|-------|
|                      |                              | Station A                     |     |       |     | Station B |       |     |       | Station C |     |     |       | Station D |       |
|                      |                              | S                             | LS  | Total | S   | LS        | Total | S   | LS    | Total     | S   | LS  | Total | S         | Total |
| 19                   | <i>Landouria</i> sp.2        | 76                            | 35  | 111   | -   | -         | -     | 6   | 4     | 10        | 9   | 16  | 25    | 88        | 43    |
| 20                   | <i>Macrochlamys</i> sp.      | 8                             | 10  | 18    | -   | -         | -     | 6   | 11    | 17        | 1   | 2   | 3     | 20        | 32    |
| 21                   | <i>Megaustenia siamensis</i> | -                             | 8   | 8     | -   | -         | -     | -   | -     | -         | -   | -   | -     | -         | 8     |
| 22                   | <i>Phuphanian costata</i>    | 17                            | 14  | 31    | -   | -         | -     | 5   | 4     | 9         | -   | -   | -     | 27        | 22    |
| 23                   | <i>Prosopaea</i> sp.         | -                             | -   | -     | -   | -         | -     | 5   | 2     | 7         | 9   | 7   | 16    | 10        | 4     |
| 24                   | <i>Sarika</i> sp.            | 8                             | 6   | 14    | -   | -         | -     | -   | -     | -         | -   | -   | -     | 8         | 6     |
| 25                   | <i>Sitala</i> sp.            | 8                             | 16  | 24    | -   | -         | -     | 3   | 1     | 4         | -   | -   | -     | 14        | 18    |
| Subclass Gymnomorpha |                              |                               |     |       |     |           |       |     |       |           |     |     |       |           |       |
| 26                   | <i>Semperula siamensis</i>   | -                             | 2   | 2     | -   | -         | -     | -   | -     | -         | -   | -   | -     | -         | 2     |
| Total                |                              | 2,131                         | 777 | 2,908 | 748 | 325       | 1,073 | 680 | 1,933 | 2,613     | 521 | 954 | 1,475 | 4,080     | 8,069 |
| No. of Genera        |                              | 20                            |     |       |     | 9         |       |     |       | 15        |     |     |       | 12        |       |
| No. of Species       |                              | 24                            |     |       |     | 11        |       |     |       | 15        |     |     |       | 12        |       |
| $H'$                 |                              | 1.914                         |     |       |     | 1.225     |       |     |       | 1.436     |     |     |       | 1.364     |       |
| $J'$                 |                              | 0.602                         |     |       |     | 0.510     |       |     |       | 0.530     |     |     |       | 0.549     |       |
| $H_{max}$            |                              | 3.178                         |     |       |     | 2.397     |       |     |       | 2.708     |     |     |       | 2.484     |       |
| $\exp^H$             |                              | 6.781                         |     |       |     | 3.404     |       |     |       | 4.206     |     |     |       | 3.913     |       |
| D                    |                              | 0.311                         |     |       |     | 0.412     |       |     |       | 0.329     |     |     |       | 0.326     |       |

Footnote: LS = Living snail, S = Shell, and - = not found



**Figure 2** Living land snail collected from at limestone hills area at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lumphu Province, Thailand (a) *Cyclophorus* sp., (b) *Cyclotus* sp.1, (c) *Cyclotus* sp.2, (d) *Cyclotus* sp.3, (e) *Dicharax* sp.1, (f) *Diplommatina* sp., (g) *Georissa* sp., (h) *Pollicaria myersii*, (i) *Pupina bilabiata*, (j) *Pupina dorri isanensis*, (k) *Rhiostoma ebenozostera*, (l) *Sarika siamensis*, (m) *Durgella* sp., (n) *Ganesella carinella*, (o) *Gylotrachela* sp., (p) *Hemiplecta distincta*, (q) *Hypselostoma* sp., (r) *Landouria* sp.1, (s) *Landouria* sp.2, (t) *Macrochlamys* sp., (u) *Megaustenia siamensis*, (v) *Phuphania costata*, (w) *Prosopeas* sp., (x) *Sarika* sp., (y) *Sitala* sp., (z) *Semperula siamensis* (Scale bar = 10 mm)



**Figure 3** Empty shell of land snail collected from at limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai, and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lumphu Province, Thailand  
 (a) *Cyclophorus* sp., (b) *Cyclotus* sp.1, (c) *Cyclotus* sp.2, (d) *Cyclotus* sp.3, (e) *Dicharax* sp.1, (f) *Pollicaria myersii*,  
 (g) *Pupina bilabiata*, (h) *Pupina dorri isanensis*, (i) *Rhiostoma ebenozostera*, (j) *Sarika siamensis*, (k) *Durgella* sp.,  
 (l) *Ganesella carinella*, (m) *Hemiplecta distincta*, (n) *Landouria* sp.1, (o) *Landouria* sp.2, (p) *Macrochlamys* sp.,  
 (q) *Megaustenia siamensis*, (r) *Phuphania costata*, (s) *Prosopeas* sp., (t) *Sarika* sp., (u) *Sitala* sp. (Scale bar = 10 mm)

**Table 2** Sorensen's similarity coefficient (Ss) of land snail investigation at limestone hill areas at Pa Dong Sam Thong, Pa Dong Nong Phai and Pa Dong Pha Sam Yod National Reserved Forest, Si Bun Rueang District, Nong Bua Lumphu Province, Thailand

| Station | Sorensen's similarity coefficient (Ss) |       |       |       |
|---------|----------------------------------------|-------|-------|-------|
|         | A                                      | B     | C     | D     |
| A       | 1                                      | 0.628 | 0.667 | 0.556 |
| B       |                                        | 1     | 0.461 | 0.608 |
| C       |                                        |       | 1     | 0.838 |
| D       |                                        |       |       | 1     |

### อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกบริเวณป่าเบญจพรรณผสมกับป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูนในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด จังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วย ป่าเบญจพรรณ และป่าไผ่ที่มีหินปูนลูกเล็กตั้งเรียงรายเป็นหย่อมๆ จากการตีแปลงสำรวจทั้งหมด 4 สถานี พบหอยทากบกทั้งหมด 26 ชนิด ประกอบด้วย Subclass Prosobranchia พบทั้งหมด 11 ชนิด ใกล้เคียงกับ Subclass Pulmonata ที่พบทั้งหมด 14 ชนิด ส่วน Subclass Gymnomorpha พบเพียง 1 ชนิดเท่านั้น ซึ่งการศึกษารังนี้พบหอยทากจืด ทั้งหมด 8 ชนิด ซึ่งพบได้เกือบทุกสถานี โดยเฉพาะสถานี A พบมากที่สุด ได้แก่ *Dicharax* sp., *Hypselostoma* sp., *Diplommatina* sp., *Georissa* sp., *Gyliotrachela* sp., *Pupina bilabiata*, *Pupina dorri isanensis* และ *Sitala* sp. แตกต่างจากรายงานการสำรวจหอยทากบกในเขตภูริ ภูเหล็ก และภูโพน จังหวัดหนองบัวลำภูที่ไม่พบหอยทากจืดเลย แม้จะเป็นภูเขาหินปูนก็ตาม (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข) อาจเป็นไปได้ว่าบริเวณผาสามยอดเป็นภูเขาหินปูนมีความสูงชัน มีซอกหลืบมากมาย ทำให้หอยทากจืดสามารถอำพรางตัวจากศัตรูได้เป็นอย่างดี (Oke & Alohan, 2006; กิตติ ดันเมืองปัก และคณะ, 2560) เป็นที่น่าสนใจว่าหอยทากจืดสกุล *Dicharax* sp. และ *Hypselostoma* sp. ไม่เคยมีรายงานการสำรวจพบในพื้นที่แถบนี้มาก่อน กล่าวได้ว่าเป็นการค้นพบหอยทากบกสองสกุลนี้เป็นครั้งแรกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เมื่อพิจารณาจำนวนชนิดของหอยทากบกในแต่ละสถานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยของจำนวนชนิดแต่ละสถานีเท่ากับ 15.500 ชนิด โดยสถานี A อยู่ทางทิศเหนือ มีจำนวนชนิดสูงสุด เท่ากับ 24 ชนิด ซึ่งสถานีนี้อยู่ในเขตป่าเบญจพรรณรกทึบและมีภูเขาหินปูนตั้งเรียงรายเป็นหย่อม ๆ ซึ่งเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของหอยทากบกเป็นอย่างดี (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข;

Ogbeide *et al.* 2018) อีกทั้งพื้นที่ส่วนนี้ไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาบุกรุกบกรวน ทำให้สภาพป่ามีความสมบูรณ์มาก (ชุดิมาสาสังข์ และคณะ, 2561; Oke & Chokor, 2009) ในทางตรงกันข้ามจำนวนชนิดของหอยทากบกที่สำรวจพบสถานี B - D ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออก ตะวันตก และทิศใต้ พบ 11, 15 และ 12 ชนิด ตามลำดับ น้อยกว่าสถานี A อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสภาพพื้นที่สำรวจตัวอย่างนั้นมีความสูงชัน เมื่อมีฝนตกชุกน้ำอาจจะชะล้างและพัดพาเอาเปลือกงมมากองทับถมที่บริเวณดินเขา อีกทั้งยังมีพื้นที่ทำการเกษตรกรรมของเกษตรกรในพื้นที่อยู่ล้อมรอบใกล้กับบริเวณตีแปลงสำรวจหอยทากบกอาจมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อที่อยู่อาศัยของหอยทากบกหลายชนิด (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ก; Altaf *et al.* 2017) รวมทั้งมีหินปูนตั้งอยู่ประปราย จึงทำให้สถานีนี้พบความหลากหลายน้อยกว่าพื้นที่สถานี A สอดคล้องกับค่าดัชนีความหลากหลายที่สถานี B มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่น ๆ ที่กล่าวมา

พื้นที่ของป่าเบญจพรรณ และป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด มีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 1.891 สอดคล้องกับค่าความหลากหลายของหอยทากบกที่มีรายงานการสำรวจที่ ภูเหล็ก และภูวังทอง ที่มีสภาพป่าเบญจพรรณสลับกับภูเขาหินปูนที่มีค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในช่วงระหว่าง 1.760 - 2.290 อาจเป็นเพราะว่าบริเวณ ภูเหล็ก และภูวังทองมีความหลากหลายของพันธุ์พืชที่เป็นทั้งแหล่งที่อยู่อาศัยและอาหารที่สำคัญต่อ หอยทากบก (ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข) ในทำนองเดียวกันปัจจัยทางกายภาพ ประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสงแดด และร่มเงาของต้นไม้ รวมทั้งถิ่นที่อยู่อาศัยอาจจะเป็นส่วนสำคัญที่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอยทากบก (Oke & Alohan, 2006; Altaf *et al.* 2017; กิตติ ดันเมืองปัก และคณะ, 2560)

สถานี A พบว่าหอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) และหอยวงท่อน้อย (*Cyclotus* sp.1) มีค่าความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 54.023% และ 9.525% สถานี B พบว่าหอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) และหอยวงท่อน้อย (*Cyclotus* sp.1) มีค่าความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 58.527% และ 25.069% สถานี C พบว่าหอยจิวจุกแดง (*Georissa* sp.) และหอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) มีค่าความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 51.358% และ 17.566% และสถานี D พบว่าหอยจิวจุกแดง (*Georissa* sp.) และหอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) มีค่าความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 47.457% และ 27.796%

พบว่า หอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) มีความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงในทุกพื้นที่ โดยสามารถพบได้บ่อยทุกสภาพถิ่นที่อยู่อาศัย ในสถานี B บ้างก็เกาะอยู่บนต้นไม้ริมถนน หรือพื้นดินริมถนน หรือตามต้นไม้ แต่เมื่อตีแปลงสำรวจลึกเข้าไปในป่าที่ไกลจากถนน จะไม่ค่อยพบหอยทากสยาม ซึ่งหอยทากบกชนิดนี้พบแพร่กระจายพันธุ์ในแหล่งที่มีกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก (ปฏิพล จำลอง และคณะ, 2556; ชุติมา สาสังข์ และคณะ, 2561)

*Georissa* sp. หรือหอยจิวจุกแดง มีความซุกซุ่มสัมพัทธ์สูงมาก รองลงมาจากหอยทากสยาม เป็น หอยทากจืดที่พบเกาะอยู่บริเวณซอกหลืบของภูเขาหินปูน มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม พรางตัวจากศัตรูได้เป็นอย่างดี ในช่วงกลางวันมักจะเกาะอยู่กับที่จะไม่เคลื่อนที่ไปไหน มักจะเคลื่อนที่ในช่วงมืดเพื่อพรางตัวจากศัตรู ส่วนหอยทากบกชนิด *Cyclotus* sp.1 มีความซุกซุ่มสัมพัทธ์รองลงมาจากหอยจิวจุกแดงซึ่งพบได้มากทุกสถานี ซึ่งมักพบเกาะอยู่ตามต้นไม้ และหากินเศษซากพืชโดยเฉพาะกิ่งไม้แห้ง ซึ่งการที่เปลือกมีสีสนกลมกลืนกับกิ่งไม้ทำให้หอยทากชนิดนี้สามารถพรางตัวได้ดี จึงพบได้ในทุกแปลงสำรวจทั้งตัวอย่างที่มีชีวิตและเปลือก และในส่วนของหอยปากแตรชนิด *Gylotrachela* sp. มักจะเกาะอยู่บริเวณซอกหลืบเหมือนกันกับหอยทากจิวจุกแดงที่พบบริเวณของภูเขาหินปูน ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

*Rhiostoma ebenozostera* หอยวงท่อน้อยดำอัสสาน มีความซุกซุ่มสัมพัทธ์รองลงมาจาก *Gylotrachela* sp. แต่การแพร่กระจายพันธุ์นั้นพบได้น้อยมากในสถานี C และไม่พบเลยในสถานี B และ D แต่กลับพบในสถานี A มากที่สุด จำนวน 179 ตัวอย่าง ซึ่งมีความซุกซุ่มสัมพัทธ์ในระดับน้อย ซึ่งสภาพป่าของสถานี A เป็นป่าเบญจพรรณ รกทึบ และมีหินปูนตั้งสลับกันเป็นหย่อม ไม่มีความลาดชัน จึงทำให้พบตัวอย่างของหอยทากบกชนิดนี้จำนวนมาก

*Durgella* sp. หรือหอยหางดิน พบที่สถานี A สถานีเดียว และพบตัวอย่างที่มีชีวิตและเปลือก รวมทั้งหมด 37

ตัวอย่างเท่านั้น เนื่องจากหอยหางดินเป็นหอยทากบกที่มีการดำรงชีวิตอยู่บนต้นไม้ และในบางครั้งก็อยู่สูงจากพื้นมากกว่า 6 เมตร จึงทำให้ยากต่อการสังเกต แต่ในบางครั้งหอยหางดินอาจจะลงมาหากินอาหารที่บริเวณโคนของต้นไม้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบหอยหางดินที่บริเวณป่าไผ่ ต่างจากรายงานของ ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ์ และศักดิ์บรร ตุ่มปีสุวรรณ์ (2553) ที่สำรวจพบหอยหางดินในเขตป่า เบญจพรรณ

ในกลุ่มของหอยทากจืดของการศึกษานี้พบทั้งหมด 8 ชนิด พบว่า *Diplommanita* sp. และ *Pupina bilabiata* พบได้เพียงสถานี A เท่านั้น เนื่องจากบริเวณนี้มีหินปูนที่มีความสูงชัน รกทึบ และแสงแดดส่องลงมาไม่ถึงยังพื้นดิน ทำให้จุดที่พบนี้นั้นมีความชุ่มชื้นและมีอากาศเย็น ซึ่งพบเปลือกอยู่ตามหน้าผาของหินปูน และบางเปลือกพบอยู่ตามผนังของภูเขาหินปูน

*Dicharax* sp. เป็นหอยทากจืดที่มีฝาปิดเปลือกพบที่สถานี C และ D เท่านั้น อาศัยอยู่ในซอกของหินปูนที่ติดกับพื้นดิน และบริเวณใกล้ ๆ กันนั้นจะมีซากใบไม้ทับถมกัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการค้นพบหอยทากจืดสกุลนี้เป็นครั้งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ในทำนองเดียวกันพบว่าหอยทากบกชนิด *Hypselostoma* sp. เป็นหอยทากจืดที่ไม่มีฝาปิดเปลือก พบกระจายตัวที่สถานี A - C เท่านั้น ไม่พบอาศัยในสถานี D อาศัยอยู่บนผนังหินปูนที่สูงชัน มีสีสนที่กลมกลืนกับผนังหินปูน มีการพรางตัวจากศัตรูได้เป็นอย่างดี หอยทากจืดชนิดนี้กินอาหารจำพวกไลเคนบนหินปูนเป็นอาหาร มีขนาดตัวใหญ่ ความยาวของเปลือกอยู่ในช่วงระหว่าง 2-5 มม. เมื่อเทียบกับหอยทากจืดสกุลนี้ที่พบจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งถือได้ว่าเป็นการค้นพบหอยทากจืดสกุลนี้เป็นครั้งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเช่นเดียวกับหอยทากจืดสกุล *Dicharax* sp.

จากการศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกในบริเวณป่าเบญจพรรณผสมกับป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูนในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด จังหวัดหนองบัวลำภูนี้ ทำให้มีข้อมูลความหลากหลายและการแพร่กระจายพันธุ์ของหอยทากบกในเขตจังหวัดหนองบัวลำภูสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งหอยทากบกมักอาศัยอยู่ในถิ่นที่อยู่อาศัยย่อย จึงทำให้ต้องค้นหาอย่างละเอียด ซึ่งมีทั้งหอยทากบกที่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกลเนื่องจากมีขนาดตัวที่ใหญ่ เช่น หอยเตี๋ย (*Hemiplecta distincta*) และหอยหอม (*Cyclophorus* sp.) เป็นต้น แต่มีอีกหลายชนิดที่มีขนาดเล็กกว่าที่เรียกว่า หอยทากจืดที่มีการพรางตัวที่ดี ซึ่งข้อมูลจากการศึกษานี้ในหลายชนิดจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงกายวิภาคศาสตร์และอนุชีววิทยา เพื่อให้การระบุชนิดมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น กล่าวได้ว่าหอยทากบกนั้นเป็นดัชนีชี้วัดสิ่งแวดล้อม

ได้เป็นอย่างดี (Oke & Chokor, 2010; Altaf *et al.* 2017) โดยเฉพาะในเขตป่าที่มีภูเขาหินปูนชั้นสลับมีแร่ธาตุแคลเซียมสูงจะส่งผลต่อการดำรงชีวิตและความหลากหลายของหอยทากบกได้เป็นอย่างดีอีกด้วย (ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ, 2553ข; ภัทรพงศ์ แข็งแรง และคณะ, 2566)

### สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบก ในบริเวณป่าเบญจพรรณผสมกับ ป่าไผ่ สลับกับภูเขาหินปูน ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าดงช้างทอง ป่าดงหนองไผ่ และป่าดงผาสามยอด จังหวัดหนองบัวลำภู ทำการตีแปลงรวมทั้งหมด 24 แปลง พบหอยทากบกทั้งหมด 8,069 ตัวอย่าง จัดจำแนกและระบุชนิดได้ทั้งหมด 22 สกุล 26 ชนิด โดยที่หอยทากสยาม (*Sarika siamensis*) และหอยทากจิว จุกแดง (*Georissa* sp.) มีจำนวนประชากร และความชุกชุมสัมพัทธ์สูงที่สุดตามลำดับ ค่าดัชนีความหลากหลาย มีค่าเท่ากับ 1.891 ค่าความหลากหลายสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.258 ดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีค่าเท่ากับ 0.580 ค่าดัชนีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพที่บ่งบอกถึงชนิดพันธุ์ของหอยทากบกที่สามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี มีค่าเท่ากับ 6.628 ค่าดัชนีความเด่น มีค่าเท่ากับ 0.239 และค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงสูงสุด ได้แก่ สถานี C กับ D มีค่าเท่ากับ 0.838 ในการศึกษาครั้งนี้พบหอยทากจิว สกุล *Dicharax* sp. และ *Hypselostoma* sp. โดยพบในแหล่งอาศัยบริเวณ ป่าไผ่ ซึ่งเป็นรายงานการค้นพบครั้งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกที่สามารถเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างดี เป็นประโยชน์ต่อการหาแนวทางอนุรักษ์ทรัพยากรในพื้นที่ให้คงอยู่เพื่อให้คนรุ่นหลังได้ชื่นชมกับทรัพยากรที่มีค่าต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ น.ส.อารีญา สาสุข น.ส.ธิดิมา หลงน้อย นายกิตติโรจน์ แสนสุนนท์ นายพงษ์พิพัฒน์ สุวรรณนะ น.ส.ธัญญารัตน์ จันโทศรี และนายนันทพงศ์ บุญสะอาด ในการเก็บข้อมูลวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 6 (อุดรธานี) ในการทำแผนที่แปลงสำรวจหอยทากบก และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- กิตติ ตันเมืองปัก, วรวิทย์ ตาดี, ฤทธิชัย สุขงเจริญ และประยูร ชุ่มมาก. (2560). ความหลากหลายของหอยทากบกในถ้ำหินปูน เขตวนอุทยานผางาม จังหวัดเลย. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4* (น. 1195-1204). สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- กิตติโรจน์ แสนสุนนท์, นันทพงศ์ บุญสะอาด และกิตติ ตันเมืองปัก. (2565). การศึกษาความชุกชุมของหอยทากบกในเขตตำบลบริบูรณ์ อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น. ใน *จารุวัลย์ รัชสมัย (บ.ก.), วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สร้างสรรค์นวัตกรรมสู่ชุมชน, การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4* (น. 128-140). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- จิรายุทธ บัวทองแสง และกิตติ ตันเมืองปัก. (2565). ความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบกในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสาน อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย. *วารสารแก่นเกษตร*, 50(1), 76-87.
- ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. (2553ก). ความหลากหลายและชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูทอกน้อย จังหวัดหนองคาย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 29(3), 298-307.
- ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. (2553ข). ความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินปูน และภูเขา หินทรายในจังหวัดหนองบัวลำภู. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 15(2), 10-19.
- ชุตินา สาสังข์, ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. (2561). ความหลากหลายของหอยทากบกภายในหอย่อมป่า ขนาดเล็กบางแห่งในจังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 37(1), 85-97.
- ปฏิพล จำลอง, ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. (2556). ความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินทรายและภูเขาไฟในจังหวัดสุรินทร์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 18(1), 67-81.
- ภัทรพงศ์ แข็งแรง, เพ็ญภา อุบปัญญาคำ, กิตติมา ฝ่ายจันทร์ และกิตติ ตันเมืองปัก. (2566). ความหลากหลาย ความชุกชุม และความคล้ายคลึงของหอยทากบกในบริเวณแปลงเกษตร อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย. ใน *จารุวัลย์ รัชสมัย (บ.ก.), วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่การพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน, การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5* (น. 676-687). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

- ภูริพงศ์ เมฆสุวรรณ, สายสนธิ พงศ์สุวรรณ และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2563). ชนิดและการแพร่กระจายของ หอยทากบกบนเกาะภูเก็ตและเกาะใกล้เคียง. *วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(1), 1-10.
- อาทิตย์ แก้วสว่าง, พงษ์พิพัฒน์ สุวรรณะ และกิตติ ดันเมืองปัก. (2565). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH ในดินต่อความหลากหลายชนิดของหอยทากบกใน เขตตำบลบริบูรณ์ อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น. ใน *จารุวัลย์ รักษมณี (บ.ก.), วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สร้างสรรค์นวัตกรรมสู่ชุมชน, การประชุมวิชาการระดับ ชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 4 (น. 73-83). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏเลย.*
- Altaf, J., Qureshi, N.A. & Siddiqui, M.J.I. (2017). Interaction of snail species in the agroecosystem. *Journal of Biodiversity and Environmental Science*, 10(1), 169-182.
- Blandford, W.T. & Godwin-Austen, H.H. (1908). *The fauna of British India, Ceylon and Burma*. London, UK: Taylon and Francis.
- Foon, J.K., Clements, G.R. & Liew, T-S. (2017). Diversity and biogeography of land snails (Mollusca, Gastropoda) in the limestone hills of Perak, Peninsular Malaysia. *ZooKeys*. 682, 1-94.
- Foon, J.K. & Liew, T-S. (2017). A review of the land snail genus *Alycaeus* (Gastropoda, Alycaeidae) in Peninsular Malaysia. *ZooKeys*, 692, 1-81.
- Hubalek, Z. (2000). Measures of species diversity in ecology: An evaluation. *Folia Zoologica*, 49(4), 241-260.
- Jirapatrasilp, P., Páll-Gergely, B., Sutcharit, C. & Tongkerd, P. (2021). The operculate micro land snail genus *Dicharax* Kobelt & Möllendorff, 1900 (Caenogastropoda, Alycaeidae) in Thailand, with description of new species. *Zoosystematics and Evolution*, 97(1), 1-20.
- Jirapatrasilp, P., Sutcharit, C. & Panha, S. (2022). Annotated checklist of the operculated land snails from Thailand (Mollusca, Gastropoda, Caenogastropoda): The Family Pupinidae, with descriptions of several new species and subspecies, and notes on classification of *Pupina* Vignard, 1829 and *Pupinella* Gray, 1850 from mainland Southeast Asia. *ZooKeys*, 1119, 1-115.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology*. (2<sup>nd</sup> ed.) California : Addison Wesley Longman, Inc.
- Odum, E.P. (1971). *Fundamental of ecology*. (2<sup>nd</sup> ed.) London : W. B. Sauders Comp.
- Ogbeide, J.O., Omogbeme, M.I., Uwaifo, O.P. & Oke, O.C. (2018). Land snail community structure and diversity in unprotected and protected forest areas of Ekiti State, Nigeria. *European Scientific Journal*, 14(27), 366-377.
- Oke, O.C. & Chokor, J.U. (2009). The effect of land use on snail species richness and diversity in the tropical rainforest of south - western Nigeria. *African Scientist*, 10(2), 95-108.
- Oke, O.C. & Alohan, F.I. (2006). The land snail diversity in a square kilometre of tropical rainforest in Okomu National Park, Edo State, Nigeria. *African Scientist*, 7(3), 135-142.
- Oke, O.C. & Chokor, U.J. (2010). Land snail species richness and diversity in Idanre Hills, Ondo State, Nigeria. *African Journal of Ecology*, 48, 1004-1008.
- Páll-Gergely, B. & Grego, J. (2020). *Kontschania tetragrya* n. gen. & sp. from Laos (Gastropoda: Cyclophoroidea: Diplommatinidae). *Journal of Conchology*, 43(5), 461-465.
- Panha, S. & Burch, J.B. (2005). An introduction to the microsnails of Thailand. *Malacological Review*, 37/38, 1-155.
- Pettingill, O.S. (1950). *A laboratory and field manual of Ornithology*. Minnesota : Burgess Publishing.
- Pielou, E.C. (1975). *Ecological diversity*. New York, USA: Willey & Sons.
- Schilthuizen, M., Chai, H-N., Kimsin, T.E. & Vermeulen, J.J. (2003). Abundance and diversity of land snails (Mollusca: Gastropoda) on limestone hills in Borneo. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 51(1), 35-42.
- Schilthuizen, M. & Rutjes, H.A. (2001). Land snail diversity in a square kilometre of tropical rainforest in Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Molluscan Studies*, 67, 417-423.
- Winter, A.J. De. & Gittenberger, E. (1998). The land snail fauna of a square kilometer patch of rainforest in southwestern Cameroon: High species richness, low abundance and seasonal fluctuations. *Malacologia*, 40(1-2), 231-250.

# ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบของสารสกัดดอกพวงชมพู

## Antioxidant and anti-inflammatory of *Antigonon leptopus* flower extract

นภาพาสส์ คุ่มกลาง<sup>1</sup>, พิพัฒน์พล สารโนทยาน<sup>2</sup> และ น้ำอ้อย ปัญญา<sup>1\*</sup>  
Nadaphast Koomklang<sup>1</sup>, Phiphatphol Saranothayan<sup>2</sup> and Namooy Panya<sup>1\*</sup>

**Received:** 11 January 2024 ; **Revised:** 19 February 2024 ; **Accepted:** 20 March 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการอักเสบของสารสกัดดอกพวงชมพูสดในเขตพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ได้จากวิธีการแช่หมัก (Maceration) ในตัวทำละลายเอทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน ผลการศึกษา พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS มีความสอดคล้องกัน ด้วยค่า IC50 สูงสุดเท่ากับ 0.59 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.54 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการต้านการอักเสบ ประเมินจากความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนและการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเอส พบว่า สารสกัดพวงชมพูสดในเอทานอลในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีน และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเอสจะมีค่าอยู่ในช่วง 7.40 - 68.69 เปอร์เซ็นต์ และ 16.97 - 87.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า นอกจากการใช้ดอกพวงชมพูเป็นไม้ประดับ หรือตกแต่งจานอาหารให้แล้ว ยังอาจพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และเครื่องสำอางในด้านการต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบได้ต่อไป

**คำสำคัญ:** สารสกัดดอกพวงชมพู, ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the antioxidant and anti-inflammatory activities of *Antigonon leptopus* flower extract from Suphan Buri province. The extract was obtained through maceration in ethanol at 15°C for 3 days. The results demonstrated significant antioxidant activity, with IC50 values of 0.59 mg/ml for DPPH and 0.54 mg/ml for ABTS assays. Anti-inflammatory properties were evaluated through protein degradation inhibition and proteinase activity assays. The extract, at concentrations ranging from 2.0-10.0 mg/ml, showed protein degradation inhibition of 7.40-68.69% and proteinase activity inhibition of 16.97-87.87%, respectively. These findings suggest that, in addition to its traditional uses as an ornamental plant or food decoration, *Antigonon leptopus* flowers have the potential for development into dietary supplements and cosmetic products due to their antioxidant and anti-inflammatory properties.

**Keywords:** *Antigonon leptopus* flower extract, Antioxidant activity, Anti-inflammatory activity

<sup>1</sup> อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เบอร์โทรศัพท์ 095-1615261  
อีเมล: Namaoi.p@rmutsb.ac.th

<sup>2</sup> ผู้วิจัยร่วม ศูนย์จิตอาสาโรคโควิด-19 เพื่อมิตรภาพลาว-ไทย 70 ปี ทางกาทูต กระทรวงสาธารณสุข สปป. ลาว

<sup>1</sup> Lecturer, Faculty of Science and Technology Raja Mangala University of Technology Suvarnabhumi Mobile: 095-1615261  
E-mail: Namaoi.p@rmutsb.ac.th

<sup>2</sup> Co-researcher Covid-19 Treatment Volunteer Project to Celebrate Lao-Thai 70th Anniversary of Diplomatic Relations, Ministry of Public Health, The Lao People's Democratic Republic of Lao PDR.

\* Corresponding author: E-mail: Namaoi.p@rmutsb.ac.th

## บทนำ

พวงชมพู (*Antigonon leptopus*) เป็นพืชไม้เลื้อยเถาเนื้ออ่อนขนาดเล็กในวงศ์ Polygonaceae ซึ่งมีถิ่นกำเนิดจากประเทศเม็กซิโก และทางภาคใต้ของสหรัฐอเมริกา สามารถปลูกได้ง่าย เถาเลื้อยได้ไกล 5-12 เมตร มีรากเป็นหัวอยู่ใต้ดิน ใบมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ขอบใบเรียบ แผ่นใบบางคล้ายกระดาษ ดอกจะประกอบด้วยช่อดอกเรียงดอกสลับทางติดกันอยู่อย่างหนาแน่น ลักษณะรูปร่างของดอกมีทรงคล้ายรูปหัวใจ ดอกมีขนาดเล็ก ประมาณ 1 เซนติเมตร ช่อดอกพวงชมพูมีความยาวประมาณ 10 -15 เซนติเมตร อาจจะเป็นช่อตั้ง หรือห้อยเป็นพวงระย้า ออกดอกตลอดปี แต่จะออกดอกมากในฤดูร้อน (มีนาคม - เมษายน) มีผลสีน้ำตาล ลักษณะคล้ายรูปหัวใจ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วน ต้องการแสงแดด แข็งแรงทนทาน ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ด บักชากิ่งและเถา (ระบบฐานข้อมูลพันธุ์ไม้, 2023) เนื่องจากลักษณะที่สวยงาม จึงนิยมปลูกเป็นไม้ประดับ นอกจากนี้ ดอกของพวงชมพูยังสามารถรับประทานได้ โดยมีการนำมาดัดแปลงในอาหารประเภทต่างๆ เช่น สลัด ยำ หรือซุบแบ่งทอด เนื่องจาก ดอกมีวิตามินเอ ช่วยในการบำรุงสายตา รากและเถา สามารถนำมาสกัดเป็นยาแก้ลมประสาท ช่วยทำให้นอนหลับได้ง่ายขึ้น ได้มีการศึกษาสารสกัดแอลกอฮอล์จากดอกพวงชมพู และพบว่ามีส่วนประกอบของสารฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ในกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenolic compounds) ที่ทำให้เกิดสี เช่น สีเหลือง แดง ม่วง และน้ำเงิน สามารถพบได้ในพืชโดยเฉพาะส่วนดอก และยังพบสารฟีนอล ซาโปนิน ไฟโทสเตอรอล ไตรเทอร์พีนอยด์ คูมาริน และแซนโทโปรตีน (Mitchell & Ahmad, 2006; Coyago-Cruz *et al.*, 2023)

ในส่วนของการแพทย์ทางเลือก มีการนำพวงชมพูไปใช้ในการรักษาอาการหวัด หวัด และความดันโลหิตต่ำ ใช้รักษาอาการปวด และบำรุงหัวใจ มีรายงานถึงสารสกัดจากพวงชมพูในเมทานอลสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่มีผลกระทบต่อนุษย์หลายชนิด เช่น *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Salmonella Typhi*, *Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis* และ *Streptococcus pyogenes* ได้มีอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีโซนการยับยั้งเชื้อที่มีค่าเฉลี่ย 9-16 มิลลิเมตร (Jeeva *et al.*, 2011) และการศึกษาของ Vanisree *et al.*, (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบอาหารที่มีประโยชน์ของชาที่ทำจากส่วนเหนือดินและดอกของพวงชมพู โดยพบว่า สาร n-hentriacontane, ferulic acid, 4-hydroxycinnamic acid, quercetin-3-rhamnoside และ kaempferol-3-glucoside ที่สกัดได้จากดอกพวงชมพู มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) ได้ 89 เปอร์เซ็นต์ และยับยั้งเอนไซม์ไซโคลออกซิจีเนส

(Cyclooxygenase; COX) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ ปวด บวม ของร่างกาย เช่น สารโพรสตาแกลนดิน (Prostaglandin) โดยยับยั้ง COX-1 และ COX-2 ได้ 50.4% และ 72.5% ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Angothu *et al.*, (2010) ซึ่งได้ทำการศึกษารวบรวมเนื้อดินของพวงชมพู และพบว่ามีความต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการศึกษาศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ Elhaj *et al.*, (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH การคัดกรองไฟโตเคมีคอล และทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ โดยใช้ 3-(4, 5-dimethyl thiazol-2-yl)-2, 5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) ของสารสกัดใบพวงชมพูในเอทานอล ผลการศึกษาพบว่า มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ  $89 \pm 0.04$  RSA% เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโพรพิลแกลเลต  $72 \pm 0.01$  RSA% และพบว่ามีความต้านทานต่ออนุมูลอิสระ ซาโปนิน แทนนิน ไตรเทอร์พีน ฟลาโวนอยด์, โกลโคไซด์ และคูมาริน และการทดสอบ MTT แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยของสารสกัดใบพวงชมพู

อนุมูลอิสระ (free radical) เป็นสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย รวมถึงจากปัจจัยภายนอก เช่น การติดเชื้อแบคทีเรียและไวรัส มลพิษในสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และเขม่าจากเครื่องยนต์ คาร์บอนหรือยาฆ่าแมลง แสงแดด ความร้อน รังสีแกมมา ไอโซโทปไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจน ไดออกไซด์ ฝุ่น PM 2.5 และการออกกำลังกายอย่างหนัก (Dillard *et al.*, 1978; Dekkers *et al.*, 1996; Morillas-Ruiz *et al.*, 1996) การพักผ่อนไม่เพียงพอ ความเครียด โดยอนุมูลอิสระ สามารถทำให้เกิดการทำลายโครงสร้าง DNA การเปลี่ยนแปลงโปรตีน และไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การทำงานของเอนไซม์ หรือโปรตีนบางชนิดผิดปกติ ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคแก่ก่อนวัย โรคหลอดเลือด และหัวใจขาดเลือด ภูมิแพ้ ข้ออักเสบรูมาตอยด์ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคต่อกระดูก โรคกระดูกพรุน (Singsai *et al.*, 2020; บุรินทร์ พันธุ์สวรรค์, 2013; สุภกร บุญยืน และคณะ, 2015) อย่างไรก็ตาม มนุษย์มีระบบกำจัดอนุมูลอิสระโดยใช้เอนไซม์ เช่น Superoxide dismutase (SOD), Glutathione reductase (GR), Glutathione S-transferase (GST), Glutathione peroxidase (GPX) และที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ วิตามิน Alpha-tocopherol (Vitamin E), Beta-carotene, Ascorbic Acid (Vitamin C) และแร่ธาตุบางชนิด เช่น Selenium (Se) เป็นต้น

การอักเสบ (inflammation) เป็นกระบวนการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายที่มีต่อสิ่งแปลกปลอม เช่น อนุมูลอิสระ และเชื้อโรค การตอบสนองมีทั้งการตอบสนองโดยการใช้อิมมูน (Humoral Immune Response) เช่น แอนติบอดี ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในซีรัม ในกระบวนการหลังแอนติบอดี เม็ดเลือดขาว

ชนิดนิวโทรฟิล (Neutrophil) จะปล่อยเอนไซม์โปรตีโอไลติก (proteolytic enzymes) บริเวณที่เกิดการอักเสบเฉียบพลัน ซึ่งเอนไซม์โปรตีเอสเหล่านี้ จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ (Leelaprakash & Dass, 2011) และการตอบสนองของชนิดฟั้งเซลล์ (Cell-Mediated Immune Response) การตอบสนองทั้ง 2 แบบจะเชื่อมโยงกัน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด ทำให้เกิดอาการปวด บวม จากการเพิ่มการซึมผ่านของผนังหลอดเลือด (increase in vascular permeability) การเสียสภาพของโปรตีน (protein denaturation) (Derbel *et al.*, 2023) อาการแดง ร้อน และมีไข้ เป็นผลมาจากการไหลของเลือดในหลอดเลือดฝอยเปลี่ยนแปลง มีงานวิจัยที่ยืนยันถึงความเชื่อมโยงของการอักเสบต่อกลุ่มโรคเมอเรจ โรคประสาทโรคหัวใจ (Calder *et al.*, 2009) ในการศึกษาการต้านการอักเสบ สามารถประเมินได้จาก ความสามารถในการยับยั้งการหลั่งของสาร prostaglandin E2 (PGE2) และ nitric oxide (NO) ซึ่งเป็น inflammatory mediator ที่มีความสำคัญในกระบวนการอักเสบ ดังในรายงานของกุลิสรา อุ่นเจริญ และวัลลภา ลีลำนันทกุล (2023) ที่ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ออนุมูลอิสระ 2 ชนิด คือ DPPH และ ABTS และหาค่าการยับยั้งการอักเสบด้วยวิธีการยับยั้งการหลั่งไนตริกออกไซด์ของสารสกัดตำรับประสมขมิ้นอ้อยและสมุนไพรในตำรับ Gadallah *et al.*, (2020) ศึกษาความสามารถในการต้านการอักเสบของ ทามาริสก์ ซึ่งเป็นพืชทะเลทราย โดยศึกษาความสามารถของสารสกัดในการยับยั้งสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ เช่น nitric oxide (NO), reactive oxygen species (ROS), proinflammatory cytokine; tumour necrosis factor (TNF- $\alpha$ ) รวมถึงการแพร่กระจายของเม็ดเลือดขาวชนิด T-cells ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้มีความต้องการในการจะยับยั้ง หรือป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ และการอักเสบ ซึ่งวิธีในเชิงปฏิบัติที่ง่ายที่สุด คือการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านการอักเสบเพิ่มจากภายนอกอย่างเพียงพอ ซึ่งสารเหล่านี้พบมากในพืชผัก ผลไม้ และสมุนไพร (อชิชา จารุโชติกมล และคณะ, 2019)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการอักเสบของดอกพวงชมพูที่เพาะปลูกในประเทศไทยยังมีข้อมูลงานวิจัยที่น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการต้านการอักเสบ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการอักเสบของดอกพวงชมพู โดยประเมินจากความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนและการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสที่เป็นกระบวนการหลักในการเกิดการอักเสบ (Sakat *et al.*, 2010; Gunathilake *et al.*, 2018) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะเป็นองค์ความรู้ที่จะช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากดอกพวงชมพูในการพัฒนาเป็น

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อาหารคุณค่าสูง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เครื่องสำอาง สารต้านอนุมูลอิสระ ยาแก้ปวด ยาสมานแผล และสารต้านการอักเสบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

## การทดลอง

### 1. เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotary evaporator (PHLAROTA 4011) เครื่องให้ความร้อน Heating mantle (MANTLE MSE 104) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GENESYS 10 S) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (WNE Series, Memmert GmbH + Co. KG, Germany) เครื่องวัดค่ากรดด่าง (pH meter, Mettler Toledo)

สารเคมี ได้แก่ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Folin-Ciocalteu, ascorbic acid, trypsin (no. 9002-07-7, Sigma Aldrich), gallic acid, Quercetin, 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS), 1% bovine serum albumin, phosphate buffer pH 6.4, 20mM Tris-HCl buffer) และ 95% ethanol

### 2. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

#### 2.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่างดอกไม้โดยวิธี maceration

ตัวอย่างพวงชมพูที่ใช้ในงานวิจัย คือ ส่วนดอก และก้านดอกพวงชมพูซึ่งเก็บจากพื้นที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ในพื้นที่ที่ไม่มีการใช้ยาฆ่าแมลง ยืนยันชนิดพืชโดยการเทียบลักษณะของพืช (description) และการใช้รูปวิธาน (key) นำตัวอย่างดอกพวงชมพูสด มาแช่น้ำในน้ำยาล้างผัก (ยี่ห้อ KING STELLA VEGGA ใช้อัตราส่วน น้ำยา 15 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร) เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด และล้างน้ำสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างดอกพวงชมพูที่แห้ง 50 กรัม มาหั่นเป็นชิ้นละเอียด ใส่ลงในถุงผ้าขาวบาง แล้วแช่ใน เอทานอลปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปิดภาชนะให้สนิท แช่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน โดยกวนเป็นระยะ (วันละ 4 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที) เมื่อครบเวลานำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายส่วนใส กรองซ้ำอีก 2 รอบ นำสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดระเหยที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไประเหยตัวทำละลายออกภายใต้ความดันต่ำ โดยใช้เครื่องสุญญากาศแบบหมุนได้สารสกัดดอกพวงชมพู (crude extract) สีแดงอมเหลือง ชั่งน้ำหนัก และหาค่าร้อยละของสารสกัด ชะสารสกัดออกจากขวดระเหยด้วยตัวทำละลายปริมาณเล็กน้อยลงในขวด vial สีขาวที่ทราบน้ำหนักแล้ว จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน (ทำ 3 ซ้ำ) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ

สารสกัดพวงชมพูที่ได้ปิดฝาเก็บในภาชนะทึบแสงที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปใช้ศึกษาขั้นต่อไป

## 2.2 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยใช้กรดแอสคอร์บิก เป็นสารเทียบมาตรฐาน

นำสารสกัดพวงชมพูที่ได้ และสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก มาละลายในเอทานอล โดยเตรียมชนิดละ 4 ความเข้มข้น (0.125, 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ที่ดัดแปลงมาจาก John *et al.*, (2015) และ Pajareon *et al.*, (2022) โดย ปิเปต สารสกัดพวงชมพูที่มีความเข้มข้นต่างๆ 1 มิลลิลิตร ลงใน หลอดทึบแสง ที่มีสารละลาย 2 มิลลิโมลาร์ DPPH ในเอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอล 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปลดปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นระยะเวลา 30 นาที ชูดควมคุมใช้เอทานอลแทนสารสกัด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณหาร้อยละของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจาก DPPH (% free radical scavenging activity) จากสมการ 1 และศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ในการยับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 50 (inhibitory concentration, IC50) ซึ่งคำนวณได้โดยนำค่าเฉลี่ยของ % inhibition ในแต่ละความเข้มข้น มาทำ linear regression

$$\% \text{ free radical scavenging activity} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

$A_{\text{control}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ที่ไม่มีสารตัวอย่าง และ  $A_{\text{sample}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

## 2.3 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical cation decolorization assay โดยใช้กรดแอสคอร์บิก เป็นสารเทียบมาตรฐาน

วิเคราะห์การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ที่ดัดแปลงจากวิธีของ ฤทัยภักดิ์ ขาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ (2023) โดยนำสารสกัดพวงชมพูที่ได้ และสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก มาละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเตรียมชนิดละ 4 ความเข้มข้น (0.125, 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จากนั้นเตรียมสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> (รูป free radical) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 2.45 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1:0.5 เก็บในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา เจือจางด้วยเอทานอล ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโน

เมตร อยู่ในช่วง  $0.700 \pm 0.02$  จากนั้นนำสารสกัดพวงชมพูและสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่แต่ละความเข้มข้น ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> 2.8 มิลลิลิตร ให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที (ชูดควมคุมใช้เอทานอลแทนสารสกัด) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์คำนวณหาร้อยละของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> (% free radical scavenging activity) จากสมการ 1 เช่นเดียวกับ การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ในการยับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 50 (inhibitory concentration, IC50)

## 2.4 การทดสอบความสามารถในการต้านการอักเสบโดยประเมินจากความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีน (Inhibition of protein degradation)

การยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนทำตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Gunathilake *et al.*, (2018) เริ่มจากเตรียมสารละลาย 5 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย สารละลายโบวินซีรัมอัลบูมิน 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (ค่าพีเอช = 6.4) ปริมาณ 4.78 มิลลิลิตร และสารสกัดพวงชมพู (ซึ่งสารสกัดพวงชมพูในการทดลองได้มีการผันแปรความเข้มข้น 5 ระดับ ดังนี้คือ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปริมาณ 0.02 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกัน นำสารละลายที่ได้ไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่อครบเวลานำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 5 นาที ทำให้เย็นก่อนนำไปวัดความขุ่น (turbidity) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ด้วยเครื่องเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นตัวควบคุม คำนวณหาร้อยละของการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีน จากสมการ 2

$$\% \text{ Inhibition of protein degradation} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

$A_{\text{control}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของตัวควบคุม และ  $A_{\text{sample}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

## 2.5 การทดสอบความสามารถในการต้านการอักเสบโดยประเมินจากความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนส (proteinase inhibition activities)

การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนส ทำตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Gunathilake *et al.*, (2018) เริ่มจากเตรียมสารละลาย 2 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย ทริปซิน (trypsin) 0.06

มิลลิกรัม สารละลายทริส-ไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ (Tris-HCl buffer) 20 มิลลิโมลาร์ (ค่าพีเอช = 7.4) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และสารสกัดดอกพวงชมพู (ซึ่งสารสกัดดอกพวงชมพูในการทดลองได้มีการผันแปรความเข้มข้น 5 ระดับ (2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปริมาณ 0.02 มิลลิลิตร และเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 0.98 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 5 นาที เติมสารละลายเคซีนเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 1 มิลลิลิตร บ่มต่อ 20 นาที เมื่อครบเวลา เติมกรดเปอร์คลอริก (perchloric acid) เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร เพื่อยุติปฏิกิริยา นำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกตะกอน จากนั้นนำสารละลายส่วนใส (supernatant) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 210 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นตัวควบคุม คำนวณหาร้อยละของการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนส จากสมการ 3

$$\% \text{ proteinase inhibition activities} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

$A_{\text{control}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของตัวควบคุม และ  $A_{\text{sample}}$  คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

สารสกัดดอกพวงชมพูสดที่เตรียมได้ด้วยวิธีแช่หมัก โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย มีสีแดงอมเหลือง และมีปริมาณเฉลี่ยของสารสกัดหยาบเท่ากับร้อยละ 2.40 โดยน้ำหนัก

### 1. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใช้วิธี DPPH radical scavenging assay โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารเทียบมาตรฐาน

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง พบว่าสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2 mM DPPH) อยู่ที่ร้อยละ 83.45 0.05 และมีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) เท่ากับ 0.59 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ร้อยละ 90.11 0.02 และมีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) เท่ากับ 0.53 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดัง Table 1 โดยพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อย่างมีนัยสำคัญ (F = 2210548.450, P = 0.000)

### 2. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใช้วิธี ABTS radical scavenging assay โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารเทียบมาตรฐาน

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง พบว่าสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (7 mM ABTS) อยู่ที่ร้อยละ 87.62 0.03 และมีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ ABTS ลดลงร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) เท่ากับ 0.54 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> อยู่ที่ร้อยละ 86.23 0.02 และมีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ ABTS<sup>•+</sup> ลดลงร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) เท่ากับ 0.55 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดัง Table 1 โดยพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> อย่างมีนัยสำคัญ (F = 4566372.375, P = 0.000)

**Table 1** Antioxidant (Inhibition of DPPH and ABTS radical scavenging) of crude ethanolic extract of *Antigonon leptopus* flower

| Sample                                                      | Concentration (mg/ml) | Percentage inhibition of DPPH radical scavenging (Mean ± SD)  | Percentage inhibition of ABTS radical scavenging (Mean ± SD)  |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| crude ethanolic extract of <i>Antigonon leptopus</i> Flower | 1.00                  | 83.45 ± 0.05                                                  | 87.62 ± 0.03                                                  |
|                                                             | 0.50                  | 44.55 ± 0.04                                                  | 48.33 ± 0.04                                                  |
|                                                             | 0.25                  | 20.55 ± 0.03                                                  | 26.11 ± 0.02                                                  |
|                                                             | 0.125                 | 8.77 ± 0.03                                                   | 13.09 ± 0.02                                                  |
|                                                             |                       | Inhibitory Concentration 50% (IC <sub>50</sub> ) = 0.59 mg/ml | Inhibitory Concentration 50% (IC <sub>50</sub> ) = 0.54 mg/ml |

**Table 1** Antioxidant (Inhibition of DPPH and ABTS radical scavenging) of crude ethanolic extract of *Antigonon leptopus* flower (cont.)

| Sample        | Concentration (mg/ml) | Percentage inhibition of DPPH radical scavenging (Mean $\pm$ SD) | Percentage inhibition of ABTS radical scavenging (Mean $\pm$ SD) |
|---------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| control       | 0.00                  | 0.00                                                             | 0.00                                                             |
| Ascorbic acid | 1.00                  | 90.11 $\pm$ 0.02                                                 | 86.23 $\pm$ 0.02                                                 |
|               | 0.50                  | 48.65 $\pm$ 0.02                                                 | 47.12 $\pm$ 0.03                                                 |
|               | 0.25                  | 27.08 $\pm$ 0.04                                                 | 25.66 $\pm$ 0.08                                                 |
|               | 0.125                 | 13.50 $\pm$ 0.02                                                 | 12.56 $\pm$ 0.05                                                 |
|               |                       | Inhibitory Concentration 50% (IC <sub>50</sub> ) = 0.53 mg/ml    | Inhibitory Concentration 50% (IC <sub>50</sub> ) = 0.55 mg/ml    |

(n = 3)

### 3. การทดสอบความสามารถในการต้านการอักเสบโดยประเมินจากความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีน (Inhibition of protein degradation)

สารสกัดดอกพวงชมพูในการทดลองได้มีการผันแปรความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนของสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าอยู่ในช่วง 7.40 - 68.69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเห็นว่าสารสกัดดอกพวงชมพูสามารถยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนได้ โดยมีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นตัวควบคุมเชิงลบ ดัง Table 2 โดยพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญ (F = 3651.319, P = 0.000)

### 4. การทดสอบความสามารถในการต้านการอักเสบโดยประเมินจากความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนส (proteinase inhibition activities)

สารสกัดดอกพวงชมพูในการทดลองได้มีการผันแปรความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนสเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนสของสารสกัดดอกพวงชมพูมีค่าอยู่ในช่วง 16.97 - 87.88 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นตัวควบคุมเชิงลบ ซึ่งเห็นว่าสารสกัดดอกพวงชมพูสามารถยับยั้งกิจกรรมของโปรตีนเนสได้ ดัง Table 2 โดยพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนเนสอย่างมีนัยสำคัญ (F = 7935.129, P = 0.000)

**Table 2** Anti-inflammatory activities (inhibition of protein degradation and proteinase activities) of crude ethanolic extract of *Antigonon leptopus* flower

| Crude extract of <i>Antigonon leptopus</i> flower (mg/ml) | Percentage inhibition of protein degradation (Mean $\pm$ SD) | Percentage inhibition of proteinase activities (Mean $\pm$ SD) |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 2.00                                                      | 7.40 $\pm$ 0.37                                              | 16.97 $\pm$ 0.46                                               |
| 4.00                                                      | 12.88 $\pm$ 0.66                                             | 35.48 $\pm$ 0.72                                               |
| 6.00                                                      | 22.38 $\pm$ 0.75                                             | 51.40 $\pm$ 0.50                                               |
| 8.00                                                      | 30.32 $\pm$ 0.71                                             | 71.41 $\pm$ 0.27                                               |
| 10.00                                                     | 68.69 $\pm$ 0.88                                             | 87.87 $\pm$ 0.77                                               |
| Phosphate buffer                                          | 0.00                                                         | 0.00                                                           |

(n = 3)

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบของสารสกัดดอกพวงชมพู ในงานวิจัยนี้พบว่า สารสกัดดอกพวงชมพู ที่ความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2 mM DPPH) สูง โดยมีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 83.45 0.05 และมีค่า IC50 เท่ากับ 0.59 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 90.11 0.02 และมีค่า IC50 เท่ากับ 0.53 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อทดสอบการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (7 mM ABTS) พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 86.55 0.09 และมีค่า IC50 เท่ากับ 0.57 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการต้านอนุมูลอิสระ ABTS\* อยู่ที่ร้อยละ 86.23 0.02 และมีค่า IC50 เท่ากับ 0.55 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานของ นวภาส คุ่มกลาง และคณะ (2024) ซึ่งได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS รวมทั้งทดสอบการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส จากดอกพิกุล ดอกกระเจี๊ยบแดง ผลมะขวิด และผลกระเจี๊ยบมอญ ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 0, 50 และ 100% โดยปริมาตร พบว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในสารสกัด เอทานอลมีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีของดอกพวงชมพู ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Kavatagimath *et al.*, (2020) ที่ได้ศึกษา ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการลดระดับน้ำตาล และไขมันในเลือดของสารสกัดดอกพวงชมพู ที่ปลูกบริเวณเบลาคาวิ รัฐเกรณาฏกะ ประเทศอินเดีย ด้วยเทคนิค continuous hot extraction โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย สารสกัดจะถูกทดสอบกับหนูที่ถูกชักนำให้มีภาวะเบาหวานด้วย alloxan และภาวะไขมันในเลือดสูง โดยพบว่าสารสกัดดอกพวงชมพูในเอทานอล สามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, IC50 = 0.44 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ลดระดับน้ำตาล และไขมันในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ อัลคาลอยด์ ไฟโตสเตอรอล และโปรตีน

สำหรับความสามารถในการต้านการอักเสบ ในงานวิจัยนี้ประเมินจากความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีน (Derbel *et al.*, 2023) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเนส (Leelaprakash & Dass, 2011) พบว่าในช่วงความเข้มข้นของสารสกัดดอกพวงชมพูที่ความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพของโปรตีนและการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเนสที่ 68.69 เปอร์เซ็นต์ และ 87.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าสารสกัดดอกพวงชมพูสามารถต้านการอักเสบได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด ความสามารถในการต้านการอักเสบก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bhaleao *et al.*, (2023) ซึ่งได้กล่าวถึงความสามารถในการยับยั้ง เอนไซม์แซนทีนออกซิเดสในหลอดทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงมาก โดยมี IC50 เท่ากับ 1.79 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ลดการอักเสบในผู้ป่วยโรคเกาต์ได้ นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาของ Dalanon *et al.*, (2020) ได้ศึกษาความสามารถในการยับยั้ง metalloproteinase-9 ในหลอดทดลอง ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการเกิดการอักเสบของเส้นประสาท โดยใช้สารอัลคาลอยด์ที่สกัดได้จากส่วนเหนือดินของพวงชมพู ซึ่งแยกกลุ่มโดยเทคนิค acid-base partitioning ร่วมกับเทคนิค Thin layer chromatography และพบว่ามีความสามารถในการยับยั้ง metalloproteinase-9 ที่สูง โดยมีค่า IC50 เท่ากับ 115.8 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการอักเสบของสารสกัดส่วนดอกของพวงชมพูในประเทศไทยยังมีน้อย จึงควรมีการพัฒนาต่อยอดได้โดยแยกส่วนประกอบของสารสกัดให้ได้สารบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี การศึกษาการออกฤทธิ์ รวมถึงศึกษาผลของสารสกัดที่มีต่อโครโมโซมของสิ่งมีชีวิต เพื่อส่งเสริมการนำไปใช้ในการแพทย์ ตลอดจนการเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- กุลิสรา อุ่นเจริญ และวัลลภา ลีลำนันทกุล. (2023). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบของสารสกัดตำรับประสะขมิ้นอ้อย และสมุนไพรรอบในตำรับ. *วารสารสำนักงานสาธารณสุข จังหวัด ขอนแก่น*, 4(2), 225-238.
- ข้อมูลพันธุ์ไม้. ระบบฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล. (2023). พวงชมพู. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2023 จาก <https://data.addrun.org/plant/archives/159-antigonon-leptopus-hook-arn>
- นวภาส คุ่มกลาง, พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร, สุวิณี ตุ่มทอง, กนกวลี คงสง, ชารนี นวสันธิ์ และจินดาพร คงเดช. (2024). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดด้วยเอทานอลของดอกพิกุล ดอกกระเจี๊ยบแดง ผลมะขวิด และผลกระเจี๊ยบมอญ. *วารสารก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์*, 24(1), 127-142.
- บุหรัน พันธุ์สวรรค์. (2013). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3), 275-286.

- ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ. (2023).ฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรในครัวเรือนในการต้านอนุมูลอิสระยับยั้งจุลินทรีย์และต้านการอักเสบ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 42(5), 145-154.
- สุภกร บุญยืน, ธนัทภัทร เพชรรัตน์, ละมัย พวงบุรี, อริคุณ ศรีไพร, ปาริยา ณ นคร และนิรมล ศากยวงศ์. (2015). การต้านอนุมูลอิสระและการต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากโสม. *Thai Journal of Science and Technology*, 4(1), 37-45.
- อชิตา จารุโชติกมล, ปวีตรา พูลบุตร, คะเนิงนิตย์ คำภากุล, วราภรณ์ ยุบลพาส, ภูริดา นาสิงบุตร, กนกนุช จันทะคาม และจิตติพร พลศรี. (2019).ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำร้อนของยอดอ่อนผักขาว. *Thai Science and Technology Journal*, 27(3), 472-484.
- Angothu, S., Lakshmi, S. M., Kumar, A. S., & Reddy, K. Y. (2010). Hepatoprotective activity of Antigonon leptopus Hook. & Arn. Against carbon tetrachloride (ccl4) induced Hepatotoxicity in wistar albino rats. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Research*, 1(1), 27-32.
- Bhalerao, M. N., Kalode, M. D., & Doifode, C.A. (2023). Comprehensive review on Antigonon leptopus-a potential Medicinal herb. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5(1), 750-760.
- Calder, P. C., Albers, R., Antoine, J. M., Blum, S., Bourdet-Sicard, R., Ferns, G. A., & Zhao, J. (2009). Inflammatory disease processes and interactions with nutrition. *British Journal of Nutrition*, 101(S1), 1-45.
- Coyago-Cruz, E., Moya, M., Méndez, G., Villacís, M., Rojas-Silva, P., Corell, M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2023). Exploring plants with flowers: from therapeutic nutritional benefits to innovative sustainable uses. *Foods*, 12(22), 4066.
- Dalanon, M. C. B., Catibog, J. J. B., De Leon, R. M., Garcia, C. A., Kasilag, J. D., Pajimna, R. M. B., & Villalobos, O. A. (2020). In-vitro matrix metalloproteinase-9 inhibitory activity of alkaloids from Antigonon leptopus leaves (Polygonaceae). *The STETH*, 14, 1-11.
- Dekkers, J. C., van Doornen, L. J., & Kemper, H. C. (1996). The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage. *Sports medicine*, 21, 213-238.
- Derbel, H., Elleuch, J., Mahfoudh, W., Michaud, P., Fendri, I., & Abdelkafi, S. (2023). In Vitro Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Bioactive Proteins and Peptides from Rhodomonas sp. *Applied Sciences*, 13(5), 3202.
- Dillard, C.J., Litov, R. E., Savin, W. M., Dumelin, E. E., & Tappel, A. L. (1978). Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *Journal of Applied Physiology*, 45(6), 927-932.
- Elhaj, A. M., Osman, E. E. O., Koko, W. S., & Kabbashi, A. S. (2015). Antioxidant activity, phytochemical screening and cytotoxicity of ethanolic leaves extract of Antigonon leptopus. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 4(4), 202-207.
- Gadallah, A. S., Yousuf, S., Jabeen, A., Swilam, M. M., Khalifa, S. A., El-Seedi, H. R., & Choudhary, M. I. (2020). Anti-inflammatory principles from Tamarix aphylla L.: A bioassay-guided fractionation study. *Molecules*, 25(13), 2994.
- Gunathilake, K. D. P. P., Ranaweera, K. K. D. S., & Rupasinghe, H. P. V. (2018). Influence of boiling, steaming and frying of selected leafy vegetables on the in vitro anti-inflammation associated biological activities. *Plants*, 7(1), 22.
- Jeeva S., Johnson M., Aparna JS., & Irudayaraj V. (2011). Preliminary phytochemical and antibacterial studies on flowers of selected medicinal plants. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 1(2), 107-14.
- John, K. M. M., Ayyanar, M., Arumugam, T., Enkhtaivan, G., Jin, K., & Kim, D. H. (2015). Phytochemical screening and antioxidant activity of different solvent extracts from Strychnos minor Dennst leaves. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(3), 204-209.
- Kavatagimath, S. A., Jalalpure, S. S., Hiremath, R. D., & Kempwade, A. A. (2020). In-vivo screening of ethanolic extract of Antigonon leptopus flower for anti-diabetic and antioxidant potential. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 54(2), S261-S268.
- Leelaprakash, G., & Dass, S. M. (2011). Invitro anti-inflammatory activity of methanol extract of Enicostemma axillare. *International Journal of Drug Development and Research*, 3(3), 189-196.

- Mitchell, S. A., & Ahmad, M. H. (2006). A review of medicinal plant research at the University of the West Indies, Jamaica. *West Indian Medical Journal*, 55(4), 243.
- Morillas-Ruiz, J. M., García, J. V., López, F. J., Vidal-Guevara, M. L., & Zafrilla, P. (2006). Effects of polyphenolic antioxidants on exercise-induced oxidative stress. *Clinical Nutrition*, 25(3), 444-453.
- Pajareon, S., Liaotrakoon, W., & Tarawood, V. (2022). Effect of sweet basil extract and gelatin contents on quality of sweet basil jelly product. *RMUTSB Academic Journal*, 10(1), 34-45.
- Sakat, S., Juvekar, A.R., Gambhire, M.N. (2010). Invitro antioxidant and anti-inflammatory activity of methanol extract of *Oxalis corniculata* Linn. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2, 146-155.
- Singsai, K., Sakdavirote, A., Wechpanishkitkul, K., Moonsamai, A., & Sakdavirote, A. (2020). The comparison of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activities of the ethanolic extracts of shoots, leaves, fruits and seeds of *Leucaena leucocephala*. *Naresuan Phayao Journal*, 13, 66-73.
- Vanisree, M., Alexander-Lindo, R. L., DeWitt, D. L., & Nair, M. G. (2008). Functional food components of *Antigonon leptopus* tea. *Food Chemistry*, 106(2), 487-492.

# การตรวจวัดตะกั่วในน้ำ โดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม

## Detection of lead ion in water by the reagent extracted from pomegranate peel

วรรณกัษมา ฮารอน<sup>1\*</sup> และ อลภา ทองไชย<sup>2</sup>

Wankassama Haron<sup>1\*</sup> and Alapa Thongchai<sup>2</sup>

Received: 7 November 2023 ; Revised: 15 January 2024 ; Accepted: 9 February 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดตะกั่วโดยใช้รีเอเจนต์ของเปลือกทับทิม การศึกษาเริ่มต้นการสกัดสารสกัดจากเปลือกทับทิม โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล และศึกษาหาสารสำคัญที่มีในสารสกัดด้วยเทคนิค LC-MS และ UV-Vis พบสารประกอบฟีนอลิกของกรดแกลลิก คาร์เทชิน ทำให้คาดการณ์ว่ารีเอเจนต์สารสกัดจากเปลือกทับทิมจะสามารถตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ โดยอาศัยการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับตะกั่ว การตรวจวัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 0.001 - 0.1 โมลาร์ พบว่า รีเอเจนต์จากเปลือกทับทิมมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีส้มเป็นสีเหลือง พร้อมกับเกิดตะกอนแขวนลอยขึ้น ปริมาณตะกอนจะเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของตะกั่วที่เพิ่มขึ้น การตรวจวัดในระดับ มก./ลิตร ที่ความเข้มข้นตะกั่วในช่วง 0.01 - 0.1 มก./ลิตร พบว่า รีเอเจนต์มีการเปลี่ยนแปลงสีที่บริเวณผิวหน้าของน้ำตัวอย่าง ที่ความเข้มข้นตะกั่ว 0.05 มก./ลิตร โดยพบผิวน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ที่เกิดจากเกิดตะกอนขนาดเล็กแขวนลอยบริเวณผิวหน้า (มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน กำหนดปริมาณตะกั่วไว้ไม่เกิน 0.05 มก./ลิตร) ผลที่ได้จากงานวิจัยทำให้สามารถสรุปได้ว่า รีเอเจนต์จากเปลือกทับทิมสามารถใช้ตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ โดยเป็นการตรวจวัดเชิงคุณภาพ เพื่อการเฝ้าระวังและควบคุมมลพิษทางน้ำ และเป็นการใช้ประโยชน์ของขยะทางการเกษตรเพื่อสิ่งแวดล้อมในอีกทางหนึ่ง หากมีการตรวจวัด แล้วพบการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำเป็นสีเหลือง ก็สามารถอนุมานได้ว่าน้ำตัวอย่างนั้นมีตะกั่วเจือปนเกินมาตรฐาน ควรได้รับการบำบัดก่อนการปล่อยสู่แหล่งน้ำชุมชนต่อไป

**คำสำคัญ:** การตรวจวัดตะกั่ว, รีเอเจนต์, เปลือกทับทิม

### Abstract

This research investigated the potential of pomegranate peel extract as a reagent for detecting lead ions in water. Pomegranate peel was extracted using ethanol as a solvent, and the active compounds were analyzed using LC-MS and UV-Vis techniques. The results revealed the presence of phenolic compounds, specifically gallic acid, and catechins, which are expected to form complexes with lead ions. Lead detection was performed in synthetic wastewater at concentrations ranging from 0.001 to 0.1 M. The findings showed that the pomegranate peel reagent caused a color change from orange to yellow and produced suspended precipitates. The amount of sediment increased proportionally with the concentration of lead ions.

At lead concentrations between 0.01 and 0.1 mg/L, a noticeable color change occurred at the water surface. At 0.05 mg/L, the water surface turned yellow due to the formation of fine suspended sediments, which aligns with the surface water quality standard that limits lead concentration to 0.05 mg/L. These results suggest that pomegranate peel extract can be effectively used for qualitative lead detection in water. This method can serve as a simple tool for monitoring and controlling water pollution while also promoting the utilization of agricultural waste for environmental purposes. If a yellow discoloration is observed on the water surface, it can be inferred that the lead concentration exceeds acceptable levels, indicating the need for water treatment before discharge into community water sources.

**Keywords:** Detection of lead, Reagent, Pomegranate peel

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000

<sup>2</sup> อาจารย์, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000

<sup>1</sup> Assistance Professor, Major of Chemistry, Faculty of Science Technology and agriculture, Yala Rajabhat University, Sateng, Muang District, Yala Province, 95000

<sup>2</sup> Lecturer, Major of Biology, Faculty of Science Technology and agriculture, Yala Rajabhat University, Sateng, Muang District, Yala Province, 95000

\* Corresponding author: E-mail: wankassama@gmail.com, wankassama.h@yru.ac.th

## บทนำ

ปัจจุบันการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมยังคงมีอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของกองยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้สรุป สภาวะเศรษฐกิจไทย ช่วงไตรมาสที่ 2 ของปี 2566 และแนวโน้ม เศรษฐกิจปี 2566 ไว้ว่า เศรษฐกิจไทยในไตรมาสที่สองของ ปี 2566 มีการขยายตัวโดยรวมร้อยละ 2.2 สำหรับสาขาการ ผลิตสินค้าอุตสาหกรรม แม้จะลดลงต่อเนื่องเป็นไตรมาสที่ 3 ร้อยละ 3.3 จากร้อยละ 3.0 ในไตรมาสก่อนหน้าของทุกกลุ่ม การผลิต (ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมสำคัญๆ ที่ลดลง ได้แก่ การผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง การผลิตเหล็ก และการผลิตเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย) แต่อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรม ผลิตยานยนต์ การผลิตน้ำตาล และการผลิตจักรยานยนต์ ยังคงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ในอัตราร้อยละ 6.2 ร้อยละ 19 และร้อยละ 17.3 ตามลำดับ (กองยุทธศาสตร์และการวางแผน เศรษฐกิจมหภาค, 2566) การขยายตัวของอุตสาหกรรมดังกล่าว ส่งผลให้เศรษฐกิจของประเทศดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ จากรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำ ของแหล่งน้ำผิวดิน พ.ศ.2564 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ให้ข้อมูลแหล่งน้ำ ทั่วประเทศ 65 แหล่งน้ำไว้ว่า ปัจจุบันไม่มีแหล่งน้ำที่อยู่ใน เกณฑ์เสื่อมโทรม โดยพบ ร้อยละ 2 ของแหล่งน้ำทั้งหมด มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ขณะที่พบร้อยละ 40 ของแหล่ง น้ำมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์พอใช้ และร้อยละ 44 มีคุณภาพอยู่ใน เกณฑ์เสื่อมโทรมน้อยลง โดยปัญหาที่ทำให้เกิดคุณภาพน้ำ ไม่ดีเกิดจากการระบายน้ำเสียจากชุมชนและการท่องเที่ยว กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม และการไม่มีระบบ บำบัดน้ำเสียที่ดีในชุมชน นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อเสนอแนะในการ ดำเนินงานในอนาคตว่า ต้องมีการเร่งสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีประสิทธิภาพ โดยให้อยู่ในความควบคุมขององค์กรปกครอง ส่วนท้องถิ่นด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2565)

แม้ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่พบปัญหาน้ำเสียขึ้น วิกฤต แต่การขยายตัวของอุตสาหกรรมที่แผ่กว้างขึ้นอาจ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียตามมาด้วย เช่น ปัญหาการปนเปื้อน โลหะหนักในน้ำ ซึ่งเป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า โลหะหนักหาก เจือปนในน้ำจะเกิดพิษภัยต่อร่างกายอย่างมาก เช่น สารหนู หากรับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อยจะทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน การรับในปริมาณมากจะมีผลทำลายระบบประสาท ส่วนกลาง ทำให้ปวดศีรษะ และร่างกายเคลื่อนไหวช้าลง แคลเดียม การรับเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดมจะทำให้เป็นไข้ ไอโลหะแต่หากรับประทานเข้าไปจะทำให้เป็นนิ่ว เม็ดเลือด แดงถูกทำลาย กระดูกพรุน และไตวาย (แสงโสม เกิดคล้าย และ ศิรินุช ชันอินมณู, 2547 ; Li *et al.*, 2015)

ตะกั่ว เป็นโลหะมีพิษอีกชนิดหนึ่ง มนุษย์มีโอกาสได้รับสัมผัส สารตะกั่วจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม โดยการเจือปน ตะกั่วพบได้ทั้งในดิน อากาศและน้ำ แหล่งกำเนิดของมลพิษ จากตะกั่วมักมาจากเหมืองแร่ตะกั่ว โรงงานอุตสาหกรรม และ แหล่งอื่นๆ (กรมควบคุมโรค, 2563) พิษของตะกั่วหากรับเข้า สู่ร่างกายโดยการรับประทานจะมีผลทำให้มีอาการปวดท้อง และคลื่นไส้อาเจียนอย่างรุนแรง (จำลอง ปินตาวงค์ และคณะ, 2554) หากรับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากและเป็นเวลา นานจะทำให้เป็นโรคโลหิตจางและเสียชีวิตในที่สุด (วาสนา แนนบาง, 2557 ; รอฮานา อาตาม, 2558 ; Dubey *et al.*, 2015)

ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอจึงมี ความสำคัญ นอกจากจะทำให้ทราบข้อมูลของคุณภาพแหล่ง น้ำแล้ว ยังส่งผลไปยังการวางแผน การวางระบบการบำบัดน้ำ ให้มีความเหมาะสมและทันต่อสภาวะการณีกอีกด้วย ปัจจุบันมี ชุดเครื่องมือในการทดสอบโลหะหนักเบื้องต้น หรือ Test Kit ที่ขายตามท้องตลาดมากมาย ซึ่ง Test Kit โดยส่วนใหญ่พบว่า มีกระบวนการผลิตที่ใช้สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น แม้จะมีราคา ถูก มีความสะดวกและใช้งานง่าย แต่ก็มีข้อเสีย คือ เมื่อทิ้งลง สู่แหล่งน้ำ อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำ อีกทั้ง ยังทำให้น้ำเสียได้อีกด้วย (วรารัณดา เขาคี และคณะ, 2563 ; ยุรศักดิ์ นพวงศ์, 2560)

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการตรวจวัดไอออนของโลหะ ตะกั่ว โดยใช้สารสกัดจากเปลือกทับทิมเป็นรีเอเจนต์ ด้วยพบว่า ในทับทิมมีสารประกอบฟีนอลิกสูง เช่น กรดแกลลิก คาเทชิน แอนโทไซยานิน และ แทนนิน เป็นต้น (วัลวิภา เสืออุดม และ คณะ, 2559 ; กรกช อินทราพิเชฐ และคณะ, 2555) ซึ่งสารสำคัญ เหล่านี้สามารถยึดจับโลหะในรูปของสารเชิงซ้อนได้ (Hussain *et al.*, 2013 ; Bodini *et al.*, 2001) เป็นการใชประโยชน์จาก ขยะทางการเกษตรในอีกทางหนึ่ง โดยวิธีนี้จะทำให้การวิเคราะห์ โลหะง่ายและสะดวกขึ้น และเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ที่ทำ ในขั้นตอน สามารถแสดงผลเชิงคุณภาพ บ่งบอกการเปลี่ยนแปลง สีและการเกิดตะกอนของสารละลาย หากทดสอบเชิงคุณภาพ แล้วผลตรวจสอบแสดงผลบวกจึงจะนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณ ในห้องปฏิบัติการต่อไป เพื่อให้ทราบปริมาณโลหะที่มีในน้ำ ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ของการเฝ้าระวังมลพิษทางน้ำ อีกทั้งยังเป็นการ วิเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาความ สามารถในการตรวจวัดไอออนตะกั่วในน้ำ โดยใช้รีเอเจนต์ สกัดจากเปลือกทับทิม โดยมีขั้นตอนการวิจัยที่สำคัญ คือ การสกัดรีเอเจนต์จากเปลือกทับทิม การศึกษาผลของพีเอชที่ มีผลต่อการตรวจวัดไอออนตะกั่ว การศึกษาความสามารถใน การตรวจวัดไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ของรีเอเจนต์ และการศึกษาการประยุกต์ใช้รีเอเจนต์ตรวจวัดตะกั่วใน น้ำตัวอย่าง โดยการศึกษาในครั้งนี้เป็นการใช้ประโยชน์จาก ขยะทางการเกษตรเพื่อการเฝ้าระวังมลพิษทางน้ำ

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

### 1. การสกัดรีเอเจนต์จากเปลือกทับทิม

รีเอเจนต์เปลือกทับทิม ได้มาจากการสกัดเปลือกทับทิมในตัวทำละลายเอทานอล (วรารัณดา เชาดี และคณะ, 2563) นำเปลือกทับทิม จากผลทับทิม (*Punica granatum*) พันธุ์อินเดีย ที่มีเปลือกแดง ลักษณะเปลือกไม่ขรุขระหรือมีรอยแตก (Figure 1) มาทำการล้างด้วยน้ำ จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน นำเปลือกแห้งที่ได้ ทำการสกัดโดยแช่ในตัวทำละลายเอทานอล หลักการเลือกสารละลาย เนื่องจากพินอลิกเป็นกลุ่มสารมีขั้ว ดังนั้น จึงต้องเลือกตัวทำละลายมีขั้วมาใช้เพื่อการสกัด ทั้งนี้ มีงานวิจัยพบว่าสารพินอลิกและสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายเอทานอล (วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล และสุนันทา แก้วสระเสน, 2555) นอกจากนี้ เอทานอลยังเป็นตัวทำละลายที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ไม่ก่อให้เกิดเชื้อจุลินทรีย์ มีราคาถูก ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม นิยมนำมาใช้ในการสกัดพืช (สิริรัตน์ บุญดีเรก และคณะ 2566; ธนัชสันต์ พูนไพบุลย์พิพัฒน์, 2562) ดังนั้นจึงเลือกเอทานอลเป็นตัวทำละลายเพื่อการสกัดสำหรับงานวิจัยนี้

การสกัดเปลือกทับทิมโดย 95% เอทานอล ทำโดยชั่งเปลือกทับทิมแห้ง 100 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมเอทานอล ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงไป ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน (การกำหนดระยะเวลาการสกัด ให้ทดลองโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด แล้วเลือกเวลาสกัดที่น้อยที่สุด ที่มีผลทำให้สีของสารสกัดไม่เปลี่ยนแปลง งานวิจัยนี้พบว่า เมื่อสกัดเปลือกทับทิมที่เวลา 7 วัน ช่วงระยะเวลาการสกัดที่ 5-7 วัน สีของสารสกัดที่เห็นด้วยสายตาดังเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น จึงเลือกเวลาสกัดที่ 5 วัน) จากนั้นจึงกรองเปลือกทับทิมออก นำสารสกัดทับทิมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LC-MS spectroscopy และ UV-Vis spectroscopy ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป



Figure 1 Pomegranate (Phule Bhagwa variety) samples

### 2. การศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อการตรวจวัดไอออนตะกั่ว

2.1) เตรียมสารละลาย Sodium citrate buffer ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) ตามวิธีของ Geomori (1955 อ้างโดย Perrin and Dempers, 1974) โดยใช้สารตั้งต้นของ 0.05 M Citric acid ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) และ 0.05 M Sodium citrate ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ให้มี pH 3,4,5 และ 6

2.2) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีตะกั่วเจือปน ความเข้มข้น 0.05 M โดยเตรียมจาก Stock solution 1M Pb จากนั้น นำสารละลายตะกั่วใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 4 หลอด หลอดละ 0.5 มล. แล้วเติม บัฟเฟอร์ pH 3,4,5,6 (0.5 มล.) ลงในหลอดทดลองที่ 1,2,3 และ 4 ตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน แล้วสังเกตผล

2.3) เตรียมสารสกัดจากเปลือกทับทิมใส่ในหลอดทดลองที่ 5-8 หลอดละ 0.5 มล. จากนั้นให้เติม บัฟเฟอร์ pH 3,4,5,6 (0.5 มล.) ลงในหลอดทดลอง 5,6,7 และ 8 ตามลำดับ เขย่าให้เข้ากันแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง

### 3. การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดไอออนตะกั่ว ความเข้มข้น 0.001 - 0.1 M ของรีเอเจนต์

3.1) เตรียม Blank โดยใช้ สารสกัดเปลือกทับทิม 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 0.5 มล. เขย่าและวางทิ้งไว้ เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ

3.2) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ให้มีความเข้มข้นต่างๆ กัน 9 ความเข้มข้น ดังนี้ 0.001 M, 0.0025 M, 0.005 M, 0.0075 M, 0.01 M, 0.025 M, 0.05 M, 0.075 M และ 0.1 M ตามลำดับ โดยเตรียมจาก Stock solution 1M Pb จากนั้น นำหลอดทดลองมา 9 หลอด เติมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 0.001 M, 0.0025 M, 0.005 M, 0.0075 M, 0.01 M, 0.025 M, 0.05 M, 0.075 M และ 0.1 M ลงไปในหลอดทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ นำบัฟเฟอร์ pH 3 ปริมาตร 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 9 หลอด เขย่าให้เข้ากัน

3.3) เตรียมสารสกัดจากเปลือกทับทิมใส่ในหลอดทดลองทั้ง 9 หลอด หลอดละ 0.5 มล. เขย่าให้เข้ากันแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยเทียบกับ Blank (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

3.4) จากข้อ 3.3 ตั้งหลอดทดลองทั้ง 9 หลอดไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งโดยเทียบกับ Blank

3.5) หากการทดลองในข้อ 3.3-3.4 มีการเปลี่ยนแปลงสีหรือตกตะกอน แสดงให้เห็นว่า รีเอเจนต์แสดงผลบวกต่อการตรวจวัดโลหะ

#### 4. การวิเคราะห์สารเชิงซ้อนของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิมกับโลหะหนัก

นำตะกอนสารเชิงซ้อนที่ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 3 “การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดไอออนตะกั่ว ความเข้มข้น 0.001 - 0.1 M ของรีเอเจนต์” มาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของสารเชิงซ้อนด้วยเทคนิค EDAX

#### 5. การทดสอบหาปริมาณน้อยที่สุด ที่รีเอเจนต์สามารถตรวจวัดโลหะหนักได้

5.1) เตรียม Blank โดยใช้สารสกัดเปลือกทับทิม 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 0.5 มล. เขย่าและวางทิ้งไว้ เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ

5.2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 มก./ลิตร และน้ำประปา ลงไปในหลอดทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ นำบัพเฟอร์ pH 3 ปริมาตร 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 6 หลอด

5.3) เติมสารสกัดจากเปลือกทับทิมใส่ในหลอดทดลองทั้ง 6 หลอด หลอดละ 0.5 มล. เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยเทียบกับ Blank และน้ำประปา (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

การเลือกทดสอบน้ำประปา พร้อมกันไปกับน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากให้น้ำประปาเป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำจริง โดยเป็นตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณตะกั่วไม่เกินมาตรฐาน ในขณะที่วันนั้นก็มิใช่โลหะชนิดอื่นๆอยู่ด้วยในปริมาณน้อย ดังนั้น เพื่อศึกษาความสามารถในการตรวจวัดไอออนตะกั่วในน้ำของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม จึงทำการตรวจวัดไอออนตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ควบคู่ไปกับน้ำประปา และเปรียบเทียบผลการทดลอง ว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ รวมถึงดูผลในขั้นต้นของปัจจัยรบกวนของไอออนชนิดอื่นๆ (ถ้ามี)

5.3) จากข้อ 2 ตั้งหลอดทดลองทั้ง 9 หลอดไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง

5.4) ตรวจสอบสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค UV-Vis spectrometry

#### 6. การทดสอบตรวจวัดโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง จากแหล่งต่าง ๆ โดยเทียบความถูกต้องด้วยเทคนิค ICP-OES

6.1) เตรียม Blank โดยใช้ สารสกัดเปลือกทับทิม 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 0.5 มล. เขย่าและวางทิ้งไว้ เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ

6.2) เติมน้ำตัวอย่าง 1. น้ำประปา 2. น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ในจังหวัดสงขลา และ 3. น้ำจากแม่น้ำปัตตานี บริเวณใกล้เคียงโรงงานอุตสาหกรรม แปรรูปน้ำอย่าง อ.เมือง จ.ยะลา ลงไปในหลอดทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ นำบัพเฟอร์ pH 3 ปริมาตร 0.5 มล. ใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยเทียบกับ Blank และน้ำประปา

6.3) เติมสารสกัดจากเปลือกทับทิมใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 6 หลอด หลอดละ 0.5 มล. เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยเทียบกับ Blank

6.4) นำน้ำตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยใช้เทคนิค ICP-OES เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดตะกั่วโดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม

6.5) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 6.1-6.3 โดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่าง เป็นน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งมาเติม Pb 0.05 มก./ลิตร แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 1. การสกัดรีเอเจนต์ของเปลือกทับทิม

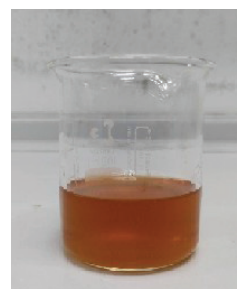
เปลือกทับทิมอบแห้งจะมีสีแดง (Figure 2(a)) เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล (Figure 2(b)) และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน จะได้สารสกัดเปลือกทับทิม ที่มีสีส้มดัง Figure 2(c)



(a)



(b)



(c)

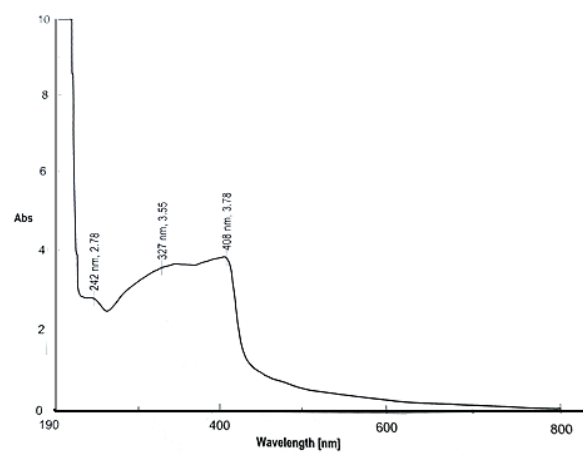
**Figure 2** Preparation of pomegranate peel extract: (a) dried pomegranate peel, (b) dried pomegranate peel extracted at room temperature in ethanol, and (c) pomegranate peel extract

การวิเคราะห์หาสารสำคัญในสารสกัดเปลือกทับทิม แสดงผลใน Table 1 พบว่า สารสกัดเปลือกทับทิม มีสารประกอบฟีนอลิกประเภท กรดแกลลิก (Gallic acid) และ คาเทชิน (Catechin) ปริมาณ 25.20 และ 15.80 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกทั้ง 2 ชนิดนี้ มีการศึกษาแล้วว่า สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะได้ (Freser *et al.*, 2021 ; Hussain *et al.*, 2013 ; Bark *et al.*, 2012 ; Leopoldini *et al.*, 2011 ; Pollock *et al.*, 2009 ; Bodini *et al.*, 2001) จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสารสกัดทับทิมไปใช้เพื่อเป็นตัวตรวจวัดตะกั่วในน้ำ อย่างไรก็ตาม สารสกัดเปลือกทับทิม ตรวจไม่พบแอนโทไซยานิน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนในการเตรียมตัวอย่างเปลือกทับทิม ซึ่งมีกรอบที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 วัน และการเก็บตัวอย่างสารสกัด ซึ่งมีโอกาสถูกแสง รวมถึงการเก็บรักษาสารสกัดที่อุณหภูมิห้อง ไม่ได้เก็บในตู้เย็นหรือตู้แช่เย็น จึงส่งผลให้สารแอนโทไซยานินสลายตัว ด้วยสารแอนโทไซยานินสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนและแสง การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารอื่นๆ ในสารสกัดเปลือกทับทิม พบว่า สารสกัดเปลือกทับทิมมีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ในปริมาณ 1.45 และ 0.79 ก./100 ก. ตามลำดับ

**Table 1** Active ingredients contained in pomegranate peel extract

| Active ingredients | Volume | Unit   |
|--------------------|--------|--------|
| Phenolic Compound  |        |        |
| Gallic acid        | 25.20  | mg/kg  |
| Eriodictyol        | N.D.   | mg/kg  |
| Apigenin           | N.D.   | mg/kg  |
| Isoquercetin       | N.D.   | mg/kg  |
| Kaempferol         | N.D.   | mg/kg  |
| Quercetin          | N.D.   | mg/kg  |
| Hydroquinin        | N.D.   | mg/kg  |
| Rutin              | N.D.   | mg/kg  |
| Catechin           | 15.80  | mg/kg  |
| Tannic acid        | N.D.   | mg/kg  |
| Anthocyanin        | N.D.   | mg/kg  |
| Carbohydrate       | 1.45   | g/100g |
| Protein            | 0.79   | g/100g |

\*N.D. = Not detected



**Figure 3** UV-visible spectrum of pomegranate peel extract

การตรวจวิเคราะห์สารสกัดเปลือกทับทิมด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรเมทรี แสดงผลสเปกตรัมใน Figure 3 สอดคล้องกับข้อมูลที่ทำการศึกษาวิเคราะห์หาสารสำคัญในสารสกัดเปลือกทับทิมด้วย LC-MS (Table 1) โดยสเปกตรัมแสดงค่า  $\lambda_{\text{max}}$  ที่ 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 1  $\lambda_{\text{max}}$  ที่ 242 นาโนเมตร สอดคล้องกับคาเทชิน ใกล้เคียงกับงานวิจัย Ki Min Bar, *et al.*, 2012 ที่พบคาเทชิน ที่  $\lambda_{\text{max}}$  225 นาโนเมตร ตำแหน่งที่ 2  $\lambda_{\text{max}}$  ที่ 327 นาโนเมตร สอดคล้องกับกรดแกลลิก ใกล้เคียงกับงานวิจัย Hao Song *et al.*, 2015 ที่พบกรดแกลลิกที่  $\lambda_{\text{max}}$  290 นาโนเมตร และ ตำแหน่งที่ 3  $\lambda_{\text{max}}$  ที่ 408 นาโนเมตร สอดคล้องกับน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และ กาแลคโตส ใกล้เคียงกับงานวิจัย Congcong Chi *et al.*, 2013 ที่พบน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และกาแลคโตส ที่  $\lambda_{\text{max}}$  410 นาโนเมตร

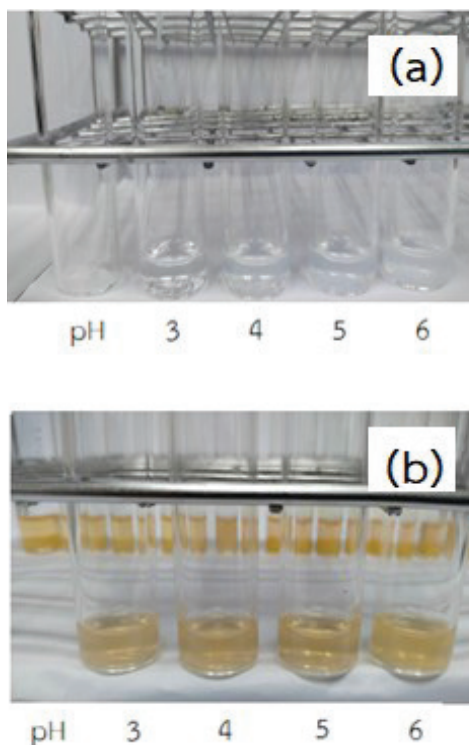
การตรวจพบสารสำคัญในสารสกัดเปลือกทับทิมของงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับ การตรวจพบสารสำคัญของสารสกัดเปลือกทับทิมจากงานวิจัยของ ศรีนยา โพธิ์แดง, 2557 ที่พบสารประกอบสำคัญเป็นสารประกอบฟีนอลิก โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ประเภทน้ำตาล ทั้งนี้พบว่าสารสำคัญของสารสกัดเปลือกทับทิมส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล

จากการตรวจพบกรดแกลลิกและคาเทชิน ในสารสกัดเปลือกทับทิมนี้ ทำให้มีความน่าจะเป็นสูงในการนำสารสกัดเปลือกทับทิม ไปประยุกต์ใช้เป็นรีเอเจนต์เพื่อตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ เนื่องจากสารประกอบทั้ง 2 ชนิด สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะได้ดี ดังนั้น จึงนำสารสกัดเปลือกทับทิมไปทดสอบตามขั้นตอนของการวิจัยต่อไป

## 2. การศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อการตรวจวัดไอออนตะกั่ว

การศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อการตรวจวัดไอออนตะกั่ว ทำเพื่อคัดเลือกบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เหมาะสมในการตรวจวัดโลหะตะกั่ว โดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิมเป็นตัวตรวจวัด การนำบัฟเฟอร์ pH 3,4,5,6 ใส่ลงในสารละลายตะกั่วพบว่า ที่ pH 3 สารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีลักษณะใสไม่มีสี ขณะที่ บัฟเฟอร์ pH 4,5,6 ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยสีขาว และสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงสี จากใสไม่มีสีเป็นสีขาวขุ่น ดัง Figure 4(a) ดังนั้น ค่า pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดตะกั่วสำหรับงานวิจัยนี้ คือ 3

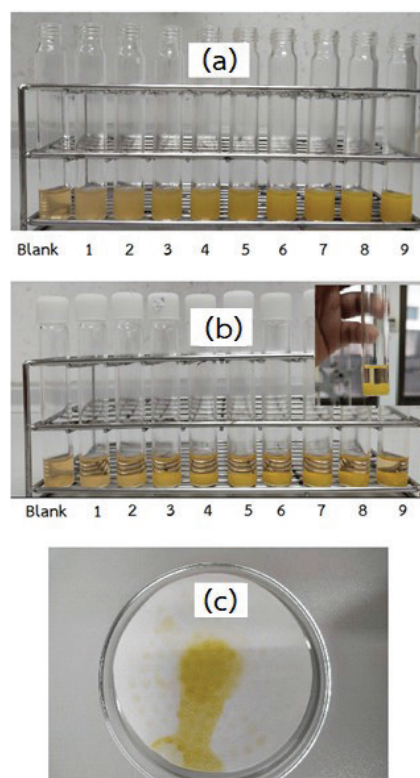
การตรวจสอบผล pH ต่อรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม พบว่า บัฟเฟอร์ pH 3-5 ทำให้สารสกัดเปลือกทับทิมมีสีส้มอ่อน เมื่อเพิ่ม pH เป็น 6 ทำให้สารสกัดเปลี่ยนเป็นสีส้มเหลือง อย่างไรก็ตาม บัฟเฟอร์ pH 3-6 ไม่ทำให้สีของสารสกัดแตกต่างกันมากนัก (Figure 4(b)) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกบัฟเฟอร์ pH 3 ในการทดสอบโลหะหนักตลอดการทดลอง



**Figure 4** (a) Effect of pH on lead (Pb) solution and (b) Effect of pH on pomegranate peel extract

## 3. การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดไอออนตะกั่วความเข้มข้น 0.001 - 0.1 M ของรีเอเจนต์

การตรวจวัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สารสกัดเปลือกทับทิม พบว่า สามารถทำได้ ดังแสดงผลใน Figure 5 เมื่อสังเกตโดยทันที จะพบว่า สารละลายตะกั่วความเข้มข้น 0.001 M เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองขุ่น พร้อมกับเกิดตะกอนแขวนลอย แตกต่างจาก Blank โดยสิ้นเชิง สีของรีเอเจนต์เปลือกทับทิมเมื่อเติมสารละลายตะกั่วลงไป จะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น และมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อทำการทดลอง 3 ครั้ง พบว่า ให้ผลการทดลองเช่นเดิม ไม่มีความคลาดเคลื่อนใดๆ จึงสรุปได้ในเบื้องต้นว่า สารสกัดของเปลือกทับทิมสามารถใช้ตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ เมื่อทดสอบที่ความเข้มข้น 0.001 - 0.1 M (Figure 5(a)) เมื่อตั้งหลอดทดลอง ทั้ง 9 หลอด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า สีของสารละลายทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง แต่ตะกอนที่แขวนลอยเกิดการนอนก้นขึ้น ซึ่งทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น ดัง Figure 5(b) โดยตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีสีเหลือง ดังแสดงใน Figure 5(c) เป็นสารเชิงซ้อนของตะกั่ว ซึ่งจะนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค XRD และ EDAX ต่อไป



**Figure 5** Changes in lead (Pb) solution as measured with reagents derived from pomegranate peel extract and reagent blank, where 1 = 0.001 M Pb, 2 = 0.0025 M, 3 = 0.005 M, 4 = 0.0075 M, 5 = 0.01 M, 6 = 0.025 M, 7 = 0.05 M, 8 = 0.075 M, and 9 = 0.1 M, when (a) tested immediately, (b) tested after 24 h, and (c) complex sediment.

#### 4. การวิเคราะห์สารเชิงซ้อนของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิมกับตะกั่ว

ตะกอนสารเชิงซ้อนของโลหะที่ได้ เมื่อเติม รีเอเจนต์ สารสกัดเปลือกทับทิม เมื่อนำมาวิเคราะห์หาโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD และ EDAX พบว่า สารเชิงซ้อนของตะกั่ว มีรูปแบบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และมีสเปกตรัม EDAX ดังแสดงใน Figure 6(a)-(b) ด้วยปริมาณของกรดแกลลิก ในสารสกัดเปลือกทับทิม มีมากกว่าคาเทชิน ดังนั้น สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจึงมีโอกาเป็นสารเชิงซ้อนตะกั่วกับกรดแกลลิกได้ และด้วยสภาวะที่มีน้ำ ซึ่งน้ำสามารถเป็นลิแกนด์ได้ ดังนั้น เพื่อตรวจสอบสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบรูปแบบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารเชิงซ้อนที่ได้ จากงานวิจัยนี้ กับ กรดแกลลิก และสารประกอบ  $Pb(OH)_2$  รูปแบบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารเชิงซ้อนตะกั่ว (Figure 6(a)) พบว่า เกิดพีกที่ตำแหน่ง 2 Theta 10-50 ลักษณะ คล้ายคลึงกันกับรูปแบบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ กรดแกลลิก แต่มีพีกที่ตำแหน่งตรงกันเพียงบางตำแหน่งเท่านั้น เนื่องจากสารเชิงซ้อนมีพันธะระหว่างตะกั่วกับโมเลกุลกรดแกลลิก จึงทำให้ตำแหน่งพีกแตกต่างกันกับกรดแกลลิกบริสุทธิ์ ในขณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กับ  $Pb(OH)_2$  พบว่า รูปแบบสเปกตรัมแตกต่างกัน โดยสเปกตรัมของ  $Pb(OH)_2$  มีพีกที่ตำแหน่ง 2 Theta 20-80 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สารเชิงซ้อนจากงานวิจัยนี้มีแนวโน้มเป็น สารเชิงซ้อนของตะกั่วกับกรดแกลลิก ในขณะเดียวกัน หาก

พิจารณาสเปกตรัม EDAX ของสารเชิงซ้อนของตะกั่วพบว่า สเปกตรัมแสดงธาตุองค์ประกอบของ Pb, C และ O เท่านั้น ดังแสดงใน Figure 6(b)

การวิเคราะห์สารเชิงซ้อน โดยนำตะกอนที่เกิดขึ้น จากการตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ไปตรวจวัด

การวิเคราะห์สารเชิงซ้อน โดยนำตะกอนที่เกิดขึ้น จากการตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ไปตรวจวัดด้วยเทคนิค XRD และ EDX ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าตะกอนที่ได้เป็นสารเชิงซ้อนของตะกั่ว

#### 5. การทดสอบหาปริมาณน้อยที่สุด ที่รีเอเจนต์สามารถตรวจวัดตะกั่วได้

การตรวจวัดตะกั่วที่ความเข้มข้นต่ำระดับ มก./ลิตร ในช่วงความเข้มข้น 0.01 - 1 มก./ลิตร (Figure 7(a)) พบว่า รีเอเจนต์จากเปลือกทับทิมสามารถตรวจวัดตะกั่วได้ ที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดคือ 0.05 มก./ลิตร โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่ บ่งชี้ว่ามีตะกั่วคือ ผิวหน้าเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ดังแสดงใน Figure 7(b) ทั้งนี้เพราะเกิดตะกอนขนาดเล็กแขวนลอย บริเวณผิวหน้า นอกจากนี้ เพื่อความถูกต้องของการทดลอง ได้เปรียบเทียบกับ Blank และน้ำประปาที่ไม่มีโลหะหนัก เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นด้วย

ข้อบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้รีเอเจนต์ สารสกัดจากเปลือกทับทิม ตรวจวัดโลหะตะกั่วในน้ำ มี 2 ข้อ คือ 1. การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเปรียบเทียบกับ Blank หากตัวอย่าง น้ำมีการเปลี่ยนแปลง เช่นเปลี่ยนสี หรือ ตัวอย่างน้ำมีตะกอน ขุ่น เป็นข้อบ่งชี้ได้เพียงว่า อาจเป็นไปได้ที่ตัวอย่างน้ำนั้นจะมีตะกั่ว แต่ไม่สามารถเจาะจงหรือระบุได้ว่าโลหะที่มีนั้นเกิน ค่ามาตรฐานตามกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ทั้งนี้ เนื่องจากใน สารสกัดเปลือกทับทิมไม่ได้มีเพียงกรดแกลลิก และคาเทชิน เท่านั้น แต่ยังมีสารสำคัญอื่นๆ ด้วย เช่น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารสำคัญ 2 ชนิดนี้ สามารถตกตะกอนได้เมื่อค่าพีเอช ของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนแปลง หรือ ทำให้เกิดตะกอนขุ่นได้ เนื่องจากสารสำคัญนี้สามารถจับตัวกับไอออนอื่นๆที่มีในน้ำได้ ดังนั้น ข้อบ่งชี้สำคัญที่ทำให้ทราบว่า มีตะกั่วในน้ำตัวอย่างเกิน มาตรฐานหรือไม่ คือ ข้อบ่งชี้ที่ 2 การเปลี่ยนสีที่ผิวหน้าของน้ำ หากมีตะกั่วเกินมาตรฐาน จะปรากฏการเปลี่ยนแปลงสีที่ผิวหน้า คือ ผิวน้ำจะมีสีเหลือง แตกต่างจากผิวน้ำปกติที่มีสีส้มอ่อน ของสารสกัดทับทิม ดังจะเห็นได้ใน Figure 8

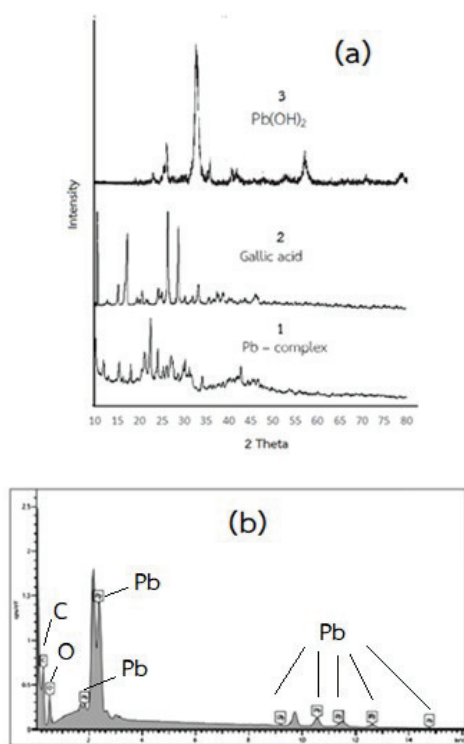
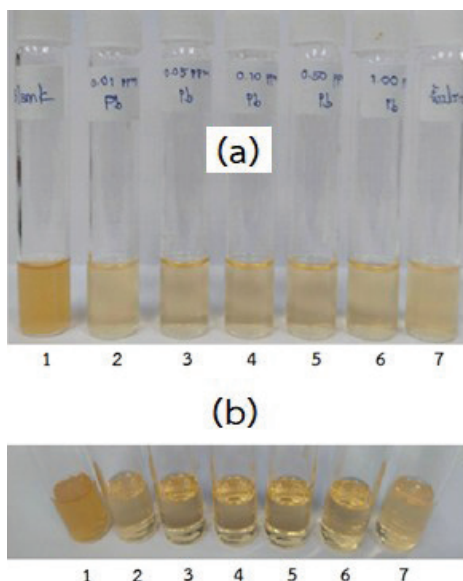
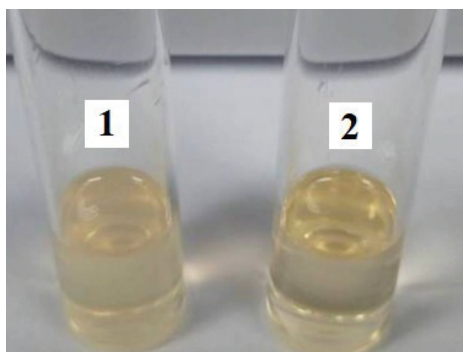


Figure 6 (a) X-ray diffraction and (b) EDAX spectral patterns of lead complexes



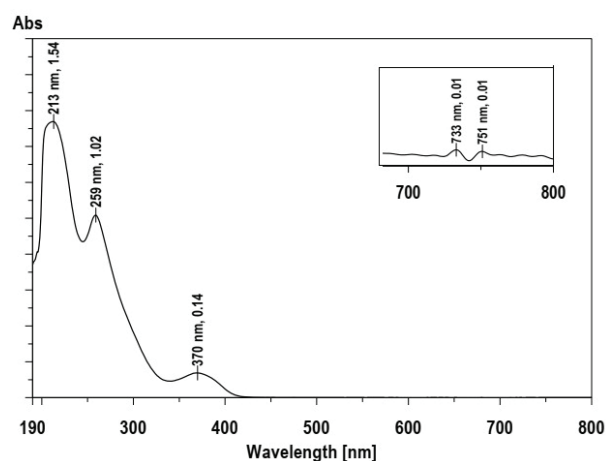
**Figure 7** Measurement of lead (Pb) at concentrations between 0.01-1 mg/L using reagents extracted from pomegranate peel, where 1 = Blank, 2 = Pb 0.01 mg./L, 3 = Pb 0.05 mg./L, 4 = Pb 0.1 mg./L, 5 = Pb 0.05 mg./L, 6 = Pb 1 mg./L, and 7 = tap water free of heavy metals, when observed (a) in vitro and (b) at the water surface sample.



**Figure 8** Measurement of lead (Pb) using reagents extracted from pomegranate peel, when (1) lead-free water sample and (2) lead-contaminated water sample

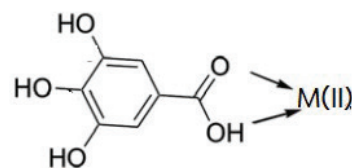
การตรวจสอบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis ของสารสกัดทับทิมเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนของตะกั่วพบว่า สเปกตรัมแสดงพีกที่แตกต่างไปจากสารสกัดทับทิมบริสุทธิ์ โดยพีกมีความคมชัดขึ้น และมีความเข้มข้นของพีกแต่ละตำแหน่งมากขึ้น ทั้งนี้พีกที่เกิดขึ้นปรากฏที่ตำแหน่ง 213, 259 และ 370 นาโนเมตร ซึ่งมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัม UV-Vis ของสารสกัดทับทิมบริสุทธิ์ พีกดังกล่าว เป็น คาเทชิน กรดแกลลิก และ น้ำตาลกลูโคส มอลโทส และ กาแลคโตส ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีกที่ตำแหน่ง 733 และ 751 นาโนเมตร เพิ่มเติมอีก 2 พีก ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า มีการเกิดการเชิงซ้อนตะกั่วกับสารสำคัญในสารสกัดเปลือกทับทิมขึ้นจริง (Figure 9)

จากการตรวจพบพีกในสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis ที่บ่งชี้ถึง คาเทชิน กรดแกลลิก และน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และ กาแลคโตส ทำให้ไม่สามารถสรุปในทางเดียวได้ว่า การตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม เกิดจากการเกิดสารเชิงซ้อนของตะกั่วและกรดแกลลิกเท่านั้น เพราะ กรดแกลลิก คาเทชิน หรือคาร์โบไฮเดรตล้วนเป็นลิแกนด์ที่สามารถจับตัวกับโลหะหนักได้ดีทั้งหมด การเกิดสารเชิงซ้อนโลหะได้หลายชนิดนี้ จะเป็นปัจจัยช่วยส่งเสริมให้เกิดสารเชิงซ้อนได้มาก จนมองเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนเมื่อทำการตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม

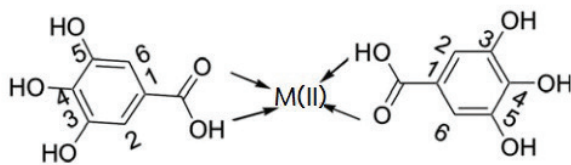


**Figure 9** UV-Vis spectrum of Pb-complex from this research

กรดแกลลิก (Gallic acid, GA) หรือ 3,4,5-hydroxybenzoic acid เป็นสารประกอบ อินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ  $C_7H_6O_5$  โดยกรดแกลลิก เป็นส่วนประกอบของแทนนิน กรดแกลลิก สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะได้ ด้วยภายในโครงสร้างของกรดแกลลิกมีหมู่ฟังก์ชันนัล คือ คาร์บอกซิลิก ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิลและหมู่ไฮดรอกซิล หมู่ดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกับโลหะ เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของโลหะ (Figure 10) นอกจากนี้ กรดแกลลิก ยังสามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบ Binary complex ได้ด้วย คือ ลิแกนด์กรดแกลลิก 2 โมเลกุล จับกับโลหะไอออนโลหะ (Hussain *et al.*, 2013) ดังแสดงใน Figure 11

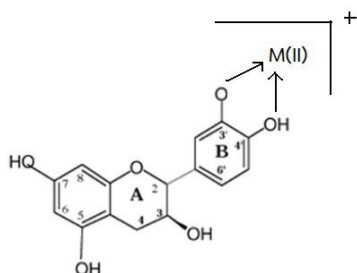


**Figure 10** Complex formation of gallic acid and metal



**Figure 11** Binary complex formation of gallic acid and metal (adapted image from (Hussain et al., 2013))

คาเทชิน (Catechin) เป็นสารประกอบฟีนอลิกประเภทฟลาโวนอล มีชื่อทางเคมี (2R,3S)-2-(3,4-Dihydroxyphenyl)-3,4-dihydro-2H-chromene-3,5,7-triol และมีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_{15}H_{14}O_6$  โครงสร้างของ คาเทชินมีวงแหวนเบนซีนสองวง (เรียกว่า A- และ B-rings) และ dihydropyran heterocycle (the C-ring) ที่มีกลุ่มไฮดรอกซิลบนคาร์บอน 3 วงแหวน คาร์เทชินเป็นลิแกนด์ที่สามารถให้อิเล็กตรอนกับโลหะได้ ตำแหน่งให้อิเล็กตรอนคือหมู่ไฮดรอกซิล เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของโลหะ (Bodini et al., 2001) ดัง Figure 12



**Figure 12** Complex formation of catechin and metal (adapted image from (Bodini et al., 2001))

การนำสารละลายภายหลังการตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ไปตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การตรวจวัดด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนของตะกั่วขึ้นได้ (วรารคณา เขาคี และคณะ, 2563 ; ชมัยพร รอดกลิ่น และคณะ, 2560 ; ยุกต์ศักดิ์ นพวงศ์, 2560)

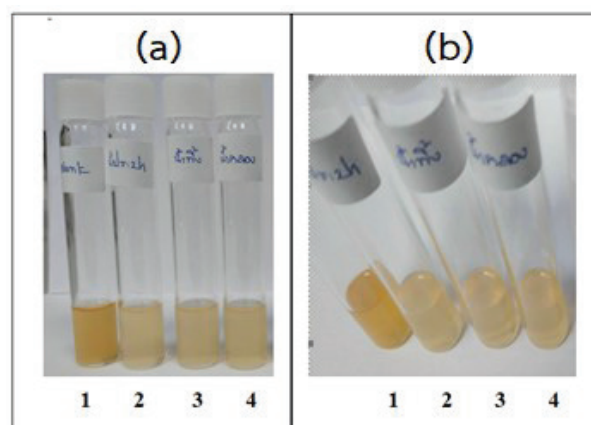
## 6. การทดสอบตรวจวัดโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง จากแหล่งต่าง ๆ โดยเทียบความถูกต้องด้วยเทคนิค ICP-OES

ทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง ดังนี้

1. น้ำประปา จากมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ในจังหวัดยะลา
2. น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ในจังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดโลหะ อาจมีโอกาสพบโลหะตะกั่วและโลหะชนิดอื่นๆ และ 3. น้ำจากแม่น้ำปัตตานี บริเวณใกล้เคียงโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยาง อ.เมือง จ.ยะลา ซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนตะกั่วได้หากในอุตสาหกรรมมีการใช้กรดหรือสเบ็ดเพื่อการผลิต มีการใช้ภาชนะบรรจุที่ไม่ได้คุณภาพ ตลอดจนอาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักกรณีทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำ

นำตัวอย่างน้ำมาทดสอบโลหะหนักในน้ำโดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิมเป็นตัวตรวจวัด ผลการทดสอบแสดงผลดัง Figure 13 เมื่อ Figure 13(a) แสดงน้ำตัวอย่างมีลักษณะขุ่น มีตะกอนแขวนลอย แต่เมื่อสังเกตสีผิวหน้า ไม่พบสีผิวหน้าเป็นสีเหลือง และ Figure 13(b) แสดงผิวหน้าของน้ำตัวอย่าง ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงของผิวหน้าเป็นสีเหลืองเช่นกัน จึงสรุปการทดสอบไว้ว่า น้ำตัวอย่างจากทั้ง 3 แหล่ง ไม่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำผิวดิน

เมื่อนำน้ำตัวอย่างจาก 3 แหล่ง ไปทดสอบหาปริมาณโลหะด้วยเทคนิค ICP-OES เพื่อตรวจสอบผลการทดสอบตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม พบว่า น้ำตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ไม่มีตะกั่วปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานน้ำผิวดิน ดังแสดงใน Table 2 สอดคล้องกับการตรวจวัดโลหะหนักเบื้องต้น โดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม เป็นตัวตรวจวัด



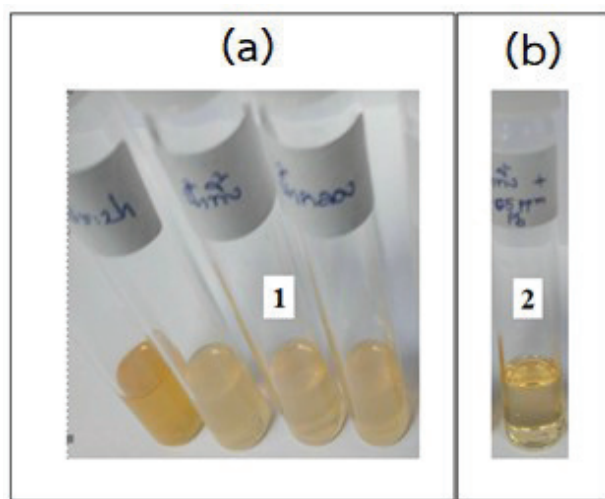
**Figure 13** Metal analysis of water samples using reagents extracted from pomegranate peels, where 1 = water supply, 2 = wastewater from a university laboratory, and 3 = water sampled from the Pattani River near the latex processing plant, when (a) the color change of the reagent and (b) the color change at the surface of the water sample

**Table 2** Heavy metal analysis of water samples from three sources (Metal Units : mg/L)

| Heavy metal | water supply | wastewater from a university laboratory | water sampled from the Pattani River |
|-------------|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| As          | N.D.         | N.D.                                    | 0.004                                |
| Cd          | N.D.         | N.D.                                    | N.D.                                 |
| Cr          | N.D.         | N.D.                                    | N.D.                                 |
| Fe          | 0.997        | 0.706                                   | 0.698                                |
| Mn          | 0.038        | 0.011                                   | 0.007                                |
| Pb          | 0.002        | N.D.                                    | N.D.                                 |
| Zn          | 0.751        | 0.113                                   | 0.007                                |

\* N.D. = Not detected

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจวัดโลหะหนักโดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ได้นำน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งตรวจไม่พบโลหะตะกั่วด้วยเทคนิค ICP-OES มาทำการเติมตะกั่ว ความเข้มข้น 0.05 มก./ลิตร ลงไป แล้วทำการตรวจวัดอีกครั้ง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเดิมน้ำทิ้งไม่ปรากฏสีที่ผิวหน้า (Figure 14 (a1)) แต่เมื่อเติมตะกั่วลงไป ทำให้ผิวน้ำเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง อย่างเห็นได้ชัด (Figure 14(b2)) แสดงให้เห็นว่า รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม สามารถตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ดี โดยเป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง



**Figure 14** Metal analysis of laboratory effluent using reagents extracted from pomegranate peels, when a(1) laboratory effluent and b(2) laboratory effluent + Pb 0.05 mg/L

การนำน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ มาเติมตะกั่ว ความเข้มข้น 0.05 มก./ลิตร แล้วทำการทดสอบด้วย รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตัวอย่างที่มีตะกั่วไม่เกินมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ กำหนดมาตรฐานน้ำผิวดิน ต้องมีการเจือปนตะกั่วความเข้มข้นไม่เกิน 0.05 ppm) เนื่องจากให้น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากแหล่งผลิต ซึ่งน้ำทิ้งที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างน้ำในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดโลหะ (โดยทั่วไปแล้วน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการตรวจวัดโลหะมีโอกาสมพบตะกั่วและโลหะอื่นๆ สูงกว่าน้ำประปาและน้ำคลอง)

แนวคิดการออกแบบการวิจัย คือศึกษาตัวตรวจวัดโลหะในน้ำโดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิมเป็นตัวตรวจวัด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดคุณภาพสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือแหล่งผลิตที่มีโอกาสก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนในอนาคต โดยหากการตรวจวัดแสดงผลบวก จะต้องนำน้ำตัวอย่างนั้นไปตรวจวัดด้วยเครื่องมือ

ขั้นสูงอีกครั้งเพื่อยืนยันผลปริมาณโลหะหนักในน้ำ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำก่อนทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แต่หากผลการตรวจวัดแสดงผลลบ ก็สามารถนำน้ำทิ้งนั้นปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการบำบัด อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ด้านความคงตัวของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ความจำเพาะในการตรวจวัดโลหะหนัก และผลการใช้จริงในตัวอย่างน้ำจำนวนมาก จึงจะสามารถนำรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ไปพัฒนาเป็นเครื่องมืออย่างง่าย ของตัวตรวจวัดโลหะหนัก (Test kit) ได้

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองที่มีระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เริ่มต้นการสกัดสารสกัดจากเปลือกทับทิม โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล และศึกษาหาสารสำคัญที่มีในสารสกัดด้วยเทคนิค LC-MS และ UV-Vis การพบสารประกอบฟีนอลิกของกรดแกลลิก คาร์เท-ซิน ทำให้คาดการณ์ว่า รีเอเจนต์สารสกัดจากเปลือกทับทิมจะสามารถตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ ด้วยอาศัยการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับตะกั่ว

การตรวจวัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นโลหะ 0.001 - 0.1 M โดยใช้สารสกัดเปลือกทับทิม พบว่า สามารถทำได้โดยสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 0.001 M เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองขึ้น พร้อมกับเกิดตะกอนแขวนลอย และปริมาณตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น สำหรับการตรวจวัดตะกั่วที่ความเข้มข้นต่ำ 0.01 - 0.1 มก./ลิตร พบว่า รีเอเจนต์จากเปลือกทับทิมสามารถตรวจวัดตะกั่วได้ที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดคือ 0.05 มก./ลิตร โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่บ่งชี้ว่ามีตะกั่วคือ ผิวน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากเกิดตะกอนขนาดเล็กแขวนลอยบริเวณผิวน้ำ

จากผลการวิจัยที่ได้สามารถสรุปได้ว่า รีเอเจนต์จากเปลือกทับทิมสามารถตรวจวัดตะกั่วในน้ำได้ โดยเป็นการตรวจวัดเชิงคุณภาพ เพื่อการเฝ้าระวังและควบคุมมลพิษทางน้ำ และเป็นการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อสิ่งแวดล้อมในอีกทาง หากทำการตรวจวัดตะกั่วด้วยรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม แล้วพบการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำเป็นสีเหลือง ก็สามารถอนุมานได้ว่า น้ำตัวอย่างนั้นมีตะกั่วเจือปนเกินมาตรฐาน ควรได้รับการบำบัดก่อนการปล่อยสู่แหล่งน้ำชุมชนต่อไป

อนึ่ง ข้อจำกัดในการใช้งานของการตรวจวัดโลหะของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม คือ ต้องใช้ที่ pH 3.0 ดังนั้น เมื่อมีการใช้รีเอเจนต์แล้ว ต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดของสารละลายให้เป็นกลาง และผ่านการบำบัดน้ำก่อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งกระบวนการนำไปประยุกต์ใช้จริงของรีเอเจนต์สกัดจากเปลือกทับทิม ยังคงต้องศึกษาและพัฒนาต่อเนื่องอีกหลายด้าน ทั้งด้านความคงตัวของตัวตรวจวัด ด้านความ

จำเพาะต่อโลหะหนัก ด้านการกำจัดตัวตรวจวัดภายหลังใช้ตรวจวิเคราะห์โลหะหนักแล้ว และด้านการพัฒนารูปแบบของตัวตรวจวัดโลหะหนักอย่างง่าย (Test kit)

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ได้มอบทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : งบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 (เลขที่ทุน FRB650088) เพื่อสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- กรกช อินทราพิเชฐ, กนกอร อินทราพิเชฐ และ ศิริรา คุปพิทยานันท์. (2555). รายงานวิจัย เรื่อง ทับทิม (*Punica granatum*) ไทยเพื่อสุขภาพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2565). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565. บริษัท เอพี คอนเน็กซ์ จำกัด.
- กรมควบคุมโรค. (2563). แนวทางการเฝ้าระวัง ป้องกันควบคุมโรคพิษตะกั่วในกลุ่มวัยทำงาน. สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์.
- กองยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค. (2566). ภาวะเศรษฐกิจไทยไตรมาสที่สองของปี 2566 และแนวโน้มปี 2566. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- จำลอง ปินตาวงศ์, อานนท์ นนทโส และสถาพร กาวินตร. (2554). แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรแร่แมงกานีส ประจำปีงบประมาณ 2554. สำนักทรัพยากรแร่ กรมธรณีวิทยา.
- ชัยพร รอดกลิ่น, เอกรัฐ ศรีสุข และ กล่าวขวัญ ศรีสุข. (2560). ผลของสภาวะการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนต่างๆ ของส้มซ่า. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 1, 211 - 225.
- ชนัสสินห์ พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2562). ผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเอทานอลต่อการสกัดสารสกัดหยาบและฤทธิ์ทางอัลลีโลพาธีของใบแก้ว. วารสารเกษตรนเรศวร, 16(1), 1 - 8.
- ยุรศักดิ์ นพวงศ์. (2560). การพัฒนาชุดทดสอบเหล็ก โดยใช้สารสกัดจากใบฝรั่ง. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- รอฮานา อาดาม. (2558). ปริมาณโลหะหนักบริเวณชุมชนประมงบาเลฮิลในจังหวัดนราธิวาส. มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.
- วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล และสุนันทา แก้วสระแสน. (2555). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากใบสิบสองราตรี. วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 1, 13 - 20.
- วัลวิภา เสืออุดม, ระพีพันธุ์ ศิริเดช, วิภาพรรณ ชนะภักดิ์ และระพีพร ชนะภักดิ์. (2559). ทับทิมผลไม้เพื่อสุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 2, 89 - 100.
- วรางคณา เขาคี, ภรทิพย์ จางวาง และวรเชษฐ์ วรรณหลวง. (2563). การตรวจวัดไอออนทองแดงในน้ำ โดยใช้กระดาษกรองดัดแปรด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรสีขา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28, 984 - 996.
- วาสนา แนมบาง. (2557). การแพร่กระจายโลหะหนักในพื้นที่นาข้าวรอบบ่อฝังบกบขะกรณีศึกษา ต.วังน้ำ คู อ.เมือง จ.พิษณุโลก. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศรินยา โพธิ์แดง. (2557). การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากเปลือกผลไม้. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- แสงโสม เกิดคล้าย และ ศิรณัฐ ชันอินมณ. (2547). พิษโลหะหนัก. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพะเยา.
- สิริรัตน์ บุญดีเรก, ปรมารณณ์ จั้วพัฒนกุล แก้วมณี, ณัฐพล กิตติคุณเดชา, ณภัทร บุนนาค, ดนุริดา สาเขตร์ และสิริลักษณ์ ตีรณธนากุล. (2566). ผลของสารสกัดแทนนินจากเปลือก *Garcinia mangostana* L. และคลอเฮกซิดีนในการยับยั้งการเจริญของเชื้อสเตรปโตคอคคัสมีวแทนส์. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 1, 89 - 101.
- Bark, K.M., Yeom, J.E., Yang, I.J., Park, O.H., Park, H.P. & Park, H.R. (2012). Studies on the Interaction between Catechin and Metal Ions. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33, 4235 - 4238.
- Bodini, M.E., Valle, A., Tapia, R., Leighton, F & Gonzalez, L. (2001). Study of the iron catechin complexes in dimethyl sulphoxide. Redox chemistry and interaction with superoxide radical anion in this medium. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 46(3), 309 - 317.
- Dubey, A., & Shiwani, S. (2012). Adsorption of lead using a new green material obtained from Portulaca plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9, 15 - 20.
- Freser, F., Hostnik, G., Tosovic, J., & Bren, U. (2021). Dependence of the Fe(II)-Gallic acid coordination compound formation constant on the pH. *Foods*, 10, 1 - 19.

- Hussain, S., Farooqui, M., & Rahim, S.A. (2013). Studies of binary complexes of transition metal ions with Gallic Acid by Potentiometry. *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, 13 - 148, 276 - 279.
- Li, J., Yu, H., & Luan, Y. (2015). Meta-analysis of the copper, zinc, and cadmium absorption capacities of aquatic plants in heavy metal-polluted Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 14958 - 14973.
- Leopoldini, M., Russo, N., & Toscano, M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125, 288 - 306.
- Pollock, J.L., Callaway, R.M., Thelen, G.C. & Holben, W.E. (2018). Catechin-metal interactions as a mechanism for conditional allelopathy by the invasive plant *Centaurea maculosa*. *Journal of Ecology*, 97, 1234 - 1242.

# แบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

## A model for analyzing the severity level of adverse drug reactions using machine learning

ศศิวิมล กอบัว<sup>1</sup>, อรรคพล วงศ์กอบลาภ<sup>2</sup>, ธรา อังสกุล<sup>3</sup> และ จิตिमอนต์ อังสกุล<sup>4\*</sup>

Sasiwimon Kobua<sup>1</sup>, Akkapon Wongkoblap<sup>2</sup>, Thara Angskun<sup>3</sup> and Jitimon Angskun<sup>4\*</sup>

Received: 20 December 2023 ; Revised: 19 January 2024 ; Accepted: 12 February 2024

### บทคัดย่อ

กลุ่มยารักษาผู้ป่วยทางจิตเวชเป็นกลุ่มยากระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางที่มีจำนวนรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาจำนวนมากติดอันดับ 1 ใน 5 ของจำนวนรายงานตามกลุ่มยาหลักทั้งหมด กระบวนการติดตามความปลอดภัยของยาจึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการค้นหา ประเมิน ไปจนถึงป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้น กระบวนการดังกล่าวมีความซับซ้อน ใช้เวลาค่อนข้างนาน และแปรผันตามประสบการณ์ทำงานและความรู้ในการวิเคราะห์ของบุคลากรทางการแพทย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้เทคนิคไปป์ไลน์ใน กระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล และการเรียนรู้ชุดข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 5 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคเคเนียร์เรสนเบอร์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่า การพัฒนาแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการจำแนกระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์ดีที่สุด จากการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการตรวจสอบข้ามแบบแบ่งชั้น 10 กลุ่ม พบว่า แบบจำลองมีความถูกต้อง ร้อยละ 80.60 และค่าประสิทธิภาพโดยรวม ร้อยละ 77.85 โดยแบบจำลองสามารถจำแนกคลาสที่มีอาการไม่พึงประสงค์รุนแรงระดับปานกลาง และไม่ใช่ออาการไม่พึงประสงค์ได้ดี และพบว่า คุณลักษณะข้อมูลที่ทำให้แบบจำลองสามารถจำแนกคลาสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ความเกี่ยวข้องกับยาที่ให้ยาฟาร์เ็นหรือยาแอลเอ็นซี การได้รับยาที่มีความเสี่ยงสูง ผู้ป่วยมีประวัติการแพ้ยา ประเภทของผู้ป่วย ไอซีดีโรคหลัก (รหัสโรค เอฟ250) ประเภทผู้รายงาน เหตุการณ์ที่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ (ฤดูหนาว) ความเร่งด่วน และสภาพการมาโรงพยาบาล ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา, การเรียนรู้ของเครื่อง, เทคนิคไปป์ไลน์, การเลือกคุณลักษณะ

### Abstract

Psychiatric drugs are a class of central nervous system stimulants with a high number of reported adverse drug reactions, ranking among the top five drug classes for adverse events. Pharmacovigilance (PV) is a crucial process for identifying, evaluating, and preventing potential adverse events. This process is complex, time-consuming, and dependent on the experience and analytical knowledge of medical personnel. Therefore, this study aims to develop a model for analyzing the severity of Adverse Drug Reactions (ADRs) using Machine Learning. The process includes model preprocessing, feature selection, and learning data sets. Five machine learning techniques were applied: K-Nearest Neighbors, Linear Support Vector Machine, Logistic Regression, Random Forest, and Artificial Neural Network. The evaluation of model performance using various techniques showed that the Artificial Neural Network model performed best in classifying the severity of ADRs. The model's performance, evaluated using Stratified 10-Fold Cross

<sup>1</sup> นักศึกษา, สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> อาจารย์, สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>3,4</sup> รองศาสตราจารย์, สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>1</sup> Student, Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of technology, Nakhon Ratchasima 30000

<sup>2</sup> Lecturer, Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of technology, Nakhon Ratchasima 30000

<sup>3,4</sup> Associate Professor, Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of technology, Nakhon Ratchasima 30000

\* Corresponding author: E-mail: jitimon@g.sut.ac.th

Validation, yielded an accuracy of 80.60% and an overall efficiency of 77.85%. The model demonstrated a strong ability to classify cases with moderate to severe ADRs as well as non-ADR cases. The key features that contributed to the model's effectiveness in classifying severity include the relevance of PRN or LNC medication administration, receipt of high-alert drugs, history of allergies, ward type, ICD code F250 (main disease), diagnostician, season (winter), urgency, and patient condition upon arrival at the hospital.

**Keywords:** Adverse drug reaction, Machine learning, Pipeline technique, Feature selection

## บทนำ

ความปลอดภัยของผู้ป่วยด้านยาเป็นประเด็นสำคัญที่องค์การอนามัยโลก(World Health Organization, 2021) ได้กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยทั่วโลก พ.ศ. 2564 - 2573 โดยมีเป้าหมายในการลดอันตรายจากการใช้ยาลงได้ ในปี พ.ศ. 2566 ร้อยละ 20 ของประเทศสมาชิกองค์การอนามัยโลก โดยรายงานสถิติเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Adverse Drug Event: AE) ขององค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (FDA US. Food and Drug Administration, 2022) พบว่าจำนวนกรณีที่ถูกรายงานเพิ่มขึ้นทุกปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523-2565 มีจำนวนรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์รวมกว่า 26 ล้านครั้ง กรณีที่มีอาการรุนแรงแต่ไม่รวมกรณีเสียชีวิตมีจำนวน 14.5 ล้านครั้ง ส่วนกรณีเสียชีวิตมีการรายงานจำนวน 2.4 ล้านครั้ง และพบว่าในแต่ละปีสัดส่วนกรณีที่มีความรุนแรง (Serious) รวมกับกรณีเสียชีวิต (Death) มีจำนวนเกินกว่าร้อยละ 50 ของกรณีทั้งหมดที่ถูกรายงานในปีนั้นๆ โดยในปีที่ผ่านมา ปี พ.ศ. 2565 มีรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จำนวนสูงที่สุด 2.34 ล้านครั้ง สำหรับสถานการณ์ในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2564 มีอัตราการรายงานที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าจากปีก่อน และถึงแม้จะมีจำนวนการรายงานที่ลดลงในปี พ.ศ. 2565 แต่พบว่า 5 ปีที่ผ่านมา ระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2565 จำนวนรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์กรณีที่เกิดในระดับร้ายแรง ยังมีอัตราส่วนต่อจำนวนกรณีที่ยาทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อจำแนกตามจังหวัดเครือข่ายเขตบริการที่ 9 พบว่า จังหวัดนครราชสีมา มีจำนวนการรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์สูงที่สุด (ศูนย์เฝ้าระวังความปลอดภัยด้านผลิตภัณฑ์สุขภาพ, 2565)

อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา (Adverse Drug Reaction: ADR) ในนิยามขององค์การอนามัยโลก เป็นการตอบสนองต่อยาที่เป็นอันตรายและไม่ได้ตั้งใจ เกิดขึ้นในขนาดการใช้ยาตามปกติในมนุษย์ มีผลกระทบต่อตัวผู้ป่วยที่อาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพขึ้นใหม่ได้ และอาจมีความรุนแรงและเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต ผลกระทบเกิดกับญาติผู้ป่วย การสูญเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อจิตใจซึ่งอาจประเมินค่าไม่ได้ (กิตติพันธ์ เครือวงศ์, 2561) จากการศึกษาข้อมูลยาพบว่า กลุ่มยาทางจิตเวชมีผลข้างเคียง

ค่อนข้างมาก (กลุ่มนโยบายแห่งชาติด้านยา, 2559) สอดคล้องกับสถิติการรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จำแนกตามกลุ่มยาหลักตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 - 2564 พบว่า กลุ่มยากระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System) มีจำนวนรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์เป็นอันดับที่ 3 ซึ่งเป็นยาที่ใช้รักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคทางจิตเวช อาทิ ยานอนหลับ ยาคลายกังวล ยาสำหรับโรคจิต ยาแก้ซึมเศร้า เป็นต้น เมื่อเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์หลังจากการใช้ยาเกิดขึ้น บุคลากรทางการแพทย์จะทำหน้าที่ประเมินระดับความรุนแรง วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดอาการไม่พึงประสงค์ดังกล่าว โดยพิจารณาจากข้อมูลรายงานบันทึกอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาของผู้ป่วยจิตเวชจากแผนกเภสัชกรรมร่วมกับข้อมูลสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Health Record) จากระบบฮอสเพ็กซ์พี (HOSxP) ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศสำหรับสถานพยาบาลเพื่อประเมินแยกแยะระดับความรุนแรง และหาความสัมพันธ์ระหว่างยาที่สงสัยกับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา (Causality Assessment) เพื่อเสนอแนวทางแก้ไขต่อแพทย์ผู้รักษา เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาวิเคราะห์ค่อนข้างนาน อีกทั้งบุคลากรทางการแพทย์แต่ละคนมีประสบการณ์ทำงานและองค์ความรู้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ทำให้ผลการวิเคราะห์อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

## การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาและรวบรวมปัจจัยเพื่อใช้วิเคราะห์อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา ได้แก่ การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากยา (Alomar, 2014) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา (รุ่งนภา ทรงศิริพันธุ์, 2561) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับความร้ายแรงของเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาโรงพยาบาลพระนารายณ์มหาราช (บงกช เพียรไทย และกรรณิการ์ เวชคุณานุกุล, 2563) การตรวจสอบผลข้างเคียงของยาจิตเวชผ่านการชุดข้อมูลจากบันทึกสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ (Iqbal, 2021) ปฏิบัติการไม่พึงประสงค์จากยาในกลุ่มโรคซึมเศร้าที่สำคัญ (Sisay & Wami, 2021) และงานวิจัยเกี่ยวกับยารักษาโรคจิตในการวิเคราะห์

บนฐานข้อมูลระบบการรายงานที่เกิดขึ้นของจังหวัด (Guo *et al.*, 2022) สามารถสรุปปัจจัยได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับผู้ป่วย (Patient Related Factors) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคของผู้ป่วย (Patient's Disease) ปัจจัยด้านสังคม (Social Factors) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับยา (Drug Related Factors) และปัจจัยอื่นๆ (Others) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานพยาบาลและบุคลากรทางการแพทย์

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่มีความสามารถในการทำความเข้าใจ การเรียนรู้ การให้เหตุผล และการแก้ปัญหา มาใช้ในการแพทย์อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอาการไม่พึงประสงค์จากยารักษาโรคต่างๆ อาทิ การตรวจจับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาด้วยการทำเหมืองข้อมูลและการทำนายความรุนแรงด้วยการเรียนรู้ของเครื่องโดยนำข้อมูลยาและคำศัพท์อาการไม่พึงประสงค์ขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกามาหาความสัมพันธ์ระหว่างยากับอาการไม่พึงประสงค์ ด้วยวิธีการวัดว่าเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากยาชนิดใดชนิดหนึ่งพบได้บ่อยเพียงใดเมื่อเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในฐานข้อมูลโดยรวม (Proportionality Reporting Ratio: PRR) และไคสแควร์ (Chi-Square) จากนั้นสร้างโปรแกรมกรอกข้อมูลยาและอาการเพื่อค้นหาว่าอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาสัมพันธ์กับยาหรือไม่ แล้วนำข้อมูลด้านประชากรศาสตร์มาผ่านกระบวนการเลือกคุณลักษณะและสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิควิธีการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น และเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ในการทำนายความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา (ตาย, รุนแรง, ไม่รุนแรง) และประเมินประสิทธิภาพเทคนิคทั้ง 3 ด้วยวิธีการตรวจสอบข้าม 10 กลุ่ม (10-Fold Cross Validation) พบว่าเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น ทำนายกลุ่มตาย ถูกต้องร้อยละ 91 ทำนายกลุ่มรุนแรงและไม่รุนแรงถูกต้องร้อยละ 81 (Islam *et al.*, 2018)

การทำนายความเป็นพิษต่อตับที่เกิดจากยารักษาโรคด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง บนข้อมูลทางคลินิกและข้อมูลยีนส์ของโรงพยาบาล 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลแรกใช้เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Set) และการตรวจสอบภายใน (Internal Validation) และโรงพยาบาลที่ 2 เป็นการตรวจสอบภายนอก (External Validation) นำไปเลือกคุณลักษณะ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงแบบตัวแปรเดียว โดยการทดสอบไคสแควร์ และการทดสอบสำหรับกลุ่มอิสระ (Independent T-test) และใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น และเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ ร่วมกับข้อมูล 3 แบบ (Traditional (T), Genetic (G), Combination (C))

พบว่า ยีนส์เป็นข้อมูลที่มีนัยสำคัญทางสถิติในการทำนายการเกิดพิษต่อตับจากการใช้ยารักษาโรค เมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทางคลินิกพบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (Lai *et al.*, 2020)

การใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network: DNN) มาสร้างตัวแบบพยากรณ์อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา โดยนำข้อมูลจากฐานข้อมูลพิษวิทยาพันธุศาสตร์ และฐานข้อมูลองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา มาพยากรณ์การใช้ยากับผู้ป่วยโรคแผลที่เยอบุลำไส้เล็ก และโรคตับอักเสบรุนแรงแบบเฉียบพลัน พบว่าตัวแบบมีความถูกต้องร้อยละ 89.4 (Mohsen *et al.*, 2021)

นอกจากนี้ ยังมีการตรวจจับปฏิกิริยาไม่พึงประสงค์จากไซเคิลมีเดียด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันแบบหลายช่องสัญญาณ ที่ดัดแปลงร่วมกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้สถาปัตยกรรมที่นำเสนอกับข้อมูลจริงที่ได้รับจากไซเคิลมีเดียทวีตเตอร์พบว่า แบบจำลองที่นำเสนอมีค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1-score) ที่ดีขึ้นมากกว่า 10-15% เมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น หรือโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันแบบหลายช่องสัญญาณเพียงเทคนิคเดียว (Rakhsha *et al.*, 2021) และมีการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติเข้ามาช่วยในการตรวจหาอาการไม่พึงประสงค์กลุ่มอาการมือเท้าบวมแดง จากข้อมูลที่เขียนลงกระทู้ของผู้ป่วยโรคมะเร็ง นำมาเรียนรู้และทดสอบกับแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ได้แก่ LSTM, bidirectional LSTM และ BERT ด้วยการตรวจสอบข้าม 5 กลุ่ม พบว่า แบบจำลองที่ใช้เทคนิค BERT ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมีค่าความแม่นยำร้อยละ 63 ค่าความระลึกร้อยละ 82 และค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 71 (Nishioka *et al.*, 2022)

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยานั้นมีการนำปัจจัยและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่หลากหลายมาวิเคราะห์และประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงและผลกระทบจากการเกิดอาการไม่พึงประสงค์ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยารักษาโรคจิตเวช โดยใช้เทคนิคไปป์ไลน์ในกระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล และการเรียนรู้ชุดข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น (Islam *et al.*, 2018) และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Lai *et al.*, 2020) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง ยังมีการศึกษาเทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Gao *et al.*, 2022) และเทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ (Liu & Rudd, 2023) ซึ่งงานวิจัยได้

นำมาใช้พัฒนาแบบจำลองร่วมกับเทคนิคอื่น งานวิจัยนี้จึงได้นำทั้ง 5 เทคนิคไปพัฒนาแบบจำลองและนำเสนอเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสุด บนสมมติฐานที่ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกระดับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาได้อย่างถูกต้อง สามารถช่วยส่งต่อสารสนเทศที่มีประโยชน์ให้แก่บุคลากรทางการแพทย์เพื่อสร้างการตรวจจับสัญญาณความเสี่ยงจากอาการไม่พึงประสงค์หลังการใช้ยาให้รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ และเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

## วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

การประมวลผลข้อมูล การสร้างแบบจำลอง และการประเมินแบบจำลอง แสดงดัง Figure 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1. การประมวลผลข้อมูล (Data Processing)

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการรวบรวมข้อมูล (Data Collection) ได้เก็บรวบรวมข้อมูลรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาของผู้ป่วยจิตเวชจากแผนกเภสัชกรรม ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2565 และข้อมูลสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Health Record) จากระบบฮอสเพกซ์พี ประกอบด้วยข้อมูล 131 คอลัมน์ 1,412 แถวข้อมูล

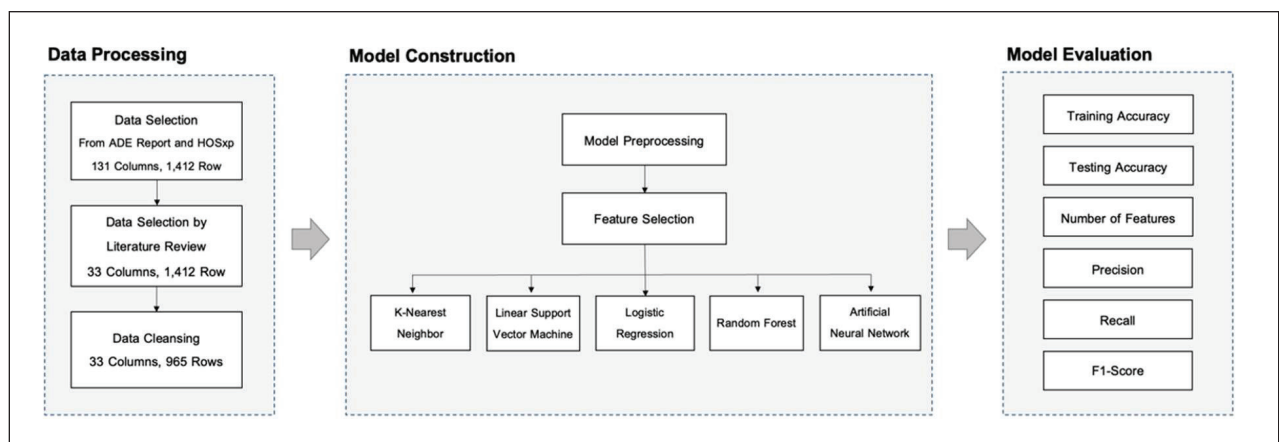


Figure 1 Model framework

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการเลือกข้อมูล (Data Selection) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและรวบรวมปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์อาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีปัจจัยที่สอดคล้องและแตกต่างไปจากงานวิจัยอื่นดัง Table 1

โดยมีปัจจัยที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก ระดับการศึกษา โรคประจำตัว การป่วยหลายโรค การดื่มแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ ประวัติการแพ้ยา กลุ่มยา รูปแบบการให้ยา ผู้รายงาน และฤดูกาลที่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ ส่วนปัจจัยที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ได้แก่ ส่วนสูง ภูมิลาเนา อาชีพ โรคหลักทางจิตเวช โรคร่วมทางจิตเวช ความดันโลหิต สภาพการมาโรงพยาบาล ความแรงตัวน จำนวนครั้งการรักษา ด้วยไฟฟ้า สิทธิการรักษา ประเภทของผู้ป่วย และจำนวนครั้งที่ไม่ตรงนัด

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) จากการศึกษารายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาของผู้ป่วยจิตเวช และข้อมูลสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ ได้ดำเนินการทำความสะอาดข้อมูล และแปลงคุณลักษณะให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมในการประมวลผล เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับวิเคราะห์ ได้แก่ ลบคุณลักษณะหรือคอลัมน์ที่

ไม่มีข้อมูลหรือข้อมูลไม่สมบูรณ์ ตัดแถวที่ข้อมูลไม่สมบูรณ์ มีค่า NaN หรือค่าว่างออก และแปลงข้อมูลคุณลักษณะให้อยู่ในรูปแบบพร้อมใช้งาน เช่น การนับจำนวนโรคร่วม การนับจำนวนโรคประจำตัว และการแยกโรคประจำตัว เพื่อเก็บเป็นคุณลักษณะใหม่ ได้แก่ คุณลักษณะที่ B3 ถึง B10 สำหรับข้อมูลประเภทตัวเลขที่มีค่าว่าง ได้ดำเนินการแทนที่ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) ได้แก่ คุณลักษณะที่ A2, A6, A7, B12 และ B13 ส่วนข้อมูลประเภทวันที่ ได้ดำเนินการแปลงเป็นฤดูกาลที่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ ได้แก่ คุณลักษณะที่ E8 ซึ่งหลังจากดำเนินการทำความสะอาดข้อมูลเสร็จสิ้นสามารถจำแนกคุณลักษณะ (Feature) ได้ 33 คอลัมน์ และมีชุดข้อมูลทั้งสิ้น 965 แถว โดยลักษณะของข้อมูล (Data Characteristics) ของคุณลักษณะเหล่านี้ดัง Table 2

ข้อมูลระดับความรุนแรง (Severity) ถูกใช้เพื่อเป็นคลาสในการจำแนกระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา จากเดิมข้อมูลถูกจัดแบ่งเป็น 10 ระดับ (แทนที่ด้วยตัวอักษร A ถึง I หมายถึง ระดับความรุนแรงน้อยไปมากตามลำดับ) เนื่องจากข้อมูลในการประมวลผลมีจำนวนน้อย หากจำแนกคลาสเป็น 10 ระดับ ทำให้ในบางคลาสไม่มีข้อมูล

ตัวอย่าง จึงจัดแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 4 คลาส ตามเกณฑ์  
การพิจารณาของเภสัชกร แผนกเภสัชกรรม มีจำนวนแถวข้อมูล  
ในแต่ละคลาส ดังนี้

Not ADR ให้เป็นคลาส Not ADR ( $y_1$ ) มีจำนวน 173  
แถวข้อมูล

A, B, C และ D ให้เป็นคลาส Mild ( $y_2$ ) มีจำนวน 148  
แถวข้อมูล

E ให้เป็นคลาส Moderate ( $y_3$ ) มีจำนวน 615 แถว  
ข้อมูล

F, G, H และ I ให้เป็นคลาส Severe ( $y_4$ ) มีจำนวน  
29 แถวข้อมูล

**Table 1** Comparison of ADR-related factors with related work

| Related Work                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | *This Work |
|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|------------|
| <b>Patient related factors</b>   |   |   |   |   |   |   |            |
| Age                              | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √          |
| Gender                           | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √          |
| Maternity status                 | √ |   |   |   |   |   |            |
| Fetal development                | √ |   |   |   |   |   |            |
| Body weight and fat distribution | √ |   |   |   |   |   | √          |
| Height                           |   |   |   |   |   |   | √          |
| Birthplace                       |   |   |   |   |   |   | √          |
| Occupation                       |   |   |   |   |   |   | √          |
| Educational status               |   |   |   |   | √ |   | √          |
| <b>Patient's disease factors</b> |   |   |   |   |   |   |            |
| Major of psychiatric diseases    |   |   |   |   |   |   | √          |
| Psychiatric comorbidities        |   |   |   |   |   |   | √          |
| Congenital diseases              | √ |   |   | √ | √ |   | √          |
| Multiple disease                 |   |   |   |   |   | √ | √          |
| Creatinine clearance category    | √ |   |   |   |   |   |            |
| Blood pressure                   |   |   |   |   |   |   | √          |
| <b>Social factors</b>            |   |   |   |   |   |   |            |
| Alcohol drinking                 | √ |   |   |   |   |   | √          |
| Race and ethnicity               | √ |   |   | √ |   |   |            |
| Smoking                          | √ |   |   | √ |   |   | √          |
| <b>Drug related factors</b>      |   |   |   |   |   |   |            |
| Allergy                          | √ | √ |   |   |   |   | √          |
| Polypharmacy                     | √ |   |   |   | √ | √ |            |
| Drug dose and frequency          | √ |   |   |   |   |   |            |
| Chief complaint                  |   |   | √ | √ |   |   |            |
| Drug group                       |   | √ | √ |   |   |   | √          |
| Route of administration          |   |   | √ |   |   |   | √          |
| Duration of using drug           |   |   | √ |   |   |   |            |
| Product type                     |   |   | √ |   |   |   |            |

**Table 1** Comparison of ADR-related factors with related work (cont.)

| Related Work                        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | *This Work |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|------------|
| Source of product                   |   |   | √ |   |   |   |            |
| Probability                         |   |   | √ |   |   |   |            |
| Seriousness type                    |   |   | √ |   |   |   |            |
| <b>Other factors</b>                |   |   |   |   |   |   |            |
| Diagnostician                       |   |   | √ |   |   |   | √          |
| Department of report                |   |   | √ |   |   |   |            |
| Season                              |   |   |   |   |   | √ | √          |
| Hospital admission status           |   |   | √ | √ |   |   |            |
| Refer out                           |   |   |   |   |   | √ |            |
| Condition of arrival to hospital    |   |   |   |   |   |   | √          |
| Urgency                             |   |   |   |   |   |   | √          |
| Number of electrotherapy treatments |   |   |   |   |   |   | √          |
| Patient Rights                      |   |   |   |   |   |   | √          |
| Ward type                           |   |   |   |   |   |   | √          |
| Number of missed appointments       |   |   |   |   |   |   | √          |

**Remark:** 1 = Alomar (2014), 2 = รุ่งนภา ทรงศิริพันธ์ุ (2561), 3 = บงกช เพียรไทย และกรรณิการ์ เวชคุณานุกุล (2563), 4 = Iqbal (2021), 5 = Sisay & Wami (2021), 6 = Guo *et al.*, (2022)

**Table 2** Data characteristics of related features

| Feature ID                       | Feature Name            | Data Type   | Description                                              |
|----------------------------------|-------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Patient related factors</b>   |                         |             |                                                          |
| A <sub>1</sub>                   | Gender                  | Categorical | Male, Female                                             |
| A <sub>2</sub>                   | Age                     | Numerical   | 9 - 85 Years Old                                         |
| A <sub>3</sub>                   | Birthplace              | Categorical | Bangkok, Chonburi, ...                                   |
| A <sub>4</sub>                   | Educational status      | Categorical | Primary education, ..., Master's degree, Not specified   |
| A <sub>5</sub>                   | Occupation              | Categorical | Agriculturist, Pensioner, ..., Unemployed, Not specified |
| A <sub>6</sub>                   | Weight                  | Numerical   | 30 - 165 Kilogram                                        |
| A <sub>7</sub>                   | Height                  | Numerical   | 83 - 190 Centimeter                                      |
| <b>Patient's disease factors</b> |                         |             |                                                          |
| B <sub>1</sub>                   | ICD Major diseases      | Categorical | E221, F030, ..., G20, ..., M4781, ..., Z251              |
| B <sub>2</sub>                   | Number of comorbidities | Numerical   | 0 - 5                                                    |
| B <sub>3</sub>                   | Diabetes                | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>4</sub>                   | Hypertension            | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>5</sub>                   | Heart disease           | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>6</sub>                   | Dyslipidemia            | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>7</sub>                   | Chronic kidney disease  | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>8</sub>                   | Cancer                  | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |
| B <sub>9</sub>                   | Stroke                  | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                          |

**Table 2** Data characteristics of related features (cont.)

| Feature ID                  | Feature Name                                             | Data Type   | Description                                                                                                       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B <sub>10</sub>             | Thyroid                                                  | Categorical | 0 = No, 1 = Yes                                                                                                   |
| B <sub>11</sub>             | Number of congenital diseases                            | Numerical   | 0 - 5                                                                                                             |
| B <sub>12</sub>             | Systolic blood pressure                                  | Numerical   | 47 - 194                                                                                                          |
| B <sub>13</sub>             | Diastolic blood pressure                                 | Numerical   | 37 - 999                                                                                                          |
| <b>Social factors</b>       |                                                          |             |                                                                                                                   |
| C <sub>1</sub>              | Alcohol drinking                                         | Categorical | Give up drinking, Drinking                                                                                        |
| C <sub>2</sub>              | Smoking                                                  | Categorical | Never, Still smoking or have quit smoking for less than 1 month, Quit smoking for at least 1 month.               |
| <b>Drug related factors</b> |                                                          |             |                                                                                                                   |
| D <sub>1</sub>              | Allergy                                                  | Categorical | No, Yes                                                                                                           |
| D <sub>2</sub>              | Receiving high-alert drugs                               | Categorical | No, Yes                                                                                                           |
| D <sub>3</sub>              | Relevance on the administration of PRN or LNC medication | Categorical | Relevant, Not relevant                                                                                            |
| <b>Other factors</b>        |                                                          |             |                                                                                                                   |
| E <sub>1</sub>              | Diagnostician                                            | Categorical | Nurses, Doctors, Pharmacists, Medical students, Lab                                                               |
| E <sub>2</sub>              | Condition of arrival to hospital                         | Categorical | Walking, Seeing a doctor, Wheelchair, Stretcher                                                                   |
| E <sub>3</sub>              | Urgency                                                  | Categorical | Emergency, General, Expressway                                                                                    |
| E <sub>4</sub>              | Number of electrotherapy treatments                      | Numerical   | 0 - 184                                                                                                           |
| E <sub>5</sub>              | Patient rights                                           | Categorical | Government Or State Enterprise Officer, Pay themselves, Universal Coverage Scheme, Social Security Scheme, others |
| E <sub>6</sub>              | Ward type                                                | Categorical | Acute, Cohort, OPD, Sub Acute                                                                                     |
| E <sub>7</sub>              | Number of missed appointments                            | Numerical   | 0 - 185                                                                                                           |
| E <sub>8</sub>              | Season                                                   | Categorical | Rainy, Summer, Winter                                                                                             |
| <b>Output factor</b>        |                                                          |             |                                                                                                                   |
| Y                           | Severity                                                 | Categorical | Not ADR ( $y_1$ ), Mild ( $y_2$ ), Moderate ( $y_3$ ), Severe ( $y_4$ )                                           |

ข้อมูลระดับความรุนแรง (Severity) ถูกใช้เพื่อเป็นคลาสในการจำแนกระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา จากเดิมข้อมูลถูกจัดแบ่งเป็น 10 ระดับ (แทนที่ด้วยตัวอักษร A ถึง I หมายถึง ระดับความรุนแรงน้อยไปมากตามลำดับ) เนื่องจากข้อมูลในการประมวลผลมีจำนวนน้อย หากจำแนกคลาสเป็น 10 ระดับ ทำให้ในบางคลาสไม่มีข้อมูลตัวอย่าง จึงจัดแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 4 คลาส ตามเกณฑ์การพิจารณาของเภสัชกร แผนกเภสัชกรรม มีจำนวนแถวข้อมูลในแต่ละคลาส ดังนี้

Not ADR ให้เป็นคลาส Not ADR ( $y_1$ ) มีจำนวน 173 แถวข้อมูล

A, B, C และ D ให้เป็นคลาส Mild ( $y_2$ ) มีจำนวน 148 แถวข้อมูล

E ให้เป็นคลาส Moderate ( $y_3$ ) มีจำนวน 615 แถวข้อมูล

F, G, H และ I ให้เป็นคลาส Severe ( $y_4$ ) มีจำนวน 29 แถวข้อมูล

## 2. การสร้างแบบจำลอง (Model Construction)

การวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับตรวจจับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา โดยใช้เทคนิคไปป์ไลน์ในกระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล และการเรียนรู้ชุดข้อมูลใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 5 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องจากประเภทของคุณลักษณะในชุดข้อมูลมีทั้งอยู่ในรูปแบบกลุ่ม (Categorical) และรูปแบบตัวเลข (Numerical) ในส่วนของไปป์ไลน์จึงมีการดำเนินการกำหนดขั้นตอนตาม Figure 2 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง (Model Preprocessing) ดำเนินการแปลงคอลัมน์ (Preprocessor: Column Transformer) จาก 33 คุณลักษณะ ใน Table 2 ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะที่ข้อมูลเป็นตัวเลข จำนวน 9 คุณลักษณะ โดยใช้เทคนิคการแทนค่าข้อมูลที่ขาดหายด้วยวิธี Simple imputer ซึ่งเป็นการคาดคะเนข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยวิธีการใช้ค่ามัธยฐาน (Median) ของมิติข้อมูลนั้น จากนั้นปรับขนาดหรือค่าของข้อมูลเพื่อให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ด้วยวิธี MinMaxScaler สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบกลุ่ม (Categorical) จำนวน 24 คุณลักษณะ ใช้เทคนิคการเข้ารหัสข้อมูลแบบ OneHotEncoder เพื่อแตกคุณลักษณะข้อมูลในรูปแบบกลุ่ม เป็นคอลัมน์ย่อยตามค่าของข้อมูล และแทนค่าของข้อมูลในคอลัมน์ต่างๆ เป็นไบนารี (ค่า 0 หรือ 1) จากนั้นใช้วิธีการเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี SelectPercentile กำหนดการคำนวณคะแนนด้วยโคสแควร์ และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เมื่อดำเนินการเสร็จขั้นตอนที่ 1 ได้คุณลักษณะจำนวน 92 คุณลักษณะ

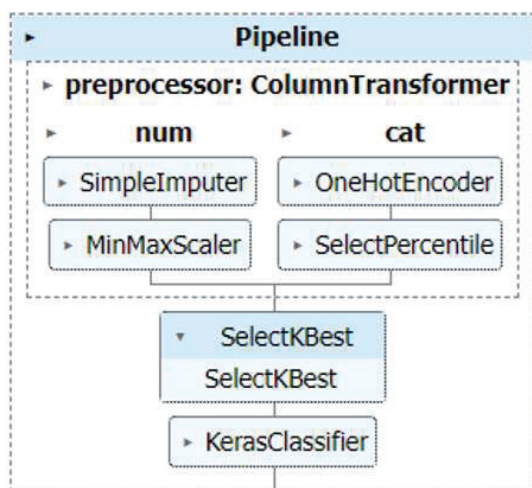


Figure 2 Pipeline technique for model construction

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) เพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้เฉพาะข้อมูลที่สามารถจำแนกคลาสได้ดี และส่งผลให้แบบจำลองมีความถูกต้องสูงที่สุด จึงใช้วิธีเลือกจำนวนคุณลักษณะ ด้วยวิธี SelectKbest โดยพิจารณาจากคะแนน  $K$  ที่สูงที่สุดตามลำดับ คำนวณคะแนนด้วยฟังก์ชัน  $f_{\text{classif}}$  ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ระหว่างคุณลักษณะกับคลาสที่ใช้จำแนกจากค่าเอฟ (F-value)

การทดสอบหาจำนวนคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อใช้กำหนดค่า  $K$  ในวิธีการ SelectKbest ทดสอบโดยกำหนด

ค่า  $K$  ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 92 กับเทคนิคทั้ง 5 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคเคเนียร์เรนเบอร์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ร่วมกับเทคนิคการสร้างและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีการตรวจสอบข้ามแบบแบ่งชั้น 10 กลุ่ม (Stratified 10-Fold Cross Validation)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการกำหนดพารามิเตอร์ในการฝึกสอน (Training) และการทดสอบ (Testing)

การกำหนดพารามิเตอร์ของการพัฒนาแบบจำลองด้วยเทคนิคเคเนียร์เรนเบอร์ ดังนี้

```
neighbors.KNeighborsClassifier
(n_neighbors=5)
```

เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น ดังนี้

```
LinearSVC(random_state=0)
```

เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ดังนี้

```
LogisticRegression(random_state=0,
solver='lbfgs', max_iter=5000)
```

เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ ดังนี้

```
RandomForestClassifier(n_estimators=10,
criterion="entropy",
random_state=0)
```

สำหรับแบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมใช้ KerasClassifier เป็น API ของ SciKeras ในการกำหนดพารามิเตอร์โครงสร้างชั้นการประมวลผล (Layer) ของแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม อยู่ในรูปแบบแบบจำลองตามลำดับ (Sequential Model) ดัง Figure 3 ประกอบด้วย

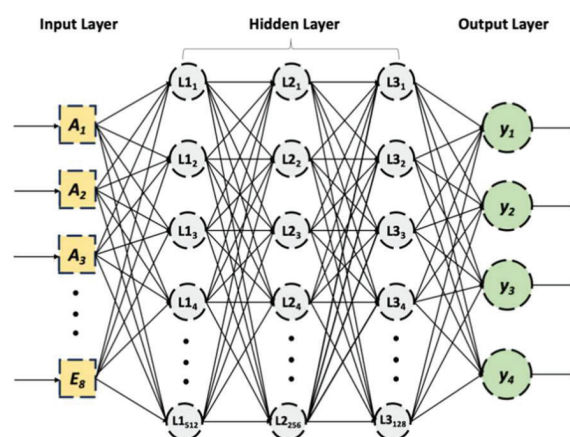


Figure 3 Neural Network architecture

ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ได้แก่ ข้อมูลคุณลักษณะ  
ดัง Table 2 ที่ผ่านกระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง  
แล้ว

ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ประกอบด้วย 3 ชั้น กำหนด  
ชั้นซ่อนชั้นแรก แทนด้วยอักษร  $L11$  ถึง  $L1512$  กำหนด  
Dense (512, input\_dim = K), activation = 'relu' โดยในชั้น  
นี้มีจำนวน 512 เซลล์ กำหนดข้อมูลจำนวนคุณลักษณะที่นำ  
เข้า (input\_dim) โดยทดสอบตั้งแต่ค่า 1 - 92 กำหนดฟังก์ชัน  
กระตุ้น (Activation function) เป็น 'relu' หรือ Rectified Linear  
Unit ใช้ในการคำนวณและกำหนดข้อมูลนำเข้า ในชั้นถัดไป  
ชั้นซ่อนชั้นที่สอง แทนด้วยตัวอักษร  $L21$  ถึง  $L2256$  กำหนด  
Dense(256, activation='relu') โดยในชั้นนี้มีจำนวน 256  
เซลล์ ชั้นซ่อนชั้นที่สาม แทนด้วยตัวอักษร  $L31$  ถึง  $L3128$   
Dense(128, activation='relu') โดยในชั้นนี้มีจำนวน 128 เซลล์

ชั้นข้อมูลออก (Output Layer) เป็นชั้นสุดท้าย กำหนด  
Dense(4, activation='softmax') โดยจำนวนเซลล์เท่ากับจำนวน  
คลาสที่เป็นผลลัพธ์ เท่ากับ 4 คลาส และใช้ฟังก์ชัน 'softmax'  
แทนด้วยตัวอักษรดังนี้

คลาส Not ADR แทนด้วย  $y_1$

คลาส Mild แทนด้วย  $y_2$

คลาส Moderate แทนด้วย  $y_3$

คลาส Severe แทนด้วย  $y_4$

ระหว่างชั้นต่าง ๆ ใส่ Dropout (0.25) เพื่อสุ่มตัด  
บางโหนดออกระหว่างการเรียนรู้ (Training) ลดการจดจำข้อมูล  
ก่อนหน้า ป้องกันปัญหาที่แบบจำลองจำแนกคลาสได้แม่นยำ  
สูงเฉพาะข้อมูลเรียนรู้เท่านั้น (Over-fitting) มีการปรับจูน  
ไฮเปอร์พารามิเตอร์ ได้แก่ Optimizer = Adam, Loss = Sparse  
Categorical Crossentropy, Metrics = Accuracy, Epochs =  
100 และ batch\_size = 20

จากแผนภูมิดัง Figure 4 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ  
ความถูกต้อง ณ ค่า  $K$  ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 92  
กับการใช้เทคนิคเคเนียร์สเนเบอร์ แสดงให้เห็นว่า จำนวน  
คุณลักษณะที่ทำให้แบบจำลองจำแนกคลาสได้ถูกต้องสูงที่สุดที่  
 $K$  เท่ากับ 22 และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย  
การหาจำนวนคุณลักษณะที่เหมาะสมกับเทคนิคทั้ง 5 เทคนิค  
ได้ผลการประเมินความถูกต้องดัง Table 3

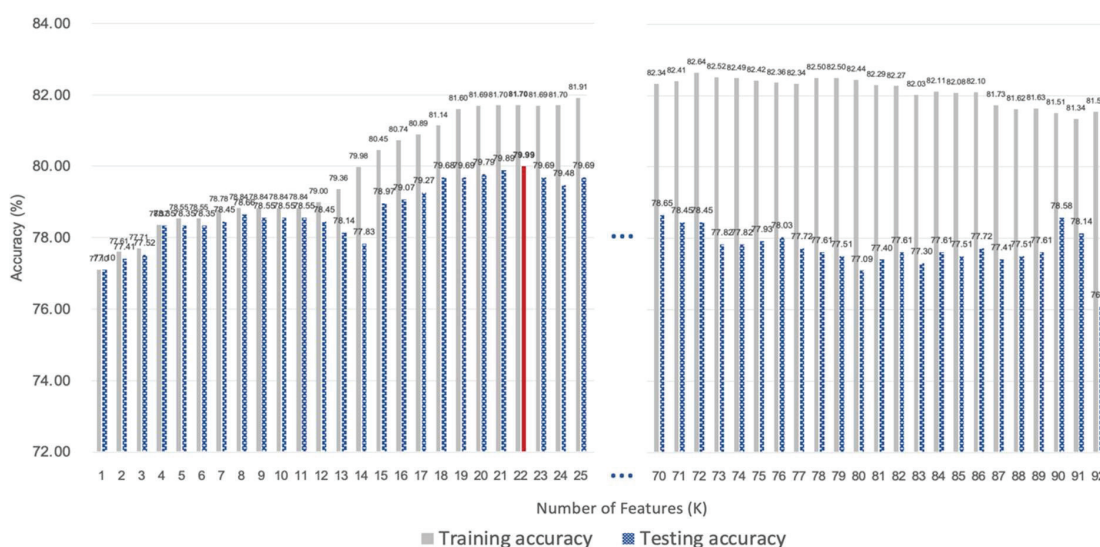


Figure 4 Comparing the accuracy at different  $K$ -values between 1 and 92 of the  $K$ -Neighbors classifier technique.

Table 3 Comparing different  $K$  values for each technique gives the highest accuracy.

| Machine Learning Technique | Number of Features ( $K$ ) | Highest Accuracy |
|----------------------------|----------------------------|------------------|
| KNeighborsClassifier       | 22                         | 79.99            |
| LinearSVC                  | 32                         | 79.38            |
| LogisticRegression         | 32                         | 79.38            |
| RandomForestClassifier     | 18                         | 79.99            |
| Artificial Neural Network  | 24                         | 80.60            |

จาก Table 3 พบว่า จำนวนคุณลักษณะที่เหมาะสมซึ่งทำให้ความถูกต้องของแบบจำลองสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 24 พบคุณลักษณะที่สามารถจำแนกคลาสได้ดี ได้แก่ ความเกี่ยวข้องกับการให้ยา PRN หรือยา LNC, การได้รับยาที่มีความเสี่ยงสูง (High-alert Drug), ผู้ป่วยมีประวัติการแพ้ยา, ประเภทหอผู้ป่วย, ICD โรคลหุ (รหัสโรค F250), ผู้รายงาน, ฤดูกาลที่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ (ฤดูหนาว), ความรุนแรงตัว และสภาพการมาโรงพยาบาล ตามลำดับ ความถูกต้องในการทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบร้อยละ 80.60 สูงที่สุดบนการทดสอบด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม รองลงมาเป็น เทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ และเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ มีความถูกต้องร้อยละ 79.99 เมื่อใช้คุณลักษณะจำนวน 22 และ 18 ตามลำดับ ส่วนเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น และเทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ใช้คุณลักษณะถึง 32 คุณลักษณะ แต่มีความถูกต้องน้อยกว่า มีความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 79.38

#### การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการตรวจจับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการตรวจสอบข้ามแบบแบ่งชั้น 10 กลุ่ม (Stratified 10-Fold Cross Validation) กับชุดข้อมูล 965 ชุด เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลที่มีลักษณะไม่สมดุล เริ่มจากแบ่งชุดข้อมูลเป็น 10 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีสัดส่วนของแต่ละคลาสเป้าหมายเท่าๆ กัน แต่ละรอบจึงมีข้อมูลเรียนรู้จำนวน 868 ชุดข้อมูล (9 กลุ่ม) และมีข้อมูลในการทดสอบจำนวน 97 ชุดข้อมูล (1 กลุ่ม) และเปลี่ยนกลุ่มข้อมูลในการทดสอบทุกรอบจนครบ 10 รอบ จากนั้นกำหนดจำนวนคุณลักษณะที่ทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องสูงที่สุดในแต่ละเทคนิค เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการฝึก (Training Accuracy) ความถูกต้องในการทดสอบ (Testing Accuracy) เวลาในการเรียนรู้ข้อมูลของแบบจำลอง (Training Runtime) และเวลาในการทดสอบแบบจำลอง (Testing Runtime) จากนั้นพิจารณาแบบจำลองที่มีความถูกต้องสูงที่สุด และอภิปรายผลด้วย ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าระลึก (Recall) และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1-Score) ดังสมการที่ 1-5

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)} \times 100 \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \times 100 \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)} \times 100 \quad (3)$$

$$F1\ score = \frac{2 \times (Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

True Positive (TP) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “จริง” และมีค่าเป็น “จริง”

True Negative (TN) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “ไม่จริง” และมีค่า “ไม่จริง”

False Positive (FP) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “จริง” แต่ มีค่าเป็น “ไม่จริง”

False Negative (FN) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “ไม่จริง” แต่ มีค่าเป็น “จริง”

และเนื่องจากจำนวนข้อมูลในแต่ละคลาสไม่เท่ากัน จึงหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average F1-Score) ดังสมการที่ 5

$$Weighted\ Avg\ F1\ Score = \sum_{i=1}^N w_i \times F1\ Score_i \quad (5)$$

โดยที่

$N$  คือ 4 (จำนวนคลาสระดับความรุนแรง)

$w_i$  คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละคลาส  $i$

$F1\ Score_i$  คือ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของแต่ละคลาส  $i$

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองในมิติความถูกต้องมีผลดัง Figure 5 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม มีความถูกต้องสูงที่สุดทั้งจากข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้เพื่อสร้างแบบจำลอง (Training Accuracy) และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง (Testing Accuracy) โดยความถูกต้องในการทดสอบสูงที่สุด ร้อยละ 80.60 รองลงมาเป็นแบบจำลองที่ใช้เทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ และเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ มีความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 79.99 ส่วนแบบจำลองที่ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 79.38

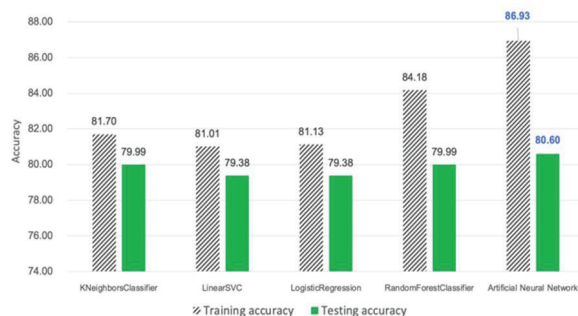


Figure 5 Accuracy Comparison

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในมิติด้านเวลา ดัง Figure 6 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองมากที่สุด ส่วนเวลาในการทดสอบแบบจำลองพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ ใช้เวลาในการทดสอบน้อยที่สุดเพียง 0.07 วินาที รองลงมาเป็นแบบจำลองที่ใช้เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม และ เทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ ใช้เวลาในการทดสอบแบบจำลอง 0.10, 0.11, 0.18, 0.31 วินาที ตามลำดับ

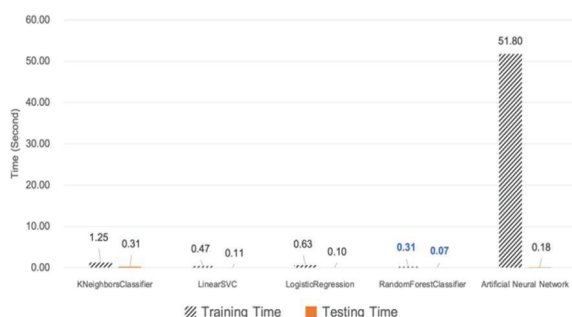


Figure 6 Runtime Comparison

Table 4 Results of evaluating F1 score in each class.

| Class              | F1 Score | No. of Test Data |
|--------------------|----------|------------------|
| Not ADR ( $y_1$ )  | 86.90    | 17               |
| Mild ( $y_2$ )     | 39.40    | 15               |
| Moderate ( $y_3$ ) | 87.80    | 62               |
| Severe ( $y_4$ )   | 9.00     | 3                |
| Weighted Average   | 77.85    | -                |

## อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาโดยใช้เทคนิคไปป์ไลน์ในกระบวนการก่อนการประมวลผลแบบจำลอง การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล และการเรียนรู้ชุดข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 5 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคเคเนียร์เรสเนเบอร์ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น เทคนิควิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการตรวจสอบข้ามแบบแบ่งชั้น 10 กลุ่ม

โดยกระบวนการเลือกคุณลักษณะมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้เฉพาะข้อมูลที่สามารถจำแนกคลาสได้ดีและส่งผลให้แบบจำลองมีความถูกต้องสูงที่สุด ผลการทดสอบ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการจำแนกคลาสของแบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีความถูกต้องในการทดสอบสูงที่สุด แสดงดัง Table 4 พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนก คลาส Moderate ซึ่งมีจำนวนข้อมูลเรียนรู้และทดสอบ (Support) จำนวนมาก ได้มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด (F1-score = 87.80) หมายความว่าแบบจำลองสามารถจำแนกอาการไม่พึงประสงค์จากยาระดับปานกลางได้ดีที่สุด และสามารถจำแนกคลาส Not ADR ซึ่งไม่ใช่อาการไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นจากยาและคลาสที่ 1 (Mild) ซึ่งเป็นรายงานอาการไม่พึงประสงค์จากยาระดับไม่รุนแรงได้ในระดับรองลงมา ค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 86.90 และ 39.40 ตามลำดับ ส่วนคลาสที่แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายน้อยที่สุดคือ คลาส Severe หรือระดับรุนแรง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 9.00 เนื่องจากจำนวนข้อมูลในแต่ละคลาสมีความไม่สมดุล จึงพิจารณาจำนวนข้อมูลทดสอบของแต่ละคลาสและหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักร่วมด้วย พบว่ามีค่าประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักร้อยละ 77.85

พบว่า มีจำนวนคุณลักษณะที่ทำให้แบบจำลองสามารถจำแนกคลาสได้ถูกต้องแตกต่างกันไป โดยคุณลักษณะที่สามารถจำแนกคลาสได้ดี ได้แก่ ความเกี่ยวข้องกับการให้ยา PRN หรือยา LNC ( $D_3$ ) การได้รับยาที่มีความเสี่ยงสูง ( $D_2$ ) ผู้ป่วยมีประวัติการแพ้ยา ( $D_1$ ) ประเภทของผู้ป่วย ( $E_6$ ) ICD โรคหลัก (รหัสโรค F250) ( $B_1$ ) ผู้รายงาน ( $E_7$ ) เหตุการณ์ที่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ (ฤดูหนาว) ( $E_8$ ), ความเร่งด่วน ( $E_3$ ) และสภาพการมาโรงพยาบาล ( $E_2$ ) ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับยาอยู่ถึง 3 อย่าง ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alomar (2014), รุ่งนภา ทรงศิริพันธ์ (2561), บงกช เพียรไทย และกรณิการ์ เวชคุณานุกุล (2563) ได้แก่ การได้รับยาที่มีความเสี่ยงสูง ผู้ป่วยมีประวัติการแพ้ยา และพบคุณลักษณะใหม่ที่แตกต่างกันจากงานวิจัยอื่น ได้แก่ ประเภทของผู้ป่วย โรคหลักทางจิตเวช ความเร่งด่วน และสภาพการมาโรงพยาบาล

ซึ่งสามารถนำมาใช้จำแนกระดับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาได้ดีเช่นกัน

ผลการประเมินแบบจำลองพบว่า แบบจำลองที่ถูกพัฒนาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องในการจำแนกระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์ที่สุดร้อยละ 80.60 และใช้เวลาในการจำแนกคลาส 0.18 วินาที ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai *et al.*, (2020) ที่พบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ส่วนแบบจำลองที่พัฒนาด้วยเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์ ใช้เวลาในการจำแนกคลาสน้อยที่สุดเพียง 0.07 วินาที และมีความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 79.99 มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Islam *et al.*, (2018) ที่พบว่าเทคนิคแรนดอมฟอเรสต์สามารถจำแนกความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาได้สูงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ ควรเน้นแบบจำลองที่มีความถูกต้องสูงและให้ความสำคัญในมิติด้านเวลาน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาผลการประเมินประสิทธิภาพในการจำแนกแต่ละคลาสด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า แบบจำลองสามารถจำแนกอาการไม่พึงประสงค์จากยาระดับปานกลาง หรือ คลาส Moderate ได้ดีที่สุด เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลเรียนรู้และทดสอบจำนวนมาก (615 ชุดข้อมูลหรือคิดเป็นร้อยละ 64 จากชุดข้อมูลทั้งหมด) ทำให้เรียนรู้และทำนายได้ดี ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเท่ากับร้อยละ 87.80 สำหรับคลาสที่แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายน้อยที่สุดคือ คลาส Severe หรือ ระดับรุนแรง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมเพียงร้อยละ 9.00 เนื่องจากจำนวนข้อมูลในการเรียนรู้และทดสอบมีจำนวนน้อยมาก (29 ชุดข้อมูลหรือคิดเป็นร้อยละ 3 จากชุดข้อมูลทั้งหมด) และค่าของคุณลักษณะข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์คล้ายคลึงกับข้อมูลในคลาส Moderate จึงให้ประสิทธิภาพในการจำแนกคลาสน้อย ซึ่งเป็นข้อจำกัดในจำนวนข้อมูลที่ศึกษา แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบพบว่า ทั้ง 4 คลาส มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักร้อยละ 77.85

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาในครั้งถัดไป สามารถนำข้อความอาการไม่พึงประสงค์จากฐานข้อมูลโรงพยาบาล หรือบนเครือข่ายสังคมออนไลน์มาวิเคราะห์ร่วมด้วย โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก อาทิ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบคอนโวลูชันร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องอื่น อาทิ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเชิงเส้น (Rakhsha *et al.*, 2021) และใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ อาทิ เทคนิค BERT เข้ามาประมวลผลเพื่อให้เข้าใจความหมายของบริบทดียิ่งขึ้น (Nishioka *et al.*, 2022)

การศึกษานี้บ่งชี้ว่าเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกระดับอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาบนชุดข้อมูลบันทึกสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์และรายงานอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการติดตามความปลอดภัยของยาได้ดี ซึ่งเดิมบุคลากรทางการแพทย์ใช้วิธีการประเมินโดยนำข้อมูลในอดีตจากสองแหล่งข้อมูล ซึ่งมีจำนวนคุณลักษณะที่ใช้พิจารณาในการประเมินจำนวนมาก จึงใช้เวลาประเมินเฉลี่ย 30 นาทีต่อผู้ป่วย 1 ราย และผลการประเมินแปรผันตามความเชี่ยวชาญของผู้ประเมิน ดังนั้นแบบจำลองที่นำเสนอสามารถช่วยให้นักวิชาการทางการแพทย์สามารถค้นหา ประเมิน และจำแนกผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็ว และเที่ยงตรงกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม ในกรณีที่อาการไม่พึงประสงค์นั้นมีความรุนแรงระดับปานกลาง (Moderate) ระดับไม่รุนแรง (Mild) และกรณีที่ไม่ใช่อาการไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากยา (Not ADR) นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองไปพัฒนาเป็นระบบเพื่อให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้ประเมินอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาด้วยตนเองได้ก่อนไปพบแพทย์

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณข้อมูลจากแผนกเภสัชกรรม และกลุ่มงานเทคโนโลยีสารสนเทศ โรงพยาบาลจิตเวชนครราชสีมา ราชนครินทร์ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มนโยบายแห่งชาติด้านยา (2559). *คู่มือการใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล ตามบัญชียาหลักแห่งชาติ ยาที่ใช้ทางจิตเวชศาสตร์*. [http://ndi.fda.moph.go.th/Drug\\_national](http://ndi.fda.moph.go.th/Drug_national)
- กิตติพันธ์ เครือวงศ์. (2561). ความคลาดเคลื่อนทางยา. *วารสารกฎหมายสุขภาพและสาธารณสุข*, 4(2), 254-265.
- บงกช เพียรไทย และกรรณิการ์ เวชคุณานุกุล. (2563). ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับความร้ายแรงของเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาโรงพยาบาลพระนารายณ์มหาราช : การศึกษาภาคตัดขวาง. *วารสารสุขภาพและสิ่งแวดล้อมศึกษา*, 5(2), 134-146.
- รุ่งนภา ทรงศิริพันธ์. (2561). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา. *วารสารเครือข่ายวิทยาลัยพยาบาลและการสาธารณสุขภาคใต้*, 5(2), 46-56.
- ศูนย์เฝ้าระวังความปลอดภัยด้านผลิตภัณฑ์สุขภาพ. (2565). *Infographic สถิติข้อมูลศูนย์เฝ้าระวังความปลอดภัยด้านผลิตภัณฑ์สุขภาพ*. <http://hpvc.fda.moph.go.th/AEINFO/InfographicIndex.aspx>

- Alomar, M. J. (2014). Factors affecting the development of adverse drug reactions. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 22(2), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2013.02.003>
- FDA US. Food and Drug Administration. (2022). *FDA Adverse Events Reporting System (FAERS) Public Dashboard*. <https://fis.fda.gov/hub>
- Gao, Z., Yang, Y., Meng, R., Yu, J., & Zhou, L. (2022). Automatic assessment of adverse drug reaction reports with interactive visual exploration. *Scientific Reports*, 12(1), 6777. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10887-5>
- Guo, K., Feng, Z., Chen, S., Yan, Z., Jiao, Z., & Feng, D. (2022). Safety profile of antipsychotic drugs: analysis based on a provincial spontaneous reporting systems Database. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.848472>
- Iqbal, E. (2021). *Investigating adverse effects of psychiatric drugs through data mining of electronic health records* (Doctoral dissertation, King's College London).
- Islam, T., Hussain, N., Islam, S., & Chakrabarty, A. (2018, December). Detecting adverse drug reaction with data mining and predicting its severity with machine learning. In *2018 IEEE region 10 humanitarian technology conference (R10-HTC)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2018.8629806>
- Lai, N. H., Shen, W. C., Lee, C. N., Chang, J. C., Hsu, M. C., Kuo, L. N., Yu, M. C., & Chen, H. Y. (2020). Comparison of the predictive outcomes for anti-tuberculosis drug-induced hepatotoxicity by different machine learning techniques. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.105307>
- Liu, J. Y. H., & Rudd, J. A. (2023). Predicting drug adverse effects using a new Gastro-Intestinal Pacemaker Activity Drug Database (GIPADD). *Scientific Reports*, 13(1), 6935. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33655-5>
- Mohsen, A., Tripathi, L. P., & Mizuguchi, K. (2021). Deep learning prediction of adverse drug reactions in drug discovery using open TG-GATEs and FAERS databases. *Frontiers in Drug Discovery*, 1. <https://doi.org/10.3389/fddsv.2021.768792>
- Nishioka, S., Watanabe, T., Asano, M., Yamamoto, T., Kawakami, K., Yada, S., ... & Hori, S. (2022). Identification of hand-foot syndrome from cancer patients' blog posts: BERT-based deep-learning approach to detect potential adverse drug reaction symptoms. *PloS one*, 17(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267901>
- Rakhsha, M., Keyvanpour, M. R., & Shojaedini, S. V. (2021, May). Detecting adverse drug reactions from social media based on multichannel convolutional neural networks modified by support vector machine. In *2021 7th International Conference on Web Research (ICWR)* (pp. 48-52). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICWR51868.2021.9443128>
- Sisay, T. & Wami, R. (2021). Adverse drug reactions among major depressive disorders: patterns by age and gender. *Heliyon*, 7(12), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08655>
- World Health Organization. (2021, August 3). *The Global Patient Safety Action Plan 2021-2030*. <https://www.who.int>.

# การทำนายสุขภาพดินของพืชโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

## Prediction of soil health for plants using deep neural networks

ธวัชชัย พรหมรัตน์<sup>1</sup> และ ดุษฎี คำบุญเรือง<sup>2\*</sup>  
Thawatchai Promrat<sup>1</sup> and Dusadee Khamboonrueng<sup>2\*</sup>

Received: 1 December 2023 ; Revised: 15 January 2024 ; Accepted: 9 February 2024

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดินที่ ณ ปัจจุบัน โดยการจำลองสภาพแวดล้อมในการปลูกต้นถั่วเหลือง 4 สภาพแวดล้อมสภาพแวดล้อมละ 3 กระถางคือ สภาพแวดล้อมที่หนึ่งรดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี สภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่สามรดน้ำเพียงอย่างเดียว สภาพแวดล้อมที่สี่ไม่รดน้ำและไม่ใส่ปุ๋ย และได้พัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสุขภาพดินเป็นระยะเวลา 2 เดือนทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 475 เดต้าพอยต์ จากนั้นนำข้อมูลมาจัดกลุ่มเพื่อหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึม k-means ทำให้ได้จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมกับข้อมูลสุขภาพดิน 3 กลุ่ม และให้ความหมายสุขภาพดินแต่ละกลุ่มคือ เหมาะสม ปานกลาง ปรับปรุง และระบุเลเบลให้กับข้อมูลสุขภาพดินแต่ละเดต้าพอยต์ที่เหมาะสมกับกลุ่ม เพื่อนำข้อมูลมาสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน ณ ปัจจุบันโดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกจากการทดลองทำให้ได้ความถูกต้องในการทำนายสุขภาพดิน 98 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** การทำนาย, โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก, การจัดกลุ่ม, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ดิน

### Abstract

The objective of this research is to create a soil health prediction model at present by simulating the environmental conditions for growing yellow beans in four different environments. These environments involve three pots each, representing the following conditions: environment 1: watering and chemical fertilizer application, environment 2: watering and organic fertilizer application, environment 3: watering only, and environment 4: no watering or fertilization. Additionally, an Internet of Things (IoT) system was developed to collect soil health data over 2 months, resulting in a total of 475 data points. The collected data was then grouped to assign the most suitable number of clusters using the K-means algorithm. This process yielded three clusters that best fit the soil health data, each corresponding to different levels of soil health: Suitable, Moderate, and Improvement. Labels were assigned to each data point within the clusters, indicating the corresponding soil health level. Subsequently, the data was utilized to create a soil health prediction model using deep-learning neural network algorithms. Through experimentation, the model achieved 98% accuracy in predicting soil health.

**Keywords:** Predicting, Deep neural network, Clustering, Internet of things, Soil

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 13000

<sup>2</sup> สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 60000

<sup>1</sup> Major of Information Technology, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 13000 Thailand

<sup>2</sup> Major of Physics and General Sciences, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, 60000 Thailand

\* Corresponding author: Dusadee Khamboonrueng E-mail: Dusadee.k@nsru.ac.th

## บทนำ

สุขภาพดินเป็นปัจจัยหลักต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรซึ่งค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความชื้น (Humid) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และค่าธาตุอาหารหลักในดิน (NPK) ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ค่าเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมวิทย์ฯ, 2561; สุภาวดี หนูสิน, 2564) อย่างไรก็ตามเมื่อสุขภาพดิน ณ ปัจจุบันไม่เหมาะสมกับพืชที่ปลูก ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า ใบไหม้ หรือ ใบหนา การรับรู้ข้อมูลสุขภาพดินข้างต้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อการรักษาสมาดุลในดินของพืชที่ปลูก งานวิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญการนำข้อมูลสุขภาพดิน อย่างไรก็ตามการตรวจสอบสุขภาพดินนั้นสามารถทำได้โดยการนำอุปกรณ์ตรวจสอบสุขภาพดินไปปักลงบนดินที่ปลูกต้นพืชแล้วทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ข้างต้น แต่วิธีการนี้ต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักหากมีการทำการเกษตรที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น การทำการเกษตรเป็นรูปแบบฟาร์ม เป็นต้น ทำให้เกิดความล่าช้าและใช้เวลานานกว่าจะตรวจวัดค่าต่างๆ ของพืชในฟาร์มได้ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Wang *et al.*, 2020, Yubolsai *et al.*, 2022; ภาณุ เดชทิพย์อักษร และคณะ, 2022) เพื่อเก็บและรายงานข้อมูลสุขภาพดินที่ทดลองปลูกกับต้นถั่วเหลือง โดยได้จำลองสภาพแวดล้อมออกเป็น 4 ประเภทคือ สภาพแวดล้อมที่หนึ่ง รดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี สภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่สามรดน้ำเพียงอย่างเดียว และสภาพแวดล้อมที่สี่ไม่รดน้ำและไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถเก็บและรายงานผลข้อมูลสุขภาพดินที่เป็นค่าข้อมูลดิบบนสมาร์ตโฟนได้เพียงอย่างเดียว อีกทั้งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์บางครั้งมีความคลาดเคลื่อนส่งผลให้ค่าที่ได้บางครั้งไม่ถูกต้อง จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการทำนายสุขภาพดินด้วยข้อมูลมัลติพีเจอร์ เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลสุขภาพที่ได้จากเซนเซอร์ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องและปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมการพยากรณ์ และการท่องเที่ยว เป็นต้น (Liu *et al.*, 2016; Phyto and Jeenanunta., 2019) ดังนั้นงานวิจัยนี้นำข้อมูลสุขภาพดินมาสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน ณ ปัจจุบัน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้เชิงลึก (Deep Neural Network : DNN) (Hamena and Meshoul., 2018) ทำให้สามารถปรับปรุงดินให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูกได้อย่างเหมาะสมทันทั่วทั้ง

## การทดลอง

### 1. อุปกรณ์การทดลอง

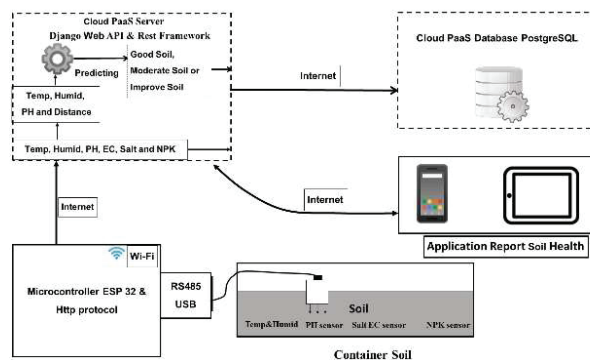


Figure 1 System architecture of the soil health

จาก Figure 1 สถาปัตยกรรมระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับเก็บและรายงานข้อมูลสุขภาพดินสามารถแบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบด้วยกันดังต่อไปนี้

องค์ประกอบที่หนึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เซนเซอร์ตรวจจับสุขภาพดิน (Soil Sensors) และ RS 485 สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างกัน มีหน้าที่ตรวจจับและส่งข้อมูลสุขภาพดิน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ไปยังเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้โปรโตคอลเอชทีทีพี (HTTP) ผ่านเครือข่ายไวไฟ (พินิตา พงษ์ไพบุลย์ และ คณะ, 2020) และก่อนนำเซนเซอร์ไปใช้งานได้ทำการสอบเทียบผลการวัดคุณภาพดินที่ได้จากเซนเซอร์กับกรมพัฒนาที่ดิน

องค์ประกอบที่สองคอมพิวเตอร์แม่ข่ายงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลาวด์แบบแพลตฟอร์มแอสอะเซอร์วิส (Platform as a Service : PaaS) (ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และ มณฑล นุ่นละอง, 2556) เพื่อใช้สำหรับการติดตั้งเว็บส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface : API) (ชูพันธุ์ รัตนโกคา และคณะ, 2565) ซึ่งถูกพัฒนาด้วยภาษาไพทอนจิงโกเว็บเฟรมเวิร์ค (Django Web Framework) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับและส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ฐานข้อมูล และโมบายแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการสกัดข้อมูลค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล (Distance) เพื่อนำข้อมูลไปใช้สำหรับทำนายข้อมูลสุขภาพดิน

องค์ประกอบที่สามฐานข้อมูล (Database) ที่ถูกติดตั้งไว้บนคลาวด์รูปแบบ PaaS เช่นเดียวกันทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลดิบและผลการทำนายสุขภาพดิน

องค์ประกอบที่สี่โมบายแอปพลิเคชันทำหน้าที่รายงานข้อมูลดิบและผลการทำนายสุขภาพดิน ณ ปัจจุบัน

## 2. การเก็บข้อมูล

งานวิจัยได้ออกแบบวิธีการเก็บตัวอย่างข้อมูลสุขภาพดิน ที่ปลูกถั่วเหลืองเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างโมเดลทำนายข้อมูลสุขภาพดิน ซึ่งข้อมูลที่เก็บประกอบด้วย ข้อมูลค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเค็ม ค่าไนโตรเจน ค่าฟอสฟอรัส และค่าโพแทสเซียม งานวิจัยได้เตรียมดินใช้สำหรับปลูกต้นถั่วเหลืองทั้งหมด 12 กระถาง โดยขนาดของกระถาง 17 นิ้วและแบ่งสภาพแวดล้อมการดูแลต้นถั่วเหลืองออกเป็น 4 สภาพแวดล้อมๆ ละ 3 กระถาง คือ สภาพแวดล้อมที่หนึ่งรดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี สภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่สามรดน้ำเพียงอย่างเดียว สภาพแวดล้อมที่สี่ไม่รดน้ำและไม่ใส่ปุ๋ย ทุกสภาพแวดล้อมจะเป็นสภาพแวดล้อมแบบเปิด ช่วงเดือนแรกของการปลูกต้นถั่วเหลืองทุกกระถางจะได้รับการดูแลเหมือนกันเพื่อให้ต้นถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันมากที่สุด จากนั้นเมื่อต้นถั่วเหลืองมีอายุครบ 1 เดือนได้ทำการปรับสภาพแวดล้อมของต้นถั่วเหลืองทั้งสี่สภาพแวดล้อมดังที่ได้กล่าวข้างต้น และนำระบบอินเทอร์ของสรรพสิ่งมาใช้เก็บข้อมูลสุขภาพดินวันละหนึ่งครั้งเป็นระยะเวลา 2 เดือนทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 475 เดต้าพอยต์ (ธวัชชัย พรหมรัตน์ และ ดุษฎี คำบุญเรือง, 2566)

## 3. การสกัดคุณลักษณะข้อมูลสุขภาพดิน

การสกัดคุณลักษณะข้อมูลงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลสุขภาพดินมาตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation)(Chanrashekar and Sahin, 2013) ดังสมการที่ (1) โดยพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 มาสกัดฟีเจอร์ด้วยการหาระยะห่างระหว่างข้อมูล (Euclidean Distance) (Sukreep *et al.*, 2015) ดังสมการที่ (2) เพื่อลดความ

ซ้ำซ้อนของข้อมูลในการนำข้อมูลไปจัดกลุ่มและการสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$r$  ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$x_i$  ค่าตัวแปร  $x$  ณ ชุดข้อมูลที่  $i$

$\bar{x}$  ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $x$

$y_i$  ค่าตัวแปร  $y$  ณ ชุดข้อมูลที่  $i$

$\bar{y}$  ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $y$

$$d = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta S)^2 + (\Delta N)^2 + (\Delta P)^2 + (\Delta K)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E = E_i - E_{i-1}$$

$$\Delta S = S_i - S_{i-1}$$

$$\Delta N = N_i - N_{i-1}$$

$$\Delta P = P_i - P_{i-1}$$

$$\Delta K = K_i - K_{i-1}$$

จากสมการที่ (2)  $d$  เป็นผลรวมของค่าหาระยะห่างของข้อมูล  $\Delta E$  เป็นค่าการนำไฟฟ้า  $\Delta S$  เป็นค่าความเค็ม  $\Delta N$  คือค่าไนโตรเจน  $\Delta P$  เป็นค่าฟอสฟอรัส และ  $\Delta K$  เป็นค่าโพแทสเซียม  $i$  เป็นค่าปัจจุบัน และ  $i-1$  ค่าก่อนหน้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในการจัดกลุ่มและการสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน 4 ฟีเจอร์ ประกอบด้วยค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าผลรวมระยะห่างระหว่างข้อมูล ดังตัวอย่างข้อมูลใน Table 1

**Table 1** Examples raw data of soil health

| Temp | Humidity | PH  | Distance |
|------|----------|-----|----------|
| 34.0 | 6.0      | 8.1 | 34       |
| 35.0 | 26.0     | 7.5 | 35       |
| 27.0 | 32.12    | 7.2 | 27       |

## 4. การจัดกลุ่ม

สำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) (วิทยา ปัญญา และคณะ, 2565) แบบไม่กำหนดคำตอบ (Unsupervised Learning) (Allenbrand, 2024) เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีความคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน อย่างไรก็ตามด้วยความหลากหลายของอัลกอริทึมการจัดกลุ่มจึงได้ศึกษาและเปรียบเทียบเพื่อได้อัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมในการจัดกลุ่มข้อมูล

พบว่าอัลกอริทึม K-means เป็นอัลกอริทึมที่มีการนำมาใช้สำหรับการจัดกลุ่มมากที่สุด (Ezugwu *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2024) รวมถึงมีความเหมาะสมกับข้อมูลสุขภาพดินที่ได้จากทั้ง 4 สภาพแวดล้อม และได้ใช้วิธีวิเคราะห์จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมจากจุดโค้งของกราฟ (Elbow Point) และให้อัลกอริทึม K-mean ระบุกลุ่มให้กับข้อมูลทั้ง 475 เดต้าพอยต์เพื่อนำข้อมูลไปใช้สำหรับสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน

## 5. การสร้างโมเดลการทำนายสุขภาพดิน

ในขั้นตอนการสร้างโมเดลสำหรับทำนายข้อมูลสุขภาพดิน หลังจากที่ได้มีการจัดกลุ่มข้อมูลและกำหนดคำตอบให้กับข้อมูลสุขภาพดินทั้ง 475 เดต้าพอยต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลสุขภาพดินมาสอนให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลด้วยอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเชิงลึก เพื่อสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดินที่ดีที่สุด และนำไปใช้สำหรับทำนายสุขภาพของดิน ณ ปัจจุบัน โดยได้ทำการทดลองสร้างโมเดลและกำหนดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ (Hanif *et al.*, 2023) ดัง Table 2

**Table 2** Hyperparameter for creating model

| Hidden Layer | Neural     | Activation Function | Optimizer | Loss Function                   | Epochs | Cross-validation      |
|--------------|------------|---------------------|-----------|---------------------------------|--------|-----------------------|
| 2            | 16, 24, 32 | Relu                | Adam      | sparse_categorical_crossentropy | 50     | StratifiedKFold 3,5,7 |
| 3            | 16, 24, 32 | Relu                | Adam      | sparse_categorical_crossentropy | 50     | StratifiedKFold 3,5,7 |
| 4            | 16, 24, 32 | Relu                | Adam      | sparse_categorical_crossentropy | 50     | StratifiedKFold 3,5,7 |

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 1. ระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง

หลังจากที่พัฒนาระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง ได้นำระบบมาทดลองเก็บและรายงานข้อมูลสุขภาพดินที่ใช้สำหรับการปลูกต้นถั่วเหลือง 12 กระถาง 4 สภาพแวดล้อมดัง Figure 2 และ Figure 3 ในส่วนของแอปพลิเคชันรายงานข้อมูลสุขภาพดินผ่านสมาร์ตโฟน ซึ่งได้ออกแบบหน้าจอตั้ง Figure 4 ภาพทางซ้ายเป็นหน้าจอหลักของแอปพลิเคชัน เมื่อกดปุ่มตรวจสอบสุขภาพดินด้านล่างจะแสดงรายงานค่าอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งเป็นของเมนู T&M ถูกกำหนดให้เป็นหน้าจอเริ่มต้น นอกจากนี้ยังมีเมนู PH จะรายงานค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน เมนู Salinity รายงานค่าความเค็มและค่าการนำไฟฟ้า และเมนูสูตรทำ NPK รายงานค่าแร่ธาตุหลักในดินคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถเก็บและรายงานข้อมูลสุขภาพดินได้ถูกต้อง

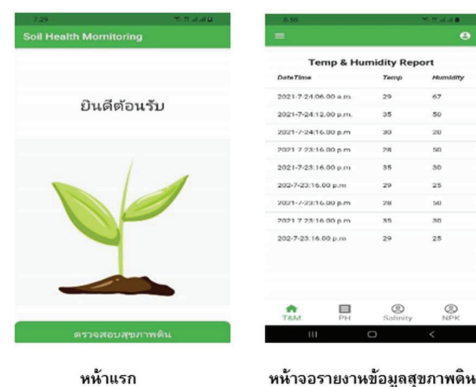


**Figure 2** Example soybean plants 12 pots  
(ที่มา: ธวัชชัย พรหมรัตน์ และ ดุษฎิ คำบุญเรือง, 2566)

ซึ่งมีความลึกของชั้นปกปิด (Hidden Layer) ที่ 2 ชั้น 3 ชั้น และ 4 ชั้น โดยมีการกำหนดจำนวนนิวรัลที่ 16 นิวรัล 24 นิวรัล และ 32 นิวรัล ของแต่ละชั้นปกปิดในส่วนของการกำหนดค่าสูตรที่ใช้สำหรับการปรับค่าน้ำหนักคือ อัดัม สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่ากำหนดค่าความผิดพลาดคือ sparse\_categorical\_crossentropy การกำหนดฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) คือเรคติไฟด์ไลน์เนี่ยยูนิต (Rectified Linear Units, ReLu) และชั้นเอาต์พุต Softmax ส่วนการกำหนดจำนวนรอบในการสอนข้อมูล 50 รอบ



**Figure 3** Collection of the soil health data for soybean  
(ที่มา: โยธิน เกตุเมฆ และ ธวัชชัย พรหมรัตน์, 2567)



**Figure 4** Screen of the mobile application



Figure 5 Characteristic soybean plant of each environment

จาก Figure 5 ลักษณะของต้นถั่วเหลืองแต่ละสภาพแวดล้อม ต้นถั่วเหลืองสภาพแวดล้อมที่หนึ่งรดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี และสภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีลักษณะการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันทั้งความสมบูรณ์ของลำต้นและใบ สภาพแวดล้อมที่สามรดน้ำเพียงอย่างเดียวจะมีลักษณะใบเหี่ยวเป็นบางใบและการเจริญเติบโตช้ากว่าสภาพแวดล้อมที่หนึ่งรดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี และสภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่สี่ไม่รดน้ำและไม่ใส่ปุ๋ย ต้นถั่วเหลืองลักษณะแตกต่างจากทั้ง 3 สภาพแวดล้อมก่อนหน้านี้อย่างชัดเจนกล่าวคือเมื่อเวลาผ่านไปต้นถั่วเหลืองจะค่อยๆ เหี่ยวและยืนต้นตาย

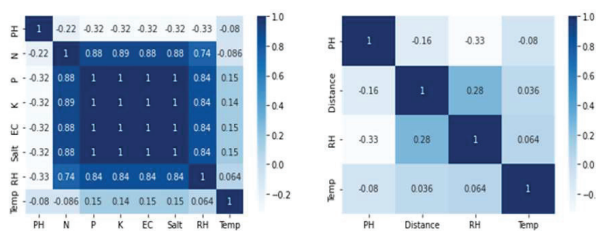


Figure 6 Value of the Correlation coefficient

## 2. การสกัดคุณลักษณะข้อมูลสุขภาพดิน

จาก Figure 6 ทางด้านซ้ายแสดงให้เห็นว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ก่อนการสกัดคุณลักษณะของข้อมูล มีค่าเท่ากับ 1 อยู่ 5 ค่าคือ ค่าการนำไฟฟ้า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และความเค็ม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาทั้ง 475 เดต้าพอยต์แล้ว ข้อมูลที่ได้ไม่มีฟีเจอร์ใดที่มีความโดดเด่นหรือสามารถระบุความแตกต่างของข้อมูลได้ชัดเจน ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 มาหาการกระจายระหว่างข้อมูลทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.5 ทุกค่าดัง Figure 6 ขวา

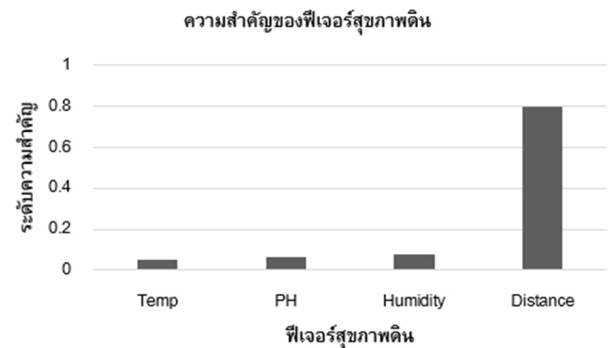


Figure 7 Comparison feature importance of soil health

หลังจากที่ได้การกระจายระหว่างข้อมูลแล้วได้นำข้อมูลทั้ง 475 เดต้าพอยต์มาตรวจหาค่าความสำคัญของฟีเจอร์ (Feature importance) โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องด้วยอัลกอริทึม Extra Trees Classifier ทำให้ได้ค่าความสำคัญของฟีเจอร์ ดัง Figure 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายของข้อมูลมีความสำคัญสูงที่สุดในการทำนายสุขภาพดิน คือ มีค่าอยู่ที่ 0.8 ในขณะที่ค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความชื้นนั้นมีค่าน้อยกว่าโดยมีค่าดังนี้ 0.05 0.06 และ 0.07 ตามลำดับ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการกระจายระหว่างข้อมูลมีความสำคัญต่อการนำข้อมูลสุขภาพดินไปใช้สำหรับการจัดกลุ่มและสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน

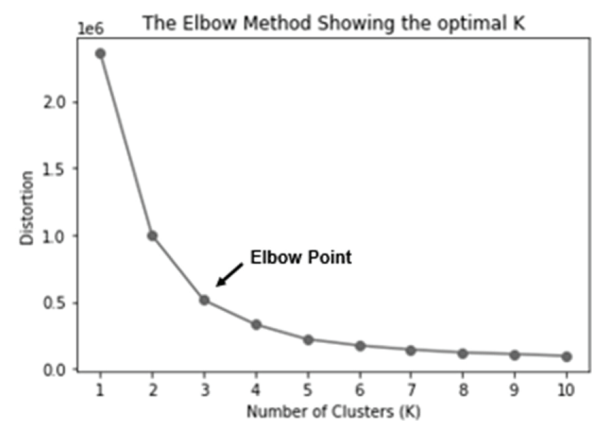


Figure 8 Elbow analysis for optimal k

## 3. การจัดกลุ่ม

สำหรับการจัดกลุ่มงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดจากทั้งหมด 10 กลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-means จากกราฟ Figure 8 แสดงให้เห็นว่าจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมกับข้อมูลสุขภาพดินคือ 3 กลุ่ม (ธวัชชัย พรหมรัตน์ และ ดุชนฎี คำบุญเรือง, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ระบุชื่อกลุ่มของสุขภาพดินที่ได้ทั้ง 3 กลุ่มคือสุขภาพดินเหมาะสม ปานกลาง และต้องปรับปรุง และทำให้สามารถทราบจำนวนข้อมูลสุขภาพดินของแต่ละกลุ่มดังตัวอย่างการกระจายการกระจายระหว่าง

ข้อมูลของแต่ละเต้าพอยต์ดัง Figure 9 ซึ่งจากการจัดกลุ่มทำให้ได้ข้อมูลกลุ่มของสุขภาพที่ดินที่ต้องปรับปรุง 357 เต้าพอยต์ มีค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล 0 - 63 สุขภาพดินปานกลาง 105 เต้าพอยต์มีค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล 62 - 215 และพบว่าสุขภาพดินเหมาะสม 13 เต้าพอยต์มีค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล 237 - 571

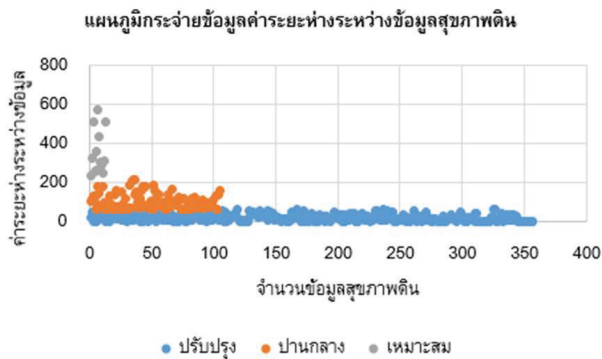


Figure 9 Distribution of the individual distance value all data points

Table 3 Result of confusion matrix from training data set using DNN

| Soil health | Precision (%) | Recall (%) | F1-Score (%) | Accuracy (%) |
|-------------|---------------|------------|--------------|--------------|
| improve     | 97            | 100        | 99           | 98           |
| medium      | 100           | 100        | 100          |              |
| good        | 100           | 90         | 95           |              |

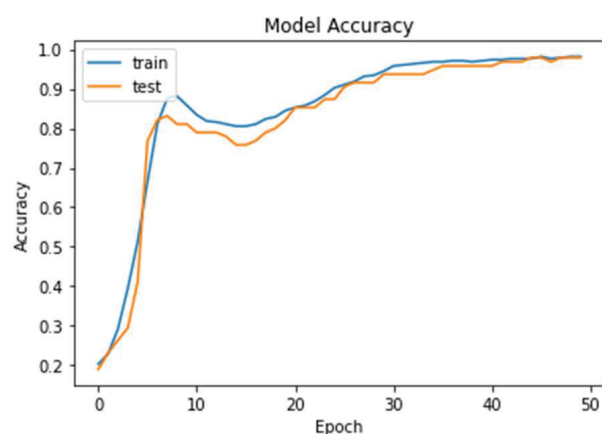


Figure 10 Interpretation of accuracy using DNN

กราฟสำหรับเปรียบเทียบความถูกต้องการเลิร์นและทดสอบข้อมูลสุขภาพดินจากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าสีน้ำเงินเส้นโค้งของการเลิร์นและสีส้มเส้นโค้งการทดสอบนั้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมสามารถเลิร์นข้อมูลได้ดีซึ่งที่กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของโมเดลจาก Figure 11 มีโอเวอร์ฟิตติงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเส้นโค้งสีน้ำเงินอยู่ต่ำกว่าเส้นสีส้ม อย่างไรก็ตามหากมีการนำระบบไปใช้กับการเกษตรที่เป็นแบบฟาร์ม จะทำให้มีจำนวน

#### 4. โมเดลทำนายข้อมูลสุขภาพดิน

สำหรับการสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดินของต้นถั่วเหลือง ได้ทำการทดลองตามแผนการทดลองจาก Table 1 ทำให้ได้โมเดลที่มีถูกต้องมากที่สุด 98 เปอร์เซนต์ดังแสดงใน Table 3 และพบว่าการกำหนดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ความลึกของชั้นปกปิดจำนวน 3 ชั้นและจำนวนนิวรัลเน็ตเวิร์ค 32 นิวรัล ในส่วนของการแบ่งข้อมูลสำหรับสอนและทดสอบข้อมูลสุขภาพดินแบบ StratifiedKfold เพื่อลดการเกิดโอเวอร์ฟิตติงที่เกิดจากจำนวนข้อมูลแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จากการทดลองพบว่าจำนวน k เท่ากับ 5

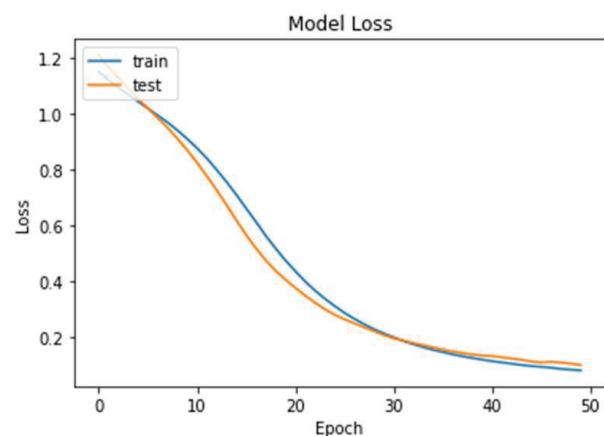


Figure 11 Interpretation of loss value using DNN

ข้อมูลสุขภาพดินเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและสามารถนำไปปรับปรุงโมเดล ทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้นรวมถึงสามารถลดค่าโอเวอร์ฟิตติงได้

#### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดิน ณ ปัจจุบัน โดยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง คลาวด์ และ แอปพลิเคชัน

บนสมาร์ตโฟน ได้นำพัฒนาระบบอินเทอร์เนตของสรรพสิ่งเพื่อเก็บข้อมูลสุขภาพดินจากทั้ง 4 สภาพแวดล้อมเป็นระยะเวลา 2 เดือนทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 475 เดต้าพอยต์ จากสภาพแวดล้อมทั้ง 4 ดังนี้ สภาพแวดล้อมที่หนึ่งรดน้ำและใส่ปุ๋ยเคมี สภาพแวดล้อมที่สองรดน้ำและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่สามรดน้ำเพียงอย่างเดียว สภาพแวดล้อมที่สี่ไม่รดน้ำและไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งค่าสุขภาพดินที่เก็บคือ ค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความชื้น (Humid) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และค่าธาตุอาหารหลักในดิน (NPK) ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) นอกจากนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อรายงานสุขภาพดินค่าต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถรับรู้สุขภาพดิน ณ ปัจจุบัน ซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากเซอร์ แต่ข้อมูลอาจมีความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากเซนเซอร์ จึงนำไปสู่การทำนายสุขภาพดินของต้นถั่วเหลือง โดยได้ทดลองสกัดคุณลักษณะข้อมูลโดยใช้ระยะทางแบบยุคลิดเพื่อหาพีเจอรที่มีความสำคัญกับการทำนายสุขภาพดินของต้นถั่วเหลืองทำให้พบว่า พีเจอรค่าระยะห่างของข้อมูลมีความสำคัญมากที่สุดรองลงมาคือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความชื้น ตามลำดับ จากนั้นได้นำข้อมูลทั้ง 4 ค่ามาจัดกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึม k-means ทำให้ได้จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 กลุ่ม คือสุขภาพดิน เหมาะสม ปานกลาง และปรับปรุง และกำหนดเลเบลให้กับข้อมูลแต่ละเดต้าพอยต์เพื่อนำข้อมูลมาสร้างโมเดลทำนายสุขภาพดินโดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกจากการทดลองสร้างโมเดลตามค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์จาก Table 2 ทำให้ได้ผลความถูกต้อง 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับทำนายสุขภาพดินและหากสุขภาพดิน และหากพบว่าสภาพดิน ณ ปัจจุบัน เป็นดินที่ไม่เหมาะสมกับพืชที่ปลูกจะทำให้สามารถปรับสภาพหรือบำรุงดินให้กับพืชได้อย่างทันทั่วทั้ง

### ข้อเสนอแนะ

นอกจากข้อมูลสุขภาพดินที่เป็นปัจจัยสำคัญแล้วยังมีสภาพสภาพอากาศที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช หากจะให้พืชเจริญเติบโตได้เต็มที่ควรคำนึงถึงสภาพอากาศด้วย ในส่วนของการนำระบบไปใช้งานจริงในสมาร์ตฟาร์มที่มีขนาดใหญ่ จะต้องปรับสเกลของระบบให้มีความเหมาะสมกับขนาดของฟาร์ม นอกจากนี้ในอนาคตหากมีการนำระบบไปใช้กับฟาร์มและมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มมากขึ้นจะสามารถข้อมูลมาปรับปรุงให้โมเดลมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุฯ. (2561). ระบบสังเกตการณ์ด้วยเสียงบนเทคโนโลยีสรรพสิ่งเพื่อประยุกต์ควบคุมมอเตอร์ในงานด้านเกษตรกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ชนิดา ยุกตไสย์, วิสวะ กุลนะ, & คมกฤษณ์ ชูเรือง. (2022). ระบบการวัดและบันทึกค่า pH ของดิน โดยใช้ Internet of Things (IoT). วารสารวิจัย และพัฒนานวัตกรรมภาคลุ่มน้ำโขง, 1(1), 1-7.
- รัชชัย พรหมรัตน์ และ ดุษฎี คำบุญเรือง. (2566). การจัดกลุ่มข้อมูลคุณภาพดินที่ได้จากการปลูกต้นถั่วเหลืองโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ "ราชภัฏกรุงเก่า" ครั้งที่ 6 (2023 6<sup>th</sup> EEAAT & ARU CON.) ภาคบรรยาย (Oral Presentation) วันที่ 21 - 22 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 751-758. <https://www.aru.ac.th/arucon/2023/EEAAT-ARUCON2023Oral-ProceedingsV1.pdf>
- ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และ มณฑล นุ่นละออง. (2013). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ของผู้ที่งานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ. *Rajabhat Chiang Mai Research Journal*, 14(2), 47-60.
- ภาณุ เดชทิพย์อักษร, อรรถพล วิเวก, & อนุพงศ์ ไพโรจน์. (2022). การประยุกต์ใช้งานแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับอินเทอร์เนตของ สรรพสิ่งบนคลาวด์ในอาคารอัจฉริยะ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 7(1), 52-61.
- โยธิน เกตุเมฆ และ รัชชัย พรหมรัตน์. (2567). การตรวจสอบและรายงานคุณภาพดินของพืชโดยใช้อินเทอร์เนตของสรรพสิ่ง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ภูมิภาคเอเชียครั้งที่ 12 (Oral Conference Proceeding) วันที่ 21-23 กุมภาพันธ์ 2567 ณ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 400-408.
- วิทยา ปัญญา และวณัช รมสายหยุด. (2023). วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมการผลิต เงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาลจากชุดข้อมูลที่ไม่ สมดุลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 42(2), 7-17.
- สุภาวดี หนูสิน. (2021). ผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมี ทางภาคเกษตร. วารสารบริหารการพัฒนา นวัตกรรมเชิงบูรณาการ, 1(2), 34 - 43.

- Allenbrand, C. (2024). Supervised and unsupervised learning models for pharmaceutical drug rating and classification using consumer generated reviews. *Healthcare Analytics*, 5, 100288.
- Chandrashekar, G., & Sahin, F. (2014). A survey on feature selection methods. *Computers & Electrical Engineering*, 40(1), 16-28.
- Ezugwu, A. E., Ikotun, A. M., Oyelade, O. O., Abualigah, L., Agushaka, J. O., Eke, C. I., & Akinyelu, A. A. (2022). A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-the-art machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 110, 104743.
- Hamena, S., & Meshoul, S. (2018, October). Deep neural network for classification and prediction of oxygen binding proteins. *Proceedings of the 2018 2<sup>nd</sup> International Conference on Computational Biology and Bioinformatics*, 72-77.
- Hanifi, S., Cammarono, A., & Zare-Behtash, H. (2024). Advanced hyperparameter optimization of deep learning models for wind power prediction. *Renewable Energy*, 221, 119700.
- Li, J., Ma, R., Deng, M., Cao, X., Wang, X., & Wang, X. (2024). A comparative study of clustering algorithms for intermittent heating demand considering time series. *Applied Energy*, 353, 122046.
- Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., & Alsaadi, F. E. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, 234, 11-26.
- Phyo, P. P., & Jeenanunta, C. (2019). Electricity load forecasting using a deep neural network. *Engineering and Applied Science Research*, 46(1), 10-17.
- Pongpaibool, P., Niruntasukrat, A., & Meesublak, K. (2020). แพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ฐานรากสำคัญสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม ดิจิทัล. *NBTC Journal*, 4(4), 269-287.
- Rattanapoka, C., Jannet, P., & Moonpanyo, T. (2022). ระบบบริการการจำแนกเพศและประเมินอายุ บุคคลจากภาพใบหน้าด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก. *The Journal of Industrial Technology*, 18(2), 164-179. <https://ojs.kmutnb.ac.th/index.php/jointtech/article/view/5820>
- Sukreep, S., Mongkolnam, P., & Nukoolkit, C. (2015). Detect the daily activities and in-house locations using smartphone. In *Recent Advances in Information and Communication Technology 2015. Proceedings of the 11th International Conference on Computing and Information Technology (IC2IT)*. Springer International Publishing, 215-225. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19024-2\\_22](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19024-2_22).
- Wang, J., Chang, L., Aggarwal, S., Abari, O., & Keshav, S. (2020, June). Soil moisture sensing with commodity RFID systems. In *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile Systems, applications, and Services*, 273-285. <https://web.cs.ucla.edu/~omid/Papers/Mobisys20.pdf>.

# การออกแบบและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสำหรับสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ภาคใต้ของประเทศไทย

## Design and development of automatic hatching machine for the bantam breed, Ban Wang Nak area in Nakhon Si Thammarat province, Southern Thailand

รวิต คำหาญพล<sup>1</sup>, ศักดิ์พี ขุนเพ็ชร<sup>2</sup>, วิชิต มาลาเวช<sup>3</sup>, ชัญญภาภัก ไชยพรรณ<sup>4</sup> และ กรีธา แก้วคงธรรม<sup>5</sup>  
Rawit Khamhanpol<sup>1</sup>, Sakrapee Khunpetch<sup>2</sup>, Vichit Malaweche<sup>3</sup>,  
Chanyaphak Chaiyaphan<sup>4</sup> and Kreetha Keawkongtham<sup>5</sup>

Received: 16 November 2023 ; Revised: 12 February 2024 ; Accepted: 25 March 2024

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกแบบเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสำหรับสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการฟักไข่ไก่แจ้แบบกลับไข่อัตโนมัติ เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดของไก่ในการฟักไข่ไก่แจ้บ้านวังนาคในระยะเวลา 21 วัน โดยใช้การประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และพัฒนาซอฟต์แวร์การควบคุมบนโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซี่ลอจิกในการตัดสินใจการควบคุม ซึ่งกฎที่ทำการออกแบบทั้งหมด 9 กฎ การสื่อสารกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตทำการพัฒนา Graphic User Interface (GUI) เพื่อแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการฟักไข่ไก่แบบเรียลไทม์สำหรับผู้ใช้งานสามารถสังเกตการได้อย่างสะดวก โดยเครื่องฟักไข่อัตโนมัติมีขนาด 30x40x120 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) จากผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16%ตามลำดับ และเมื่อนำไปฟักไข่ไก่แจ้ของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคเพื่อวิเคราะห์อัตราการตายและอัตราการฟักของไข่ไก่แจ้พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไข่มีชีวิตที่ 7 วัน เท่ากับ 96.67% เปอร์เซ็นต์ไข่ไม่มีชีวิตที่ 7 วัน เท่ากับ 3.33% เปอร์เซ็นต์ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน และ 18 วัน เท่ากับ 1.11% และ 3.45% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไข่ตายโคมค่อนข้างน้อย เท่ากับ 1.11% เปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่มีชีวิต 95.44% และเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่เข้าฟักทั้งหมด 92.22% โดยภาพรวมจากผลการทดลองการทำงานของเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนสำหรับการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคและเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่แจ้ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น

**คำสำคัญ:** เครื่องฟักไข่ไก่, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, ฟัซซี่ลอจิก

### Abstract

This research aimed to: 1) design and develop an automatic incubator for Ban Wang Nak bantam chickens in Karor, Nopphitam, Nakhon Si Thammarat, to control temperature and relative humidity with an automatic egg-turning mechanism, and 2) improve the hatch rate of bantam eggs within 21 days. The system processes data using an Arduino UNO microcontroller and employs fuzzy logic theory for decision-making. Nine control rules were established, and a Graphic User Interface (GUI) was developed using LabVIEW to display real-time temperature and humidity data for user monitoring. The incubator dimensions are 30x40x120 centimeters (width x length x height). Experimental results for temperature and relative humidity control showed averages of 36.86°C and 65.16%, respectively. The in-

<sup>1,2,3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>4</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>1,2,3</sup> Electrical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>4</sup> Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>5</sup> Mechanical engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

\* Corresponding author: Email: Sakrapee\_khu@nstru.ac.th

cubator was tested with bantam eggs to analyze the fertilization rate, hatch rate, and embryo mortality. The findings indicated that the fertilized egg rate at 7 days was 96.67%, while the unfertilized egg rate was 3.33%. Embryo mortality rates at 7 days and 18 days were 1.11% and 3.45%, respectively. Late embryo mortality was minimal, at 1.11%. The hatching rate for fertilized eggs was 95.44%, with an overall hatch rate of 92.22%. In conclusion, the developed automatic incubator effectively met the needs of the Ban Wang Nak community by enhancing the breeding efficiency of bantam chickens. It increased the survival rate of chicks to meet market demand while supporting more frequent incubation cycles.

**Keywords:** Hatching machine, Relative humidity, Temperature, Fuzzy logic

## บทนำ

ไก่พื้นเมือง (นฤมล, 2018) เป็นสัตว์ที่ออกลูกเป็นไข่ จากไข่จะฟักออกเป็นตัวในภายหลัง โดยที่แม่ไก่จะสะสมอาหารเพื่อเลี้ยงตัวอ่อนภายในฟองไข่ ตามธรรมชาติแม่ไก่จะฟักไข่เอง แต่เนื่องจากความต้องการอาหารของมนุษย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การที่จะปล่อยให้แม่ไก่ได้ทำการฟักไข่เองตามธรรมชาตินั้นไม่อาจจะสนองตอบต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นได้ จึงมีความพยายามคิดค้นหาวิธีการเพิ่มอัตราการขยายพันธุ์ไก่พื้นเมืองให้สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว จึงได้ทำการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องฟักไข่ขึ้น โดยที่เครื่องฟักไข่จะดำเนินการฟักไข่แทนแม่ไก่ตลอดเวลา ทำให้แม่ไก่ทำหน้าที่เฉพาะการออกไข่ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ผู้เลี้ยงไก่พื้นเมือง สามารถนำไปใช้ในการผลิตไก่พื้นเมืองได้ อย่างไรก็ตามการฟักไข่ของแม่ไก่ก็ยังจำเป็นสำหรับเกษตรกร ซึ่งมีเวลาเอาใจใส่ต่อไก่พื้นเมืองน้อย มีทุนน้อย และยังไม่สามารถที่จะซื้อหรือผลิตเครื่องฟักไข่มาใช้ได้ แต่ไม่ว่าจะฟักไข่ด้วยวิธีใดต้องมีความรู้ในการจัดการจึงจะช่วยให้ได้รับผลตอบแทนที่สูงตามความคาดหวัง

วิธีการฟักไข่ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การฟักไข่ด้วยแม่ไก่ และการฟักไข่ด้วยตู้หรือเครื่องฟักไข่ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการฟักไข่แบบใด ปัจจัยหลักที่จะทำให้การฟักไข่มีอัตราการรอดสูง จะประกอบด้วย

1. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการฟักไข่ อุณหภูมิฟักที่เหมาะสมมีความแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในตัวสัตว์นั้น ขนาดไข่ ความพรุนของเปลือกไข่ และระยะเวลาในการฟักไข่ อุณหภูมิฟักไข่ไก่แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ 18 วันแรกจะใช้อุณหภูมิประมาณ 37.5 - 37.7 องศาเซลเซียส และในระยะ 3 วันหลังใช้อุณหภูมิประมาณ 37.2 - 37.5 (Asma Luemasueni, 2017)

2. ความชื้น (Humidity) ในระหว่างการเจริญของตัวอ่อนจำเป็นต้องได้รับความชื้นที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการต่างๆ ดำเนินไปได้ตามปกติ ไข่ฟักจะสูญเสียความชื้นตลอดเวลาในระหว่างการฟัก โดยอัตราการสูญเสีย

ความชื้นจะอยู่ระหว่าง 11-13% การสูญเสียความชื้นจะเกิดมากในช่วงระยะแรกและจะลดลงเรื่อยๆ แล้วจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงท้ายของการฟัก โดยทั่วไปในช่วง 19 วันแรกของการฟัก ไข่ฟักต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60% แต่ในช่วง 3 วันสุดท้ายของการฟัก ไข่ฟักจะต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-75% (Gayathri et al., 2021)

3. อากาศและการถ่ายเทอากาศในการฟัก (Ventilation) ปริมาณอากาศและอัตราการไหลเวียนของอากาศในตู้ฟักจะต้องเหมาะสม ปริมาณของอากาศที่แลกเปลี่ยนในตู้ฟักนั้นถูกควบคุมโดยตำแหน่งและขนาดของรูระบายอากาศในตู้ฟัก ซึ่งสามารถปรับขนาดได้ตามความต้องการ ความต้องการอากาศจะมากขึ้นในช่วงท้ายๆ ของการฟัก โดยในระยะแรกของการฟักการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นน้อยแต่การแลกเปลี่ยนจะมากขึ้นเมื่อลูกไก่มีการเจริญมากขึ้น ดังนั้นในตู้ฟักไข่จึงควรมีระบบระบายอากาศที่สามารถระบายอากาศได้อย่างเพียงพอ จึงจะทำให้การฟักไข่ได้ผลดี

ไก่แจ้ (ณปภัช ช่วยชูหนู และคณะ, 2020) เป็นไก่พื้นเมืองอีกสายพันธุ์หนึ่ง จัดอยู่ในประเภทสัตว์สวยงาม อยู่คู่สังคมไทยมาเป็นเวลานาน วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงเพื่อความสวยงาม และสร้างความเพลิดเพลินให้กับผู้เลี้ยง ซึ่งเดิมทีจะเป็นไก่ป่าที่ขี้อร่อย มีความปราดเปรียว เข้าใกล้ไม่ได้ แต่เพราะมีขนสวยงาม ลักษณะที่น่ารัก และการเลี้ยงไม่ยุ่งยาก ทำให้เกิดการพัฒนสายพันธุ์ให้สามารถอยู่ร่วมกับผู้เลี้ยงได้จับต้องได้และอุ้มได้ โดยมีการพัฒนาต่อเนื่องมาไม่ต่ำกว่า 30 ปี จนสามารถพัฒนาไก่แจ้ไทยได้ถึง 12 สี และพัฒนาไก่แจ้สวยงามสีสากล 14 สี โดยบ้านวังนาค หมู่ที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอเทพา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะพันธุ์เลี้ยงไก่แจ้สวยงาม และสามารถคัดเลือกสายพันธุ์จนได้สายพันธุ์ที่โดดเด่น สีสนสวยงาม มีองค์ประกอบของไก่แจ้ตรงกับความต้องการของกลุ่มคนที่รักในการเลี้ยงและตลาดของไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคมีการเพาะเลี้ยงและพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค โดยการผสมพันธุ์ไก่ตามความรู้สึกลักษณะสีและสายพันธุ์ที่โดดเด่น เป็นระยะเวลากว่า 1 ปี จนได้สายพันธุ์ที่มีความโดดเด่นของสีขาวหางดำ คือ

มีรูปร่างเล็ก มีเครื่องหางคดดำสวยงาม น้ำหนักตรงตามมาตรฐานสากล โดยไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคมีการพัฒนาสายพันธุ์จำแนกตาม สีด้วยกัน 5 สี ประกอบด้วย ไก่แจ้ขาวหางดำ ไก่แจ้ทองหางดำ ไก่แจ้สีปากเหลือง ไก่แจ้สีเบญจรงค์ และไก่แจ้เทาเปอร์เซียสีปาก ซึ่งเป็นจุดเด่นของบ้านวังนาค แต่เนื่องจากประเด็นปัญหาของการฟักไข่เองตามธรรมชาตินั้น ไม่อาจจะสนองตอบต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นได้ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการฟักสู่ความต้องการของตลาด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่แจ้ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น และเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อสร้างรายได้ให้สูงขึ้นและมีความมั่นคงและยั่งยืนสืบไป

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lumchanao and Potprarinaya (2018) ออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่สำหรับการตรวจหาตัวอ่อนในไข่ไก่โดยใช้เทคนิคการประมวลผล ภาพดิจิทัล และเพื่อหาประสิทธิภาพการฟักไข่จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดเซนเซอร์วัด อุณหภูมิและความชื้นระบบควบคุมการกลับไข่โดยใช้มอเตอร์เกียร์และชุดกล้องจับภาพนิ่ง พบว่าระบบสามารถปรับค่าอุณหภูมิด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 34-37.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ในช่วง 65-69 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองหาประสิทธิภาพการฟักไข่จำนวน 48 ฟอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยไข่ที่อุดมสมบูรณ์ 45 ฟอง ไข่ที่ไม่อุดมสมบูรณ์ 3 ฟอง ไข่ที่มีรอยแตกร้าว 0 ฟอง ไข่เน่าเสีย 0 ฟอง และอัตราการฟัก 93.75 เปอร์เซ็นต์

Tolentino *et al.*, (2019) พัฒนาระบบฟักไข่สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่เชื่อมต่อและเข้ารหัสโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ผู้ใช้สามารถมีข้อมูลเรียลไทม์ของสถานะวันต่อวันของฟารามิเตอร์ของตู้ฟักไข่ ความเร็วของโปรแกรมการจุดแสงเทียนอัตโนมัติคือ 1.129 วินาที ในขณะที่ประสิทธิภาพของตู้บ่งชี้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมไว้ที่ 36° องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นระหว่าง 40% ถึง 60% และระดับที่เหมาะสมคือ 50% สุดท้าย เปอร์เซ็นต์อัตราการฟักไข่ของการฟักไข่โดยใช้ระบบที่เสนอคือ 69.44% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการตรวจหาไข่ที่อุดมสมบูรณ์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพคือ 91.43%

I. Sangole and P. Ardak (2021) กระบวนการฟักไข่ของไข่ทุกชนิดต้องการการดูแลและการจัดการอุณหภูมิที่

เหมาะสม ทำได้โดยหน่วยควบคุมอุณหภูมิซึ่งทำงานบนพลังงานแสงอาทิตย์ไฟฟ้าหรือ LPG เป็นต้น โดยปกติอุณหภูมิ 98 ถึง 100 °F (37 ถึง 38 °C) จะถูกเก็บไว้ในตู้ฟักไข่ ยังคงความสามารถในการฟักไข่ได้ระหว่าง 78 ถึง 85% เท่านั้น มีข้อเสนอแนะหลายประการเพื่อปรับปรุงความสามารถในการฟักไข่ของตู้ฟักไข่ ปริมาณความชื้นยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องกล่าวถึงระหว่าง 60 ถึง 80% นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการที่ต้องทำความเข้าใจขณะฟักไข่ในตู้ฟักไข่ แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือการรักษาช่วงอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

Natasa Popovic (2021) ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจสอบระยะไกลและควบคุมอุณหภูมิในการฟักไข่ไก่โดยใช้ตู้ฟักไข่เทียม ระบบประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ในรูปแบบของหลอดไฟ เซ็นเซอร์อุณหภูมิ รีเลย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูลการสื่อสาร สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุม PID (proportional-integral-derivative) ได้รับการออกแบบซึ่งรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 37.8 °C สามารถอ่านอุณหภูมิได้ทางเว็บเบราว์เซอร์และสามารถเข้าถึงได้โดยใช้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบมีสาย ระบบที่เสนอเป็นวิธีแก้ปัญหาที่เรียบง่าย ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพมาก ซึ่งให้เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาไก่อย่างเหมาะสมในขณะที่เติบโตภายในไข่

Yadav *et al.*, (2021) นำเสนอการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่แบบใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยใช้การวางไข่ในแนวนอน การวิจัยเชิงทดลองนี้ขับเคลื่อนโดยการออกแบบเฉพาะและสร้างกล่องฟักไข่ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีฉนวนหุ้มอย่างดี ขนาด 400 มม. × 600 มม. × 500 มม. และความหนา 30 มม. โดยเก็บไข่ตัวอย่างไว้เพื่อวิเคราะห์การทดสอบทดลองภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นภายในกล่องซึ่งถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ อุปกรณ์นี้ผลิตขึ้นเพื่อให้ทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิ 37 °C - 38 °C ซึ่งพบว่าเพียงพอสำหรับการพัฒนาตัวอ่อนและยังรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 45-60% ใน 18 วันแรกและ 60-90% ในช่วงสามวันสุดท้าย โดยเครื่องนี้ถูกปรับในแนวนอนและใช้กลไกการยึดด้วยมอเตอร์ 5 ครั้งต่อวัน ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยอัตโนมัติสำหรับการเคลื่อนที่ของไข่จนถึง 18 วันของการฟักไข่ โดยสรุป เครื่องฟักไข่นี้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการฟักที่ 72.22%

Poolwan *et al.*, (2021) การพัฒนาระบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง งานวิจัยนี้ได้สร้างตู้ฟักไข่ต้นแบบมีขนาดของตู้ (กว้าง×ยาว×สูง) 50×50×60 เซนติเมตร รองรับการฟักไข่ได้ 56 ฟอง และการประเมินประสิทธิภาพการประมวลผลของเครื่องต้นแบบ เพื่อสามารถประมวลผล ได้อย่างถูกต้องตามสภาพอากาศที่ได้กำหนด และสามารถทำงานในช่วงระยะเวลาอันได้โดยไม่เกิดการผิดพลาด และในส่วนการทำงานบน

สมาร์ตโฟนสามารถอ่านค่าเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของตู้ฟักไข่ได้อย่างถูกต้อง

Purwanti *et al.*, (2021) ระบบการทำงานคือเซนเซอร์ DHT11 จะตรวจจับอุณหภูมิ กล้องเว็บแคมแบบเรียลไทม์จะตรวจสอบสถานะของไข่ จากนั้น Raspberry pi3 จะควบคุมอุณหภูมิและพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติบนตู้ฟักไข่ผ่านจอสมาร์ตโฟน และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ด้วยสถานะของไข่แบบเรียลไทม์ แบตเตอรี่ 12V เป็นพลังงานทดแทนเมื่อไฟฟ้าดับ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า กล้องเว็บแคมสามารถแสดงสภาพของไข่ในห้องฟักไข่ได้ สมาร์ตโฟน Android สามารถรับข้อมูลด้วยกล้องเว็บแคมระหว่างกระบวนการฟักไข่ เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่สรุปได้

Ikpeseni *et al.*, (2022) ในการศึกษาครั้งนี้ เครื่องฟักไข่สัตว์ปีกที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบประดิษฐ์และทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความสามารถในการฟักไข่ และการอยู่รอดของลูกไก่ องค์ประกอบหลักของการออกแบบ ได้แก่ ตู้ฟักไข่ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอัตโนมัติ และระบบโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดัง Figure 8 โดยทั่วไปห้องฟักไข่จะได้รับการดูแลตลอดระยะฟักตัวที่อุณหภูมิ 36-39 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 60-74% สิ่งนี้จำเป็นเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียไข่ในไข่มากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ตัวอ่อนขาดน้ำและตายในไข่ได้ในภายหลัง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 37.5 °C และ 67% ตามลำดับ สิ่งเหล่านี้เปรียบได้กับสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของตู้ฟักไข่ไก่ทั่วไป นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพที่ดำเนินการในตู้ฟักไข่ที่ประดิษฐ์พบว่าสามารถฟักไข่และอัตราการรอดชีวิตของลูกไก่ที่ 77% และ 79.2% ตามลำดับ นอกจากนี้ ตู้ฟักไข่ที่ออกแบบมีข้อดีของการพลิกไข่อัตโนมัติสำหรับการสร้างตัวอ่อนที่เหมาะสม เช่นเดียวกับการพลิกไข่ที่ควบคุมด้วยมือด้วยค้อนโยก

## ขั้นตอนและวิธีวิจัย

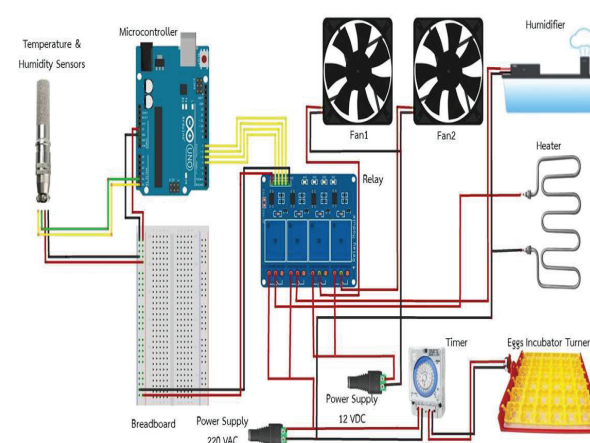
### 1. การออกแบบระบบควบคุมเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ

การพัฒนาออกแบบระบบควบคุมเครื่องฟักไข่ด้วยโปรแกรม LabVIEW และสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา และได้ข้อสรุปในการออกแบบพัฒนานวัตกรรมสร้างเครื่องควบคุมการฟักไข่ไก่ที่บ้านวังนาคแบบอัตโนมัติรายละเอียดแสดงดัง Table 1

**Table 1** Design of an automatic Ban Wang Nak chicken egg incubator control system.

| Sensitivity Factor       | Values     |
|--------------------------|------------|
| Temperature              | 37-38 °C   |
| Humidity                 | 60-80%     |
| Egg Turner               | 45°        |
| Egg Turner Duration Time | 6 Time/day |

จากการศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการฟักไข่อัตโนมัติ โดยผู้วิจัยใช้วิธีการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น และการกลับไข่ โดยการออกแบบเครื่องมือได้มีการแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ การทำงานภายในตู้ฟักไข่ และส่วนการควบคุมและแสดงค่าสถานะของตู้ฟักไข่ ในส่วนการทำงานภายในตู้ฟักไข่ โดยในทั้ง 2 ส่วนนั้นจะมีการสื่อสารผ่านการบันทึกข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม LabVIEW ในส่วนการประมวลผลใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เป็นส่วนในการอ่านค่าจากเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของเครื่องให้ความร้อนและความชื้น ภายในตู้ฟักไข่ และสามารถรับส่งข้อมูลสำหรับบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ ในส่วนในการอ่านค่าสภาพอากาศภายในตู้ฟักไข่ใช้เซนเซอร์ SHT20 ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ โดยการต่ออุปกรณ์เข้ากับขา (pin) ของบอร์ด Arduino UNO และในส่วนอุปกรณ์เอาต์พุต จะมีการปรับอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่จะใช้เครื่องให้ความร้อนปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับขนาดของตู้ ในส่วนการให้ความชื้นด้วยเครื่องทำความชื้น และส่วนการปรับมุมการวางไข่ด้วยถาดกลับไข่ 45° จำนวน 6 ครั้งต่อวันหรือทุกๆ 4 ชั่วโมง แสดงรายละเอียดใน Figure 1



**Figure 1** Diagram of wiring equipment control for automatic hatching machine for the bantam breed

## 2. การพัฒนาซอฟต์แวร์

ระบบฟัซซีลอจิก (พยุง มีสุจ, 2010) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้งานกับระบบ เนื่องจากจะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและการคำนวณค่อนข้างน้อยเพราะใช้จำนวนพารามิเตอร์ในการสร้างฟังก์ชันต่างๆ ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ทางผู้วิจัยเห็นว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้การรวมข้อมูลในระดับสัญญาณโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการพัฒนาระบบควบคุมโดยมีการทำงานโดยรวมแสดงดัง Figure 2

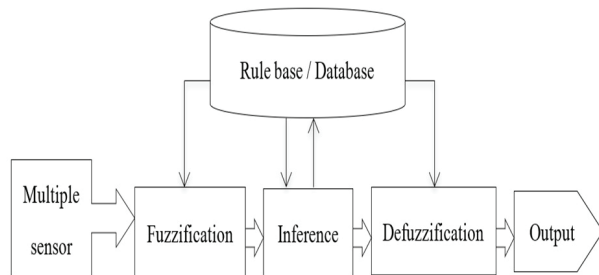


Figure 2 Fuzzy logic Inference control system

2.1 Fuzzification เป็นการแปลงสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์แต่ละตัวเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะที่เหมาะสมของแต่ละการอินพุตและความสำคัญต่อการเอาต์พุตที่น่าสนใจ โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญเพื่อใช้เป็นฟัซซีการอินพุตจากกระบวนการประมวลผลของขั้นตอนแรก สิ่งที่ต้องทำการออกแบบในโปรแกรม LabVIEW คือ การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละเซนเซอร์ให้สอดคล้องกับการการควบคุมตู้ฟักไข่ แสดงตัวอย่างดัง Figure 3

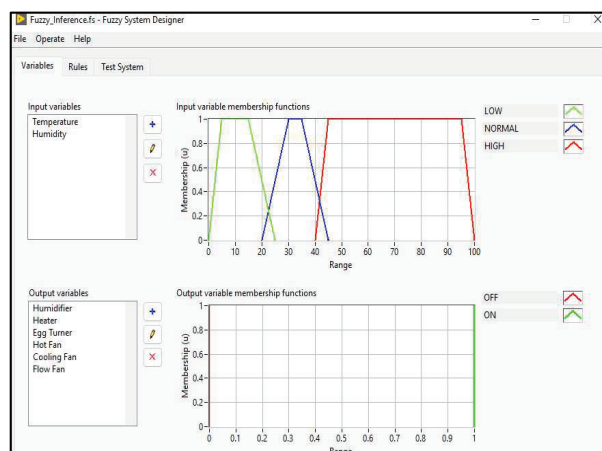


Figure 3 Fuzzification for input and output

2.2 Inference เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุต โดยอาศัยหลักการของการหาเหตุและผลหรือ If-Then Rule การคาดการณ์จากการตัดสินใจของฟัซซีลอจิก โดยผู้วิจัยเขียนเป็นกฎสำหรับการควบคุมระบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติทั้งหมด 9 กฎ แสดงตัวอย่างดัง Figure 4

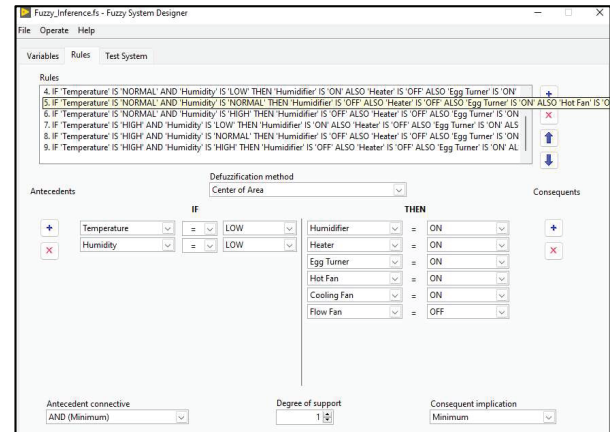


Figure 4 If-then rule for inference

การควบคุมจะมีอินพุต 2 ค่า คือ อุณหภูมิและความชื้น เชื่อมต่อกันด้วยตัวดำเนินการ AND ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตสำหรับ เปิดและปิดในการควบคุมภายในเครื่องฟักไข่ทั้งหมด 6 อุปกรณ์ โดยเงื่อนไขการตัดสินใจของฟัซซีลอจิกแสดงรายละเอียดใน Table 2

Table 2 Total role for automatic egg incubator control

| I/O         | Role |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <b>If</b>   |      |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Temperature | L    | L | L | N | N | N | H | H | H |
| Humidity    | L    | N | H | L | N | H | N | H | L |
| <b>Then</b> |      |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Humidifier  | /    | x | x | / | x | x | x | x | / |
| Heater      | /    | / | / | x | x | x | x | x | x |
| Turner      | /    | / | / | / | / | / | / | / | / |
| Hot fan     | /    | / | / | x | x | x | x | x | x |
| Cool fan    | /    | x | x | / | x | x | x | x | / |
| Outlet fan  | x    | x | / | x | x | / | / | / | / |

\* L = Low, N = Normal, H = High, / = On, x = Off

2.3 Defuzzification เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี่ โดยจะเปลี่ยนฟัซซี่เอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตาม ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Area) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจควบคุมตู้ฟักไข่ และทำการทดสอบการทำงานของระบบด้วยการป้อนค่าอินพุตเบื้องต้นสรุปได้ว่าการควบคุมเป็นไปตามการออกแบบแสดงดัง Figure 5

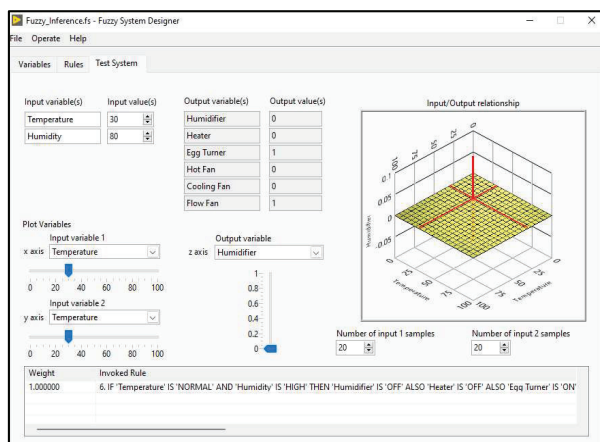


Figure 5 Defuzzification and validation of rule

จากการออกแบบทั้ง 3 ขั้นตอนหลักในโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้สะดวกต่อการติดตามและเก็บผลการทดสอบของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยทำการออกแบบ Graphics User Interface (GUI) มีรายละเอียดแสดงดัง Figure 6

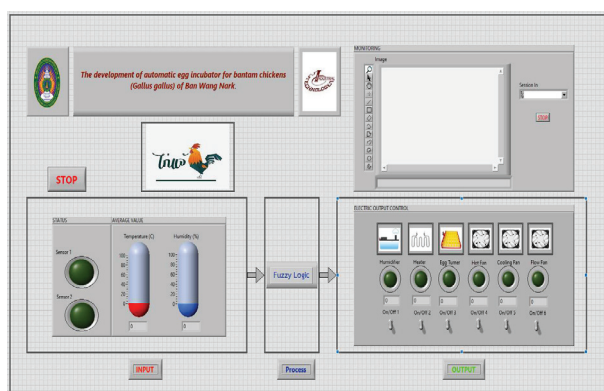


Figure 6 Graphics User Interface (GUI)

### 3. การออกแบบโครงสร้างเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ

จากการออกแบบอุปกรณ์ของระบบควบคุมทางวิศวกรรมและทางโปรแกรม LabVIEW ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของตู้ฟักไข่ซึ่งมีความสูงขนาด 120 เซนติเมตร ความกว้างขนาด 40 เซนติเมตร และความลึกขนาด 30 เซนติเมตร โดยรายละเอียดโครงสร้างหมายเลขที่ 1 ชุดอุปกรณ์ควบคุมหมายเลขที่ 2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ หมายเลขที่ 3

ถาดไข่สำหรับฟักไข่ไก่ และหมายเลขที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมความชื้นภายในตู้ แสดงดัง Figure 7.



Figure 7 Automatic hatching machine

### 4. เก็บผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมตู้ฟักไข่อัตโนมัติมีการทำงานตามเงื่อนไขที่ทำการออกแบบของผู้วิจัย ก่อนการเก็บบันทึกข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการเคลือบกระดาษอุณหภูมิและความชื้นของเซนเซอร์ SHT20 ให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยทำการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ 4 วัน จำนวน 250 ชุดข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่อัตโนมัติ แสดงตัวอย่างดัง Figure 8

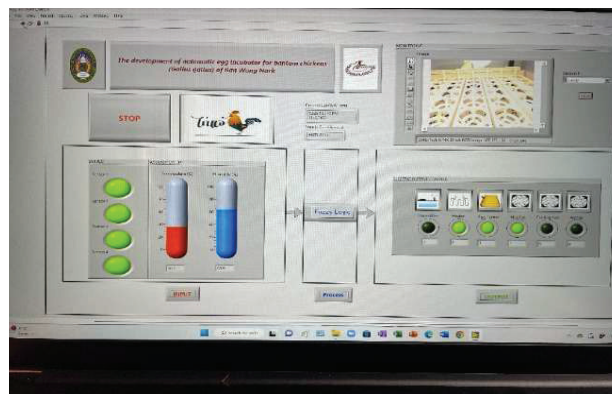


Figure 8 Experiment and data collection.

เมื่อทำการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติของผู้วิจัยมีความเรียบร้อยสมบูรณ์ จึงได้ทำการทดลองโดยนำไปฟักไข่ไก่ของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคนุ่มที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งทำการทดลองฟักไข่ไก่แจ้บ้านวังนาคนุ่มจำนวน 3 ครั้ง โดยในการฟักแต่ละครั้ง ทำการทดลองด้วยไข่ไก่แจ้จำนวน 30 ฟอง ทำการฟักชั้นละ 10 ฟอง จำนวน 3 ชั้น การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนาอัตราการตายและอัตราการฟักออกจากสมการที่ 1 ถึง 7

$$\text{ไข่มีเชื้อที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่มีเชื้อ 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$\text{ไข่ไม่มีเชื้อที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่ไม่มีเชื้อ 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (2)$$

$$\text{ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่เชื้อตาย 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (3)$$

$$\text{ไข่เชื้อตายที่ 18 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่เชื้อตายที่ 18 วัน} \times 100}{\text{ไข่มีเชื้อ 7 วัน}} \quad (4)$$

$$\text{ไข่ตายโคม (\%)} = \frac{\text{ไข่ตายโคม} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟัก 18 วัน}} \quad (5)$$

$$\text{การฟักออกจากไข่มีเชื้อ (\%)} = \frac{\text{ลูกไก่เกิด} \times 100}{\text{ไข่มีเชื้อ}} \quad (6)$$

$$\text{การฟักออกทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{ลูกไก่เกิด} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (7)$$

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการทดลองการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดของการออกแบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติ จากการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ 4 วัน บันทึกทุกๆ 5 นาที/ชุดข้อมูล จำนวนทั้งหมด 250 ชุดข้อมูล เพื่อการควบคุมอุณหภูมิของตู้ฟักไข่อัตโนมัติ จะทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 37 °C และหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในถึง 37 °C ในส่วนของเครื่องทำความชื้น จะทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60% และหยุดการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในถึง 60% กรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 °C ชุดพัดลมระบายอากาศจะทำงาน และหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในต่ำกว่า 38 °C ดังนั้น จากการสุ่มบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้ง 9 กฎ โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบแสดงรายละเอียดใน Table 3

**Table 3** Results of automatic egg incubator temperature and humidity control

| Day     | Time        | Temperature (°C) | Humidity (%) |
|---------|-------------|------------------|--------------|
| 1       | 10.30-13.00 | 36.84            | 64.50        |
|         | 13.30-17.00 | 36.85            | 63.28        |
| 2       | 10.30-13.00 | 36.86            | 62.73        |
|         | 13.30-17.00 | 36.81            | 65.22        |
| 3       | 10.30-13.00 | 36.93            | 60.15        |
|         | 13.30-17.00 | 36.83            | 76.87        |
| 4       | 11.30-15.20 | 36.91            | 63.37        |
| Average |             | 36.86            | 65.16        |

ผลการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติแสดงรายละเอียดใน Table 3 โดยทำการบันทึกการทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ทำการออกแบบไว้ได้ 100% ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีค่าเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16% ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Yadav *et al.*, 2021) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 37-38 °C ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสมในส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่เหมาะสมในช่วง 60-80%

**Table 4** Results of automatic egg incubator at Ban Wang Nak

| Results                               | Average (%) |
|---------------------------------------|-------------|
| Fertilized eggs at 7 days             | 96.67       |
| Eggs without fertilization at 7 days  | 3.33        |
| Infectious eggs die at 7 days.        | 1.11        |
| Infectious eggs die at 18 days        | 3.45        |
| The egg spoiled while being incubated | 1.11        |
| Hatching from eggs is infected        | 95.44       |
| Hatching eggs from all                | 92.22       |

จาก Table 4 เป็นผลการทดลองเพื่อดูค่าเปอร์เซ็นต์ที่สำคัญต่างๆ โดยค่าเฉลี่ยของ เปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อที่ 7 วัน เท่ากับ 96.67% เปอร์เซ็นต์ไข่ไม่มีเชื้อที่ 7 วัน เท่ากับ 3.33% ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียมไข่ก่อนฟักมีผลต่อเชื้อไข่นำมาฟัก ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน และ 18 วัน อยู่ที่ 1.11% และ 3.45% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ไข่ตายโคมค่อนข้างน้อย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.11% ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่มีเชื้อ 95.44% และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่เข้าฟักทั้งหมด 92.22% โดยภาพรวมจากผลการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่แจ้ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น

### สรุปผลการทดลอง

การออกแบบการสร้างและพัฒนาตู้ฟักไข่ไก่อัตโนมัติ โดยตู้ฟักไข่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับการฟักไข่ ระบบควบคุมโดยบอร์ด Arduino UNO ในการประมวลผลและทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยใช้การตัดสินใจในการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต

ต่างๆ ด้วยทฤษฎีของฟิชเชิลอจิก ตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบสามารถวางไข่ได้ 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นสามารถบรรจุได้ 30 ฟอง ทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ทำการออกแบบไว้ได้ 100% ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีค่าเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16% และเมื่อนำไปทดลองให้กับกลุ่มพัฒนา สายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาค หมู่ที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอหนองปีทา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ลูกไก่แรกเกิดเท่ากับ 95.44% ซึ่งผลการทดลองเป็นที่พอใจของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาค เนื่องจากการช่วยเพิ่มปริมาณการฟักไข่ในแต่ละรอบให้กับผู้ประกอบการในชุมชนตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งเครื่องมือขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

### ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

การออกแบบควรใช้วัสดุที่ดีและมีคุณภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานให้มีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น และมีความคงทนแข็งแรง อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำการปิดกันไม่ให้สัมผัสกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้เพื่อหลีกเลี่ยงการชำรุดหรืออายุการใช้งานที่สั้นลง ในอนาคตการออกแบบระบบเครื่องฟักไข่ไก่อัจฉริยะอัตโนมัติให้มีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมากขึ้นเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานที่ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ทุกท่านและมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่สนับสนุนได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2565

### เอกสารอ้างอิง

- ณปภัช ช่วยชูหนู, ประพจน์ มลิลย์ และจวีรธรณ จันทร์ทอง. (2563). การเพิ่มศักยภาพการขยายพันธุ์ไก่แจ้ไทย: ผลของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดของไก่แจ้ไทย. รายงานการวิจัย คณะเกษตรศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- นฤมล. (2018). ภูมิปัญญาท้องถิ่นและองค์ความรู้ของเกษตรกรในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 10(2), 27-30.
- พยุ่ง มีสัจ. (2010). ระบบฟักไข่และโครงข่ายประสาทเทียม. เอกสารคำสอนวิชา 701801 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Asma Luemasueni, L. S. and S. K. (2017). Research and Design an Incubator to Control the Temperature of the Egg Back Automatically, 2(1).

- Gayathri, R., Riyaz, N., Karthik, S. S., & Kumar, P. U. (2021). Compact Egg Incubator. *Ijrmets.Com*, 03, 1917-1920.
- Ikpeseni, S. C., Owebor, K., Owamah, H. I., Sada, S. O., Dibie, E. C., & Odeh, O. E. (2022). Design and Fabrication of a Local Solar-Powered Poultry Egg Incubator for a Low-Income Country. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. <https://doi.org/10.1007/s40031-021-00701-7>
- I. Sangole and P. Ardak. (2021). Investigation of Constant Temperature Keeping Process To Hatch Hen Egg in an Incubator Unit. *a Review*, 13(1), 6-10.
- Lumchanao, W., & Potprarinya, N. (2018). Development of Egg Incubator for Detecting Embryos in Chicken Eggs Using Digital Image Processing Techniques. *SWU Engineering Journal*, 13, 151-165.
- Natasa POPOVIC, B. P. (2021). A CONTROL SYSTEM FOR REMOTE MONITORING AND CONTROL OF THE TEMPERATURE IN CHICKEN EGGS. *Natasa POPOVIĆ \* Božidar POPOVIĆ*, 6(2), 28-34.
- Poolwan, J., Sripan, B., & Kingthong, S. (2021). Development of automatic temperature and humidity control systems for eggs incubators with Internet of thing technology, 9(2), 225-236.
- Purwanti, S., Febriani, A., Mardeni, M., & Irawan, Y. (2021). Temperature Monitoring System for Egg Incubators Using Raspberry Pi3 Based on Internet of Things (IoT). *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(5). <https://doi.org/10.18196/jrc.25105>
- Tolentino, L. K. S., Justine Enrico, E. G., Listanco, R. L. M., Anthony Ramirez, M. M., Renon, T. L. U., & Rikko Samson, M. B. (2019). Development of Fertile Egg Detection and Incubation System Using Image Processing and Automatic Candling. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/ TENCON, 2018-Octob(October)*, 701-706
- Yadav, B. K., Pokhrel, N., Khatiwada, D., Khanal, M., Bajracharya, T., & Dhakal, R. (2021). Design, Fabrication, and Performance Analysis of an Automatic Horizontal Egg Incubator. *Journal of the Institute of Engineering*, 16(1), 77-85. <https://doi.org/10.3126/jie.v16i1.36557>

# ผลของทั้งสแตนสมมูลต่อความแข็งหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดที่มีค่าคาร์บอนสมมูลเท่ากับศูนย์

## Effect of tungsten equivalent on hardness of heat-treated semi-multi-alloyed white cast irons with 0% carbon balance

วัฒน์ศักดิ์ สำรวาย<sup>1\*</sup> และ สุตสาคร อินธิเดช<sup>2</sup>

Wattanasak Samruay<sup>1\*</sup> and Sudsakorn Inthidech<sup>2</sup>

Received: 12 November 2023 ; Revised: 18 January 2024 ; Accepted: 21 February 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของค่าทั้งสแตนสมมูล ( $W_{eq}$ ) ต่อความแข็งหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดที่มีค่าคาร์บอนสมมูล ( $C_{bal}$ ) เท่ากับศูนย์ ได้เตรียมชิ้นงานที่มีค่า  $W_{eq}$  เท่ากับ 6.0 ถึง 8.0% อบอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ 950°C เย็นตัวในเตา จากนั้นอบชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 1050 และ 1100°C และชุบแข็งโดยใช้พัดลมเป่า (As-hardened state) อบคืนตัวชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง (Tempered state) ที่อุณหภูมิ 400-600°C ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างจุลภาคโดยรวมของทุกชิ้นงานประกอบด้วยออสเทนไดต์เดนไดรต์และโครงสร้างยูเทคติกชนิด ( $\gamma+MC$ ) และ ( $\gamma+M_2C$ ) โดยปริมาณโครงสร้างยูเทคติก ( $\gamma+M_2C$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า  $W_{eq}$  ความแข็งในสภาพชุบแข็งลดลงเมื่อค่า  $W_{eq}$  เพิ่มขึ้น ความแข็งในสภาพอบคืนตัว แสดงการแข็งขึ้นทุติยภูมิจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิและการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไดต์เหลือค้ำเป็นมาร์เทนไซต์ โดยระดับการแข็งขึ้นทุติยภูมิ ( $\Delta H_s$ ) เพิ่มขึ้นตามปริมาณค่า  $W_{eq}$  และอุณหภูมิชุบแข็ง ค่าความแข็งสูงสุดหลังการอบคืนตัว ( $H_{Tmax}$ ) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิอบคืนตัว 500°C ในทุกชิ้นงาน ค่าสูงสุดของ  $H_{Tmax}$  คือ 879 HV30 และ 848 HV0.1 ได้รับในชิ้นงาน 6.7%  $W_{eq}$  ที่ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C และอบคืนตัวที่ 500°C

**คำสำคัญ:** เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิด, กรรมวิธีทางความร้อน, ความแข็ง, ผลของทั้งสแตนสมมูล

### Abstract

This study investigates the effect of tungsten equivalent ( $W_{eq}$ ) on the hardness of heat-treated multi-alloyed white cast iron with a 0% carbon balance. Specimens with  $W_{eq}$  values ranging from 6.0 to 8.0% were prepared. The specimens were annealed at 950°C and cooled in the furnace. The annealed specimens were then austenitized at 1050°C and 1100°C, followed by quenching with fan air. After hardening, the specimens were tempered at temperatures between 400°C and 600°C. The results showed that the microstructure consisted of austenite dendrites and eutectics ( $\gamma+MC$ ) and ( $\gamma+M_2C$ ), with the ( $\gamma+M_2C$ ) eutectics increasing as the  $W_{eq}$  values increased. Hardness in the as-hardened state decreased with increasing  $W_{eq}$  values. The tempered hardness curve demonstrated secondary hardening due to the precipitation of secondary carbides and the transformation of austenite to martensite. The degree of secondary hardening ( $\Delta H_s$ ) increased with higher  $W_{eq}$  values and austenitizing temperatures. The maximum tempered hardness ( $H_{Tmax}$ ) was achieved at a tempering temperature of 500°C in all specimens. The highest  $H_{Tmax}$  values, 879 HV30 and 848 HV0.1 were obtained in the 6.7%  $W_{eq}$  specimen, hardened at 1100°C and tempered at 500°C.

**Keywords:** Semi-multi-alloyed white cast iron, heat treatment, hardness, tungsten equivalent effect

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand

\* Corresponding author; Wattanasak Samruay Email: tomyarisone@gmail.com

## บทนำ

เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดเป็นเหล็กหล่อทนการสึกหรอแบบขัตสีสำหรับผลิตเป็นชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ทนการสึกหรอในอุตสาหกรรมหนัก เช่น อุปกรณ์บิดในงานอุตสาหกรรมเหมืองแร่หรือซีเมนต์ ลูกรีดในกระบวนการรีดร้อนเหล็กกล้า เป็นต้น (Hashimoto *et al.*, 2008) นอกจากนี้ยังใช้เป็นชิ้นส่วนทนการสึกหรอในอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการขัตสี เหล็กหล่อชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงและมีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าเหล็กหล่อ Ni-hard และเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่เคยใช้มาในอดีต เนื่องจากมีคาร์ไบด์ที่มีความแข็งแรงสูงและมีปริมาณที่เหมาะสมในโครงสร้างจุลภาค (Matsubara *et al.*, 1993, Hashimoto *et al.*, 2008)

ส่วนผสมพื้นฐานของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดคือ คาร์บอน (C) ประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (จากนี้ไปแทนด้วย %) และมีส่วนผสมของธาตุที่สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้แรง เช่น โครเมียม (Cr) วาเนเดียม (V) โมลิบดีนัม (Mo) และทังสเตน (W) (Hashimoto *et al.*, 2011) อย่างละ 5% ธาตุผสมเหล่านี้สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์แข็งที่แข็งแกร่งซึ่งสูงในชั้นการแข็งตัว ซึ่งคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงสูงกว่าคาร์ไบด์ที่พบในเหล็กกล้าหรือในเหล็กหล่อทนการสึกหรอชนิดอื่น (Wu *et al.*, 1994) ดังนั้นจึงทำให้เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดมีความแข็งแรงสูงและทนการสึกหรอได้ดีเยี่ยม โดยนอกจากจะมีความแข็งแรงสูงแล้ว ยังมีความแกร่ง (Toughness) สูงกว่าเหล็กหล่อทนการสึกหรอชนิดอื่นๆ (Matsubara *et al.*, 1993) จากการที่มีสัดส่วนของคาร์ไบด์ต่ำ (Hashimoto *et al.*, 2011) แต่สมบัติเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อผ่านการทำการกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมเท่านั้น

ธาตุ Mo และ W เป็นธาตุผสมหลักในเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High speed steel) ซึ่งทั้ง Mo และ W เป็นธาตุที่รวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้แรง สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ยูเทคติกประเภท  $M_2C$  และ  $M_6C$  (M คือธาตุโลหะที่สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้) (Boccalini *et al.*, 2011) ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่า 1500 HV และทนการสึกหรอได้ดีเยี่ยมรองลงมาจากคาร์ไบด์ VC (MC) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งและส่งเสริมการแข็งขึ้นทุติยภูมิในขั้นตอนการทำการกรรมวิธีทางความร้อน (Secondary hardening) เป็นอย่างดีเนื่องจาก Mo และ W มีผลในเหล็กหล่อคล้ายกัน (Inthidech *et al.*, 2020) แต่น้ำหนักอะตอมของ W จะมากกว่า Mo อยู่สองเท่า ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้ค่าทังสเตนสมมูล (Tungsten Equivalent,  $W_{eq}$ ) ซึ่งรวมผลของธาตุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน โดยมีสมการที่ 1 คือ

$$\%W_{eq} = (\%W) + 2(\%Mo) \quad (1)$$

ลูกรีดร้อนในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้านิยมผลิตโดยวิธีหล่อเหวี่ยง (Centrifugal Casting) (Hashimoto *et al.*, 2008) ในกรรมวิธีการหล่อชนิดนี้โลหะหลอมเหลวจะถูกเหวี่ยงและแข็งตัวภายในแม่พิมพ์ที่หมุนด้วยความเร็วสูง ในระหว่างการแข็งตัวจะเกิดคาร์ไบด์จากปฏิกิริยายูเทคติกได้แก่  $MC$   $M_2C$  หรือ  $M_7C_3$  (Matsubara *et al.*, 1993, Hashimoto *et al.*, 2008) โดยคาร์ไบด์แต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากันและมีความหนาแน่นสูงกว่าโลหะหลอมเหลว ดังนั้นจึงมักเกิดปัญหาการสะสมของคาร์ไบด์ที่มีความหนาแน่นสูงจากแรงเหวี่ยงในกระบวนการหล่อ ส่งผลให้สมบัติทางกลและความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานด้อยลง ดังนั้นจึงมีความพยายามในการปรับลดธาตุที่รวมตัวเป็นคาร์ไบด์  $M_2C$  ที่มีความหนาแน่นสูงลงจากส่วนผสมพื้นฐานแต่ยังคงมีความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอที่เพียงพอกับการใช้งานได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเติม Mo และ W สูง (โดยเฉพาะ W) จะทำให้คาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าโลหะหลอมเหลวมาก เนื่องจากมีน้ำหนักอะตอมสูง (Wu *et al.*, 1994, 1996) อย่างไรก็ตามทั้ง Mo และ W ต่างมีความสำคัญในทางด้านการทำการกรรมวิธีทางความร้อนและความต้านทานการสึกหรอ ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการสะสมของคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  จึงได้มีการปรับลดปริมาณธาตุทั้ง Mo และ W ลงให้น้อยกว่าส่วนผสมพื้นฐาน โดยเรียกเหล็กหล่อที่ถูกปรับส่วนผสมนี้ว่า “เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิด (Semi-multi-alloyed white cast iron)” (Inthidech *et al.*, 2020)

เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่มีส่วนผสมพื้นฐานได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวางทั้งในด้านกระบวนการแข็งตัว (Wu *et al.*, 1994, 1995, 1996, Sasaguri *et al.*, 1996, Hashimoto *et al.*, 2004) การทำการกรรมวิธีทางความร้อน (Yuzo *et al.*, 2010, Matsubara *et al.*, 2002, Yu *et al.*, 1997, Opapaiboon *et al.*, 2015, Khanitnantharak *et al.*, 2009, Meebupha *et al.*, 2017, Laird *et al.*, 2000, Hashimoto *et al.*, 2004, Wu *et al.*, 1995) และความต้านทานการสึกหรอแบบขัตสี (Chang *et al.*, 2008, Yasuhiro *et al.*, 2001, Mitsuo *et al.*, 2006) แต่งานวิจัยเกี่ยวกับเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดมีน้อยมาก (Inthidech *et al.*, 2020) ฎุริตและคณะ (Sinphakdee *et al.*, 2018) ได้ศึกษาผลของค่าคาร์บอนสมมูล (Carbon balance,  $C_{bal}$ ) ต่อความแข็งแรงของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดที่ผ่านการทำการกรรมวิธีทางความร้อน โดยค่า  $C_{bal}$  เป็นค่าประมาณปริมาณคาร์บอนที่ละลายในเนื้อพินตามสมดุล ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนเฟสในระหว่างการทำการกรรมวิธีทางความร้อน อย่างไรก็ตามค่า  $C_{bal}$  เป็นเพียงค่าตามทฤษฎีเท่านั้นเพราะในทางปฏิบัติไม่สามารถวัดปริมาณคาร์บอนที่ละลายในเนื้อพินจริงทั้งหมดได้ จากผลการวิจัยของฎุริตและคณะ (Sinphakdee *et al.*, 2018)

พบว่าเหล็กหล่อที่มีค่า  $C_{bal}$  เท่ากับศูนย์โดยประมาณจะให้ค่าความแข็งสูงสุดหลังการทำการกรรมวิธีทางความร้อน ณ ผลิตและคณะ (Yothathorn *et al.*, 2018) ได้ศึกษาผลของค่า  $W_{eq}$  ในช่วง 5.0-6.6% ต่อความแข็งของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดที่มีค่าคาร์บอนสมดุล ( $C_{bal}$ ) เท่ากับ 0.3% พบว่าความแข็งสูงสุดหลังการอบคืนตัวมีค่าประมาณ 810 HV30 และไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าค่า  $W_{eq}$  จะเพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าความแข็งอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง คาดว่าเกิดจากการที่มีออสเทนไนต์เหลือค้างเหลืออยู่เป็นจำนวนมากหลังการชุบแข็ง ทำให้การอบคืนตัวไม่สามารถเปลี่ยนออสเทนไนต์เหลือค้างได้ทั้งหมด นอกจากนี้ อาจเกิดจากการที่มีปริมาณคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  น้อยเกินไป

เพื่อที่จะทำให้เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมกึ่งหลายชนิดมีความแข็งสูงขึ้นหลังการทำการกรรมวิธีทางความร้อนจึงจำเป็นต้องการปรับส่วนผสมเพื่อให้มีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างน้อยลงหลังการชุบแข็ง และสามารถเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้เมื่อทำการอบคืนตัว จากปัญหาที่ได้กล่าวมาก่อนหน้างานวิจัยนี้จึงได้ควบคุมปริมาณธาตุ  $W$  ให้อยู่ที่ประมาณ 2% ปรับเปลี่ยนประมาณ  $Mo$  ควบคู่กับการคุมค่า  $C_{bal}$  ให้มีค่าใกล้เคียง 0% และการทำการกรรมวิธีทางความร้อน ซึ่งผลการทดลองที่ได้รับจะสามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของลูกรีดในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้าต่อไป

## กระบวนการทดลอง

### การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมวัตถุดิบได้แก่ เหล็กดิบ เศษเหล็ก และโลหะผสมในปริมาณรวม 15 กิโลกรัม นำมาหลอมรวมกันโดยใช้เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ใช้อุณหภูมิในการหล่อหลอม  $1580^{\circ}C$  แล้วเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ  $1500-1520^{\circ}C$  ลงในแบบหล่อทรายที่มีช่องว่างเป็นทรงกระบอกขนาด  $\phi 25 \times 65$  มม และมีไรเซอร์ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการหดตัวในระหว่างการแข็งตัวแสดงดัง Figure 1 กลุ่มผิวหน้าไรเซอร์ทันทีด้วยผงคายความร้อน (Exothermic powder) เพื่อรักษาอุณหภูมิและเพื่อให้เกิดการแข็งตัวในทิศทางเดียวภายหลังการหล่อชิ้นงานถูกตัดให้มีความหนา 7 มม. โดยใช้เครื่องตัดโลหะด้วยลวด (Wire-cutting EDM) ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบแสดงดัง Table 1

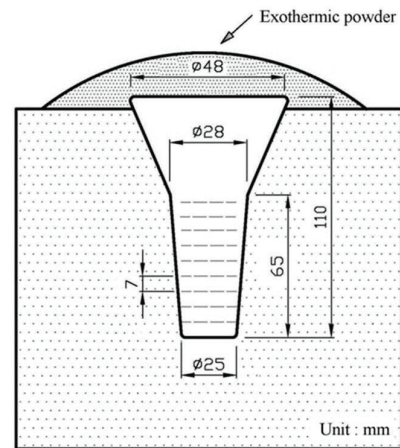


Figure 1 Schematic drawing of CO2 bonded sand mold.

Table 1 Chemical composition of specimens

|      | Element (wt%) |      |      |      |      | $C_{bal}$ % | $W_{eq}$ % |
|------|---------------|------|------|------|------|-------------|------------|
|      | C             | Cr   | Mo   | W    | V    |             |            |
| No.1 | 1.93          | 5.98 | 1.99 | 2.02 | 5.52 | -0.08       | 6.00       |
| No.2 | 1.92          | 5.94 | 2.46 | 1.96 | 5.48 | -0.10       | 6.70       |
| No.3 | 1.93          | 5.00 | 3.02 | 2.02 | 5.61 | -0.07       | 8.06       |

\* Si=0.43-0.50%, Mn=0.50-0.56%, S & P<0.01%

$$\%C_{bal} = \%C - \%C_{Stoich} \quad (2)$$

$$\%C_{stoich} = (0.060\%Cr) + (0.063\%Mo) + (0.033\%W) + (0.235\%V) \quad (3)$$

โดยค่า  $W_{eq}$  และ  $C_{bal}$  ของแต่ละชิ้นงานทดสอบคำนวณจากสมการที่ 1-3 ตามลำดับ (Hashimoto *et al.*, 2011, Boccacini *et al.*, 2011, Inthidech *et al.*, 2020) งานวิจัยนี้มีการควบคุม  $W$  ไว้ที่ 2% ตามเหตุผลก่อนหน้าและมีการปรับปริมาณ  $Mo$  เพื่อศึกษาผลของค่า  $W_{eq}$  เนื่องจากค่า  $W_{eq}$  เป็นค่าที่ใช้งานในทางปฏิบัติ

### กรรมวิธีทางความร้อน

ขั้นตอนการทำการกรรมวิธีทางความร้อนแสดงดัง Table 2 ผิวชิ้นงานถูกเคลือบด้วยสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันอบอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $950^{\circ}C$  เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเย็นตัวในเตาเพื่อปรับการกระจายตัวของธาตุผสมและเปลี่ยนเนื้อพื้นให้เป็นเฟอร์ไรต์สำหรับเตรียมชุบแข็ง จากนั้นชุบแข็งชิ้นงานโดยอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $1050$  และ  $1100^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและเย็นตัวด้วยการเป่าพัดลม ชิ้นงานชุบแข็งถูกอบคืนตัวที่  $400-600^{\circ}C$  ทุกๆ  $50^{\circ}C$  เป็นเวลา 3.33 ชั่วโมง (200 นาที) และเย็นตัวในอากาศ

**Table 2** Heat treatment conditions

| Process          | Annealing | Hardening    | Tempering |
|------------------|-----------|--------------|-----------|
| Temperature (°C) | 950       | 1050<br>1100 | 400 - 600 |
| Holding (h)      | 5         | 1            | 3.33      |
| Cooling          | Furnace   | Forced air   | Air       |

### การทดสอบความแข็งและโครงสร้างจุลภาค

ผิวชิ้นงานถูกเตรียมโดยการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายและขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา ทดสอบความแข็งโดยรวมของชิ้นงานหรือความแข็งแบบมาโคร (Macro-hardness) โดยใช้เครื่องทดสอบวิกเกอร์ส ด้วยน้ำหนักกดทดสอบ 30 kg ทดสอบความแข็งเฉพาะเนื้อพื้นหรือความแข็งแบบไมโคร (Micro-hardness) โดยใช้เครื่องไมโครวิกเกอร์ส น้ำหนักกดทดสอบ 100 g ความแข็งเนื้อพื้นจะวัดตรงตำแหน่งตรงกลางของเดนไดร ซึ่งเป็บริเวณที่ไม่มีคาร์ไบด์ยูเทคติก ในการทดสอบความแข็งแต่ละแบบได้ทำการวัดแบบสุ่มจำนวน 5 จุดแล้วหาค่าเฉลี่ย

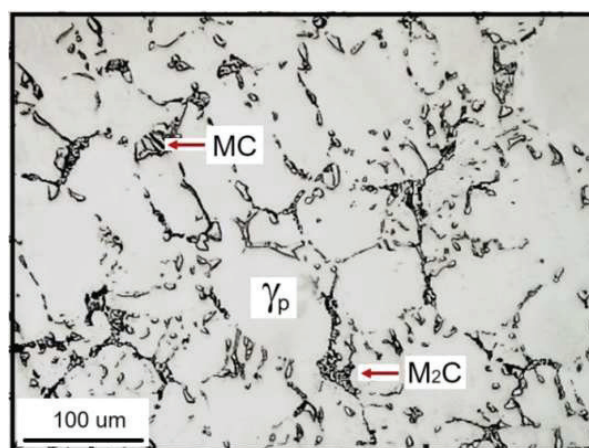
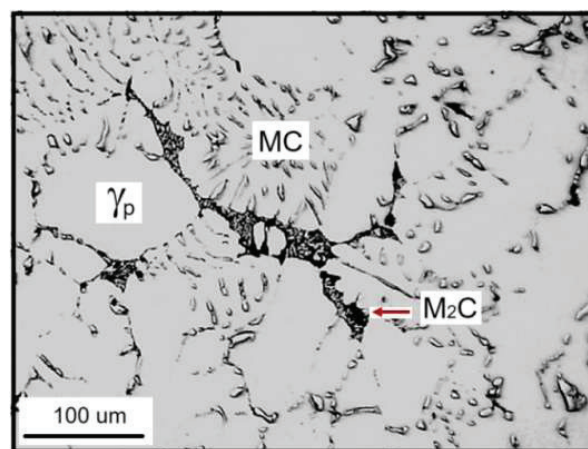
โครงสร้างจุลภาคโดยรวมของชิ้นงานถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) โดยกัดผิวชิ้นงานด้วยน้ำยา Groesbeck (KMnO<sub>4</sub> 4 g + NaOH 4 g + Water 100 ml.) และโครงสร้างเนื้อพื้นในสภาพที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) โดยกัดชิ้นรอยชิ้นงานด้วยน้ำยา Villella (Picric acid 1 g + HCl 5 cc + Ethanol 100 cc)

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### โครงสร้างจุลภาคโดยรวมของชิ้นงานทดสอบ

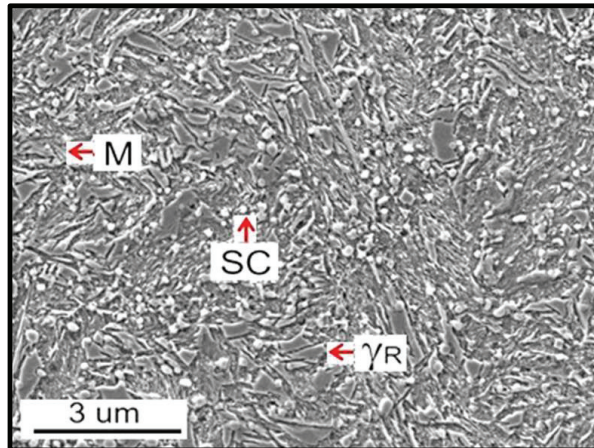
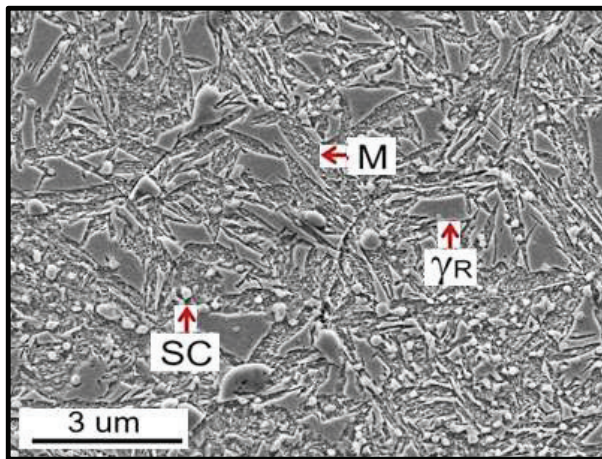
ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคโดยรวมของชิ้นงานทดสอบแสดงดัง Figure 2(a) สำหรับชิ้นงาน 6%W<sub>eq</sub> และ (b) สำหรับชิ้นงาน 8.06%W<sub>eq</sub> ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C พบว่าโครงสร้างจุลภาคโดยรวมประกอบด้วยเดนไดรต์ของออสเทนไนต์ปฐมภูมิ ( $\gamma_p$ ) และโครงสร้างยูเทคติก ( $\gamma$ +คาร์ไบด์) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิง (Wu *et al.*, 1994) โดยคาร์ไบด์ชนิด MC จะมีลักษณะเป็นแผ่นหรือก้อนสีขาว ส่วนชนิด  $M_2C$  จะมีลักษณะเป็นเส้นแถบสีดำ จากโครงสร้างจุลภาคจะเห็นได้ว่าปริมาณของโครงสร้างยูเทคติกชนิด ( $\gamma$ + $M_2C$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ W<sub>eq</sub> เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Image analyzer พบว่าสัดส่วนพื้นที่ (Area fraction) ของยูเทคติกชนิด ( $\gamma$ + $M_2C$ ) เพิ่มขึ้นจาก 7.9% ในชิ้นงาน W = 6.00% เป็น 9.4% ในชิ้นงาน W<sub>eq</sub> = 8.06% เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ Mo และ W จะส่งเสริมการรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  ได้มากขึ้น

ตัวอย่างโครงสร้างเนื้อพื้นของชิ้นงานชุบแข็งแสดงดัง Figure 3 พบว่าเนื้อพื้นในสภาพชุบแข็งประกอบด้วย มาร์เทนไซต์ (M) คาร์ไบด์ทุติยภูมิ (SC) และออสเทนไนต์เหลือค้าง ( $\gamma_r$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของณัชธิดาและคณะ (Yothathorn *et al.*, 2018) ด้วยภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่าชิ้นงานใน Figure 3 มีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างน้อยกว่า แต่มีปริมาณมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ทุติยภูมิมากกว่า โดยการเกิดคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  จะลดปริมาณคาร์บอนในโลหะหลอมเหลว ทำให้ค่า C ของชิ้นงานใกล้เคียงกับศูนย์ในขณะเดียวกันทั้ง Mo และ W จะส่งเสริมการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิในออสเทนไนต์ในระหว่างการชุบแข็ง ส่งผลให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพมากขึ้น อุณหภูมิการเกิดมาร์เทนไซต์ ( $M_s$ ) เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างลดลงและมีปริมาณคาร์ไบด์ทุติยภูมิและมาร์เทนไซต์เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่า W สูงจะทำให้มี Mo และ W ละลายในออสเทนไนต์มากขึ้นได้ ซึ่งทั้ง Mo และ W จะลดอุณหภูมิ  $M_s$  และทำให้มีออสเทนไนต์เหลือค้างหลังการชุบแข็งมากขึ้นได้

a) W<sub>eq</sub> = 6.00%b) W<sub>eq</sub> = 8.06%

**Figure 2** Total microstructure of specimens with 6.00 (a) and 8.06% W<sub>eq</sub> (b) hardening from 1100°C.

นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการชุบแข็งจะทำให้มีปริมาณออสเทนไนต์มากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเพิ่มขีดจำกัดการละลายของธาตุผสมต่างๆ ในออสเทนไนต์ ทำให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพและเปลี่ยนเฟสยากขึ้น (Yothathorn *et al.*, 2018)

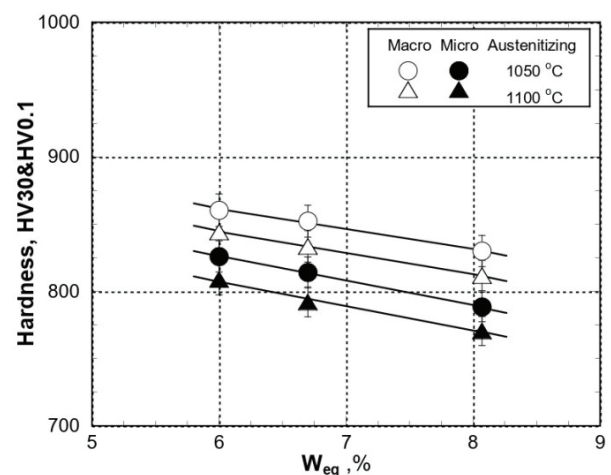
a)  $W_{eq} = 6.00\%$ b)  $W_{eq} = 8.06\%$ 

**Figure 3** Matrix structures of as-hardened specimens with 6.00 (a) and 8.06%  $W_{eq}$  (b) hardening from 1100°C. (M: martensite, SC: secondary carbide,  $\gamma_R$ : retained austenite)

#### ผลของ $W_{eq}$ ต่อความแข็งในสภาพชุบแข็ง (As-hardened state)

การทำการมรีวิธีทางความร้อนจะมีผลเล็กน้อยต่อคาร์ไบด์ยูเทคติก เนื่องจากคาร์ไบด์เหล่านี้มีเสถียรภาพสูงและทนต่อความร้อนมาก (Hashimoto *et al.*, 2004, Sasaguri *et al.*, 1996, Khanitnantharak *et al.*, 2009, Opapaiboon *et al.*, 2015, Meebupha *et al.*, 2017) ในทางกลับกันเนื้อพื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะของกรรมวิธีทางความร้อน ส่งผลให้ความแข็งเปลี่ยนแปลง ผลของค่า  $W_{eq}$  ต่อความแข็งของชิ้นงานทดสอบในสภาพชุบแข็งแสดงดัง Figure 4 พบว่า

ความแข็งโดยรวมของชิ้นงานหรือความแข็งแบบมาโครลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อค่า  $W_{eq}$  เพิ่มขึ้น ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่ 1050°C จะสูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C ในทุกชิ้นงาน ความแข็งของเนื้อพื้นหรือความแข็งแบบไมโครแสดงพฤติกรรมคล้ายกันกับความแข็งแบบมาโคร ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันว่าการเปลี่ยนเฟสของเนื้อพื้นในระหว่างการทำการมรีวิธีทางความร้อนส่งผลโดยตรงต่อความแข็งโดยรวมของชิ้นงาน ความแข็งแบบไมโครจะต่ำกว่าความแข็งแบบมาโคร เนื่องจากความแข็งแบบไมโครเป็นความแข็งเฉพาะเนื้อพื้นเท่านั้นซึ่งไม่ได้รวมกับคาร์ไบด์ยูเทคติก การเพิ่มค่า  $W_{eq}$  และอุณหภูมิชุบแข็งจะทำให้ความแข็งของชิ้นงานลดลง เนื่องจากการที่มีธาตุผสมละลายในออสเทนไนต์มากขึ้น เป็นผลให้เสถียรภาพออสเทนไนต์เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิ  $M_s$  ลดต่ำลงเมื่อชุบแข็งแล้วจึงมีออสเทนไนต์เหลือค้างเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ยูเทคติกมิลดลง ดังตัวอย่างโครงสร้างเนื้อพื้นใน Figure 3 เนื่องจากออสเทนไนต์เป็นเฟสที่อ่อน จึงทำให้ความแข็งของชิ้นงานลดลงอย่างต่อเนื่อง



**Figure 4** Effect of  $W_{eq}$  on hardness in the as-hardened state.

#### ผลของ $W_{eq}$ ต่อความแข็งในสภาพอบคืนตัว (Tempered state)

ชิ้นงานในสภาพชุบแข็ง (As-hardened state) ทั้งสองอุณหภูมิได้ถูกอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 400-600°C (Tempered state) การใช้อุณหภูมิชุบแข็งต่างกันจะส่งผลต่อการแปลงเฟสในการอบคืนตัวต่างกัน โดยในระหว่างอบคืนตัวจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ ยูเทคติกในออสเทนไนต์เหลือค้างจากการชุบแข็งทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพและเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ในระหว่างการเย็นตัวซึ่งทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันมาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการชุบแข็งจะถูกอบคืนตัว โดยจะเกิดคาร์ไบด์ขนาดเล็กขึ้นในมาร์เทนไซต์ ทำให้มาร์เทนไซต์สูญเสียความแข็ง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้

มาร์เทนไซต์ที่มีธาตุที่รวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้แรงละลายอยู่ เช่น Cr Mo W หรือ V จะเกิดปฏิกิริยา คาร์ไบด์ (Carbide reaction) ขึ้นในระหว่างอบคืนตัวที่อุณหภูมิในช่วง 500-600°C (Laird *et al.*, 2000) ซึ่งคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นชนิดพิเศษ (Special carbide) ที่มีความแข็งแรงสูง สามารถทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นได้

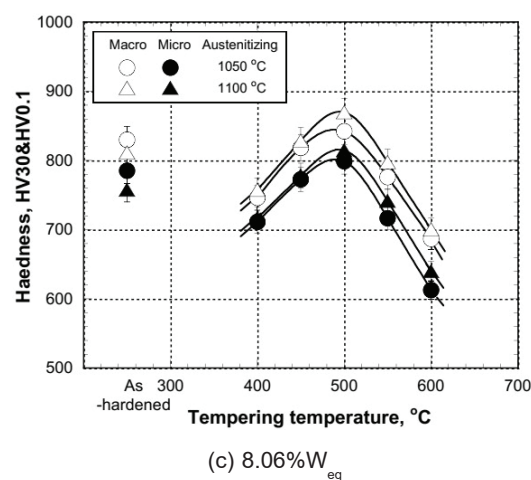
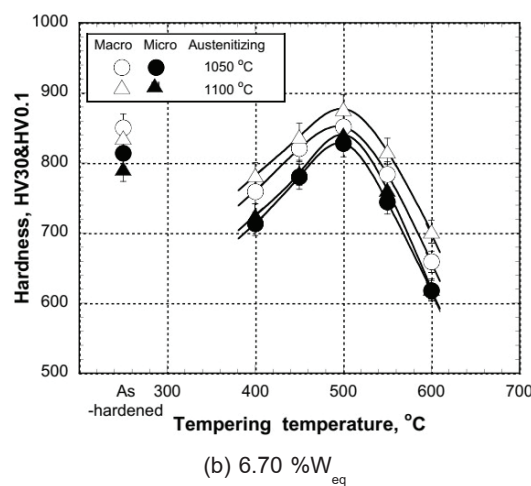
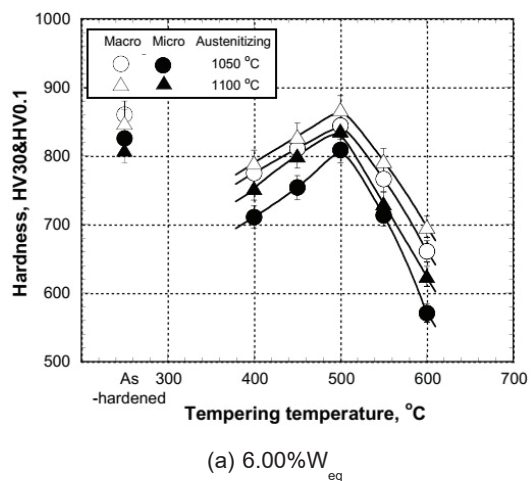
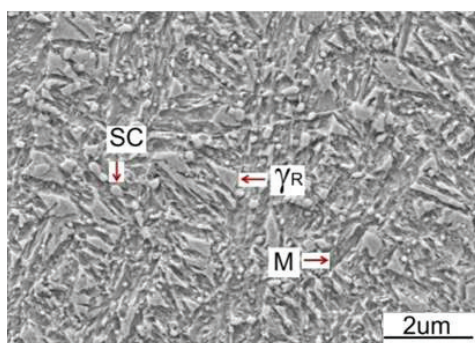


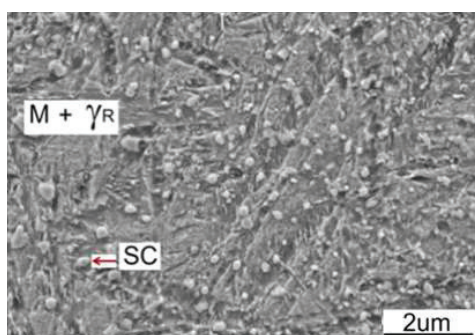
Figure 5 Relationship between hardness and tempering temperature of specimens.

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและอุณหภูมิในการอบคืนตัวของทุกชิ้นงานแสดงดัง Figure 5 โดยได้ใส่ค่าความแข็งแรงในสภาพชุบแข็ง (As-hardened) เพื่อการเปรียบเทียบพบว่าความแข็งแรงในสภาพอบคืนตัวจะลดลงจากสภาพชุบแข็งอย่างมากเมื่ออบคืนตัวที่ 400°C จากนั้นความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด ( $H_{T_{max}}$ ) ที่อุณหภูมิ 500°C ในทุกชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบคืนตัวขึ้นความแข็งแรงลดลงอีกครั้ง ซึ่งเรียกพฤติกรรมของความแข็งแรงแบบนี้ว่าการแข็งขึ้นทุติยภูมิ (Secondary hardening) ความแข็งแรงลดลงอย่างมากจากสภาพชุบแข็งเมื่ออบคืนตัวที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากมาร์เทนไซต์ในสภาพชุบแข็งถูกอบคืนตัวทำให้มาร์เทนไซต์สูญเสียความแข็งแรง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบคืนตัวจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิในออสเทนไนต์มากขึ้นซึ่งทำให้ธาตุผสมในออสเทนไนต์ลดลง ส่งผลให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพและเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่เกิด  $H_{T_{max}}$  ที่อุณหภูมิ  $H_{T_{max}}$  นี้คาดว่าจะมีการเกิดปฏิกิริยาคาร์ไบด์ในมาร์เทนไซต์ โดยคาดว่าจะคาร์ไบด์ชนิด  $Mo_2C$  หรือ VC ที่มีความแข็งแรงสูงซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hashimoto และคณะ (Hashimoto *et al.*, 2008) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่านี้กลับพบว่าความแข็งแรงลดลงเนื่องจากผลของการเกิด Over-tempering กล่าวคือเกิดการรวมตัวกันของคาร์ไบด์ ทุติยภูมิเป็นก้อนขนาดใหญ่และมีจำนวนลดลง ในขณะที่เดียวกันออสเทนไนต์จะเริ่มเปลี่ยนเฟสเป็นเฟไรต์หรือเพอร์ไลต์แทนมาร์เทนไซต์ ค่า  $H_{T_{max}}$  ที่ได้รับอยู่ในช่วง 872-879 HV30 ซึ่งค่าสูงสุดของ  $H_{T_{max}}$  ในชิ้นงาน 6.7 และ 8.06%W<sub>eq</sub> สูงกว่าความแข็งแรงในสภาพชุบแข็ง

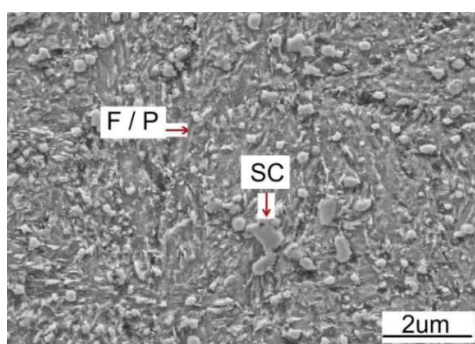
เมื่อชิ้นงานในสภาพชุบแข็งถูกอบคืนตัวภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ ทุติยภูมิในออสเทนไนต์เหลือค้างอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพลดลง และสามารถเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ในระหว่างการเย็นตัวหลังการอบคืนตัวได้ ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันมาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นจากการชุบแข็งจะถูกอบคืนตัวและสูญเสียความแข็งแรง ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงโดยรวมของชิ้นงานในสภาพอบคืนตัว เพื่อยืนยันการอธิบายข้างต้นจึงได้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้อง SEM โดยตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน 8.06%W<sub>eq</sub> ที่ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C และอบคืนตัวที่ 400 500 และ 600°C ตามลำดับแสดงดัง Figure 6 พบว่าเนื้อพื้นของชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 400°C จะคล้ายกับในสภาพชุบแข็ง (Figure 2 (b)) โดยประกอบด้วย ออสเทนไนต์เหลือค้างและมาร์เทนไซต์ที่ถูกอบคืนตัว โดยมีคาร์ไบด์ ทุติยภูมิล็กน้อยซึ่งเกิดจากการใช้อุณหภูมิอบคืนตัวต่ำเกินไปไม่พอที่จะลดเสถียรภาพของออสเทนไนต์เหลือค้างได้



(a) Tempered at 400°C



(b) Tempered at 500°C



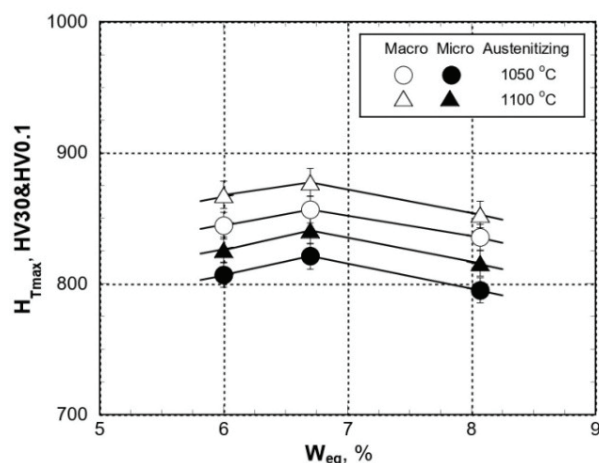
(c) Tempered at 600°C

**Figure 6** Matrix transformation of specimens with 8.06%W hardening from 1100°C and tempering at 400°C (a), 500°C (b) and 600°C (c). (M: martensite, SC: secondary carbide,  $\gamma_R$ : retained austenite, F: ferrite, P: pearlite)

ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 500°C ซึ่งให้ค่า  $H_{Tmax}$  ส่วนใหญ่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ทุติยภูมิ โดยมีออสเทนไนต์เหลือค้างเล็กน้อย ซึ่งเป็นการยืนยันว่าที่อุณหภูมิ 500°C สามารถทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิได้ดี ส่วนชิ้นงานอบคืนตัวที่ 600°C ซึ่งมีความแข็งต่ำสุด พบว่าประกอบด้วยคาร์ไบด์ทุติยภูมิขนาดใหญ่และเฟไรต์หรือเพอร์ไลต์ (จากการที่มีความแข็งเนื้อพื้นต่ำมาก) ซึ่งคาดว่าเกิดจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจนทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพมากเกินไป จนทำให้แปลงเฟสเป็นเฟไรต์หรือเพอร์ไลต์แทน และเกิดการรวมตัวกันของคาร์ไบด์

ทุติยภูมิเป็นก้อนขนาดใหญ่จากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปในการอบคืนตัว ทำให้ความแข็งของเนื้อพื้นลดลง การแปลงเฟสของเนื้อพื้นนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความแข็งในระหว่างการอบคืนตัวแสดงดัง Figure 5

ผลของค่า  $W_{eq}$  ต่อค่า  $H_{Tmax}$  แสดงดัง Figure 7 พบว่าค่า  $H_{Tmax}$  มีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่อ  $W_{eq}$  เพิ่มขึ้น ค่า  $H_{Tmax}$  ที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกคาดว่าเกิดจากการที่มีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า  $W_{eq}$  ซึ่งออสเทนไนต์เหลือค้างนี้จะส่งเสริมการเกิดการแข็งขึ้น ทุติยภูมิในขั้นตอนการอบคืนตัว ทำให้ความแข็งสูงสุดในการอบคืนตัวเพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $H_{Tmax}$  ลดลงในช่วงหลังคาดว่าเกิดจากการที่มีออสเทนไนต์ในสภาพชุบแข็งสูงเกินไปเพราะมีธาตุผสมในออสเทนไนต์เพิ่มขึ้น แม้ว่า Mo และ W จะส่งเสริมการเกิดการแข็งขึ้นทุติยภูมิได้ดี แต่ก็ทำให้ออสเทนไนต์มีความเสถียรภาพสูงเช่นกัน ทำให้ออสเทนไนต์แปลงเฟสได้ยากขึ้น ทำให้ความแข็งสูงสุดที่ได้รับต่ำลงเมื่อผ่านการอบคืนตัว



**Figure 7** Effect of  $W_{eq}$  on  $H_{Tmax}$  of specimens.

จากผลใน Figure 7 พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิสูง (1100°C) จะให้ค่า  $H_{Tmax}$  สูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำ (1050°C) เล็กน้อย ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิชุบแข็งสูงขึ้นจะทำให้ขีดจำกัดการละลายของธาตุผสมในออสเทนไนต์เพิ่มขึ้นตาม ทำให้มีปริมาณธาตุผสมของ C และธาตุผสมอื่นๆในออสเทนไนต์มาก จึงทำให้ออสเทนไนต์เหลือค้างเพิ่มขึ้นในสภาพชุบแข็ง ซึ่งออสเทนไนต์เหลือค้างนี้จะส่งเสริมการเกิดการแข็งขึ้นทุติยภูมิในระหว่างการอบคืนตัว (Hashimoto *et al.*, 2011, Sasaguri *et al.*, 1996, Khanitnantharak *et al.*, 2009, Opapaiboon *et al.*, 2015, Meebupha *et al.*, 2017) เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์นี้จึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $W_{eq}$  และระดับการแข็งขึ้นทุติยภูมิ (Degree of secondary hardening) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างของความแข็งที่จุด  $H_{Tmax}$  และความแข็งเมื่อเริ่มทำการอบ

คืบตัว (ที่ 400°C) โดยแสดงดัง Figure 8 พบว่าระดับการแข็งขึ้นทุติยภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ  $W_{eq}$  และอุณหภูมิชุบแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้างต้น และสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิง (Inthidech *et al.*, 2020)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้รับในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอ้างอิงโดย ณัฏฐิตาและคณะ (Yothathorn *et al.*, 2018) พบว่าค่า  $H_{Tmax}$  ที่ได้รับในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า ซึ่งคาดว่าเกิดจากส่วนผสมที่ออกแบบใหม่ในงานวิจัยนี้ทำให้ชิ้นงานมีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้ำจากการชุบแข็งลดลงและมีเสถียรภาพต่ำลงทำให้ออสเทนไนต์เหลือค้ำสามารถเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ได้ในขั้นตอนการอบคืนตัวได้มากขึ้น รวมถึงการที่มีค่า  $W_{eq}$  ที่เหมาะสมต่อการเกิด

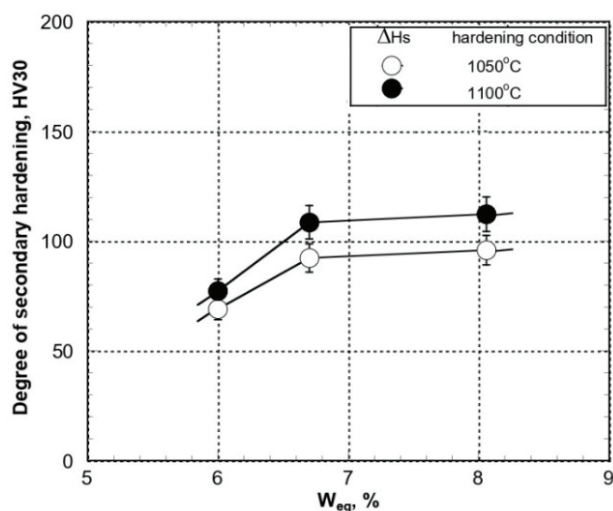


Figure 8 Effect of  $W_{eq}$  on degree of secondary hardening.

การแข็งขึ้นทุติยภูมิจะช่วยส่งเสริมการตกตะกอนของ คาร์ไบด์ทุติยภูมิและการเกิดปฏิกิริยาคาร์ไบต์ในระหว่างอบคืนตัวได้ดีขึ้น ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกรีดร้อนสำหรับกระบวนการผลิตเหล็กกล้าต้องการเหล็กหล่อที่มีความแข็งสูงกว่า 850 HV30 ซึ่งในงานวิจัยนี้เหล็กหล่อที่มีค่า  $W_{eq}$  ในช่วง 6.0-8.0% ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C และอบคืนตัวที่ 500°C ดังแสดงใน Figure 7 ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติดังกล่าว อย่างไรก็ตามการทดสอบหาปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้ำเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ข้างต้นและการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีเป็นสิ่งที่จะต้องทำในอนาคตเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการนำไปใช้งานจริงต่อไป

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของทั้งสเทนสมมูล ( $W_{eq}$ ) ในช่วง 6.0-8.0% ต่อพฤติกรรมของความแข็งของเหล็กหล่อ

ขาวเตมธาตุผสมทั้งหลายชนิดที่มีค่า  $C_{bal}$  เท่ากับศูนย์ หลังผ่านการทำการวิธีทางความร้อน ได้แก่ การอบอ่อน ชุบแข็งที่ 1050 และ 1100°C และอบคืนตัวที่ 400-600°C จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคโดยรวมของทุกชิ้นงานประกอบด้วยออสเทนไนต์เดนไดรต์และโครงสร้างยูเทคติกของ ( $\gamma+MC$ ) และ ( $\gamma+M_2C$ ) โดยปริมาณของโครงสร้างยูเทคติก ( $\gamma+M_2C$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า  $W_{eq}$
2. เนื้อพื้นในสภาพชุบแข็งของทุกชิ้นงานประกอบด้วย มาร์เทนไซต์ คาร์ไบด์ทุติยภูมิและออสเทนไนต์เหลือค้ำ โดยปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้ำเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณคาร์ไบด์ทุติยภูมิและมาร์เทนไซด์ลดลงเมื่อเพิ่มค่า  $W_{eq}$  และอุณหภูมิในการชุบแข็ง

3. ความแข็งในสภาพชุบแข็งลดลงเมื่อค่า  $W_{eq}$  และอุณหภูมิในการชุบแข็งเพิ่มขึ้น โดยความแข็งแบบ ไมโครแสดงพฤติกรรมเดียวกันกับความแข็งแบบมาโคร

4. กราฟความแข็งในสภาพอบคืนตัวแสดงการแข็งขึ้นทุติยภูมิจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิและการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซด์ โดยระดับการแข็งขึ้น ( $\Delta H_s$ ) เพิ่มขึ้นตามค่า  $W_{eq}$  และอุณหภูมิชุบแข็ง ค่าความแข็งสูงสุดหลังการอบคืนตัว ( $H_{Tmax}$ ) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 500°C ในทุกชิ้นงาน

5. ค่า  $H_{Tmax}$  เพิ่มขึ้นจากนั้นจะลดลงเมื่อเพิ่มค่า  $W_{eq}$  การเพิ่มอุณหภูมิชุบแข็งจะทำให้ค่า  $H_{Tmax}$  เพิ่มขึ้น โดยค่า  $H_{Tmax}$  สูงสุดคือ 879 HV30 and 848 HV0.1 ได้รับในชิ้นงาน 6.7% $W_{eq}$  ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C

6. เหล็กหล่อที่มีค่า  $W_{eq}$  ในช่วง 6.0-8.0% ผ่านการชุบแข็งที่ 1100°C และอบคืนตัวที่ 500°C มีความแข็งสูงกว่า 850 HV30 ซึ่งเป็นระดับความแข็งที่ต้องการสำหรับลูกรีดร้อนในกระบวนการผลิตเหล็กกล้า

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Professor Dr.Yasuhiro Matsubara, Professor Dr. Kaoru Yamamoto แห่ง National Institute of Technology Kurume College ประเทศญี่ปุ่นสำหรับความอนุเคราะห์ชิ้นงานทดสอบและคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยมหาสารคาม สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

Boccalini, M. (2011). high speed steels for hot rolling mill rolls. *Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 123-142.

- Chang, W., Pan, Y., Sasaguri, N., & Matsubara, Y., (2008). Effect of C and W content and heat treatment condition on microstructure and wear resistance of multi-component white cast iron. *Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 35-48.
- Hashimoto, M., Kubo, O., & Matsubara, Y. (2004). Analysis of Carbides in Multi-component White Cast Iron for Hot Rolling Mill Rolls. *ISIJ International*, 44(2), 372-380.
- Hashimoto, M., Kubo, O., & Matsubara, Y. (2008). Development of multi-component cast iron (HSS) roll and rolling technology in steel rolling. *Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 1-23.
- Hashimoto, M., Kubo, O., & Matsubara, Y. (2011). Effects of Alloying Element on Compressive and Wear Properties of Multi-Component White Cast irons for Steel Rolling Mill Rolls. *Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 183-192.
- Inthidech, S., & Matsubara, Y. (2020). Effects of Carbon Balance and Heat Treatment on Hardness and Volume Fraction of Retained Austenite of Semi-multi-alloyed White Cast Iron. *International Journal of Metalcasting*, 14(1), 132-143.
- Inthidech, S., Yamamoto, K., & Matsubara, Y. (2020). Effect of Tungsten Equivalent on Heat Treatment Behavior of Semi-multi-alloyed White Cast Iron for Abrasive Wear Resistance. *International Journal of Metalcasting*, 14(1), 1-12.
- Khanitnantharak, W., Hashimoto, M., Shimizu, K., Yamamoto, K., Sasaguri, N., & Matsubara, Y. (2009). Effects of Carbon and Heat Treatment on the Hardness and Austenite Content of a Multi-Component White Cast Iron. *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 117, 435-444.
- Laird, G., Gundlach, R., & Rohrig, K. (2000). Abrasion-resistant cast iron handbook. *American Foundry Society Illinois*, 202-203.
- Matsubara, Y., Sasaguri, N., Wu, H.Q., Honda, Y., & Hashimoto, M. (1993). A new material for rolling mill rolls multicomponent white cast iron. *Proceedings of the International Symposium on Tribology, 1993 Oct 19-22, Beijing China*, 501-510.
- Matsubara, Y., Sasaguri, N., Shimizu, K., Sung & Kon Yu. (2001). Solidification and abrasion wear of white cast irons alloyed with 20% carbide forming elements. *Wear*, 250(1-12), 502-510.
- Matsubara, Y., & Sasaguri, N. (2002). Heat treatment characteristic of multi-component white cast iron for cold work roll. *Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 207-216.
- Meebupha, T., Inthidech, S., Sricharoenchai, P. & Matsubara Y., (2017). Effect of molybdenum content on heat treatment behavior of multi-alloyed white cast iron. *Materials transactions*, 58(4), 655-662.
- Mitsuo, H., Yasuyuki, N., Nobuya, S., & Yasuhiro, M. (2006). Influence of Carbon and Vanadium on Mechanical and Hot Wear Properties of Multi-component White Cast Irons for Steel Rolling Mill Rolls. *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 78(5), 238-244.
- Opapaiboon, J., Sricharoenchai, P., Inthidech, S., & Matsubara, Y., (2015). Effect of carbon content on heat treatment behavior of multi-alloyed white cast iron for abrasive wear resistance. *Materials transactions*, 56(5), 720-725.
- Sasaguri, N., Matsubara, Y., & Hashimoto, M. (1996). Solidification process of multi-component white iron for rolls. *Asian Foundry congress (AFC-4)*, 273-281.
- Sinphakdee, P., & Inthidech, S. (2018). Effect of Carbon Balance on Hardness and Retained Austenite of Heat-treated Multi-alloyed White Cast Iron, *Proceedings of the The 14<sup>th</sup> Mahasarakham University Research Conference (MRC#314)*, Mahasarakham, Thailand 52-60.
- Wu, H-Q., Sasaguri, N., & Hashimoto, M. (1994). Solidification Structures and Their Quantitative Analysis of Multi-Component Cast Iron. *Asian Foundry Congress (AFC-2)*, 109-119.
- Wu, H-Q., Sasaguri, N., Matsubara, Y., & Hashimoto, M. (1995). Type and morphology of carbides precipitated in multi-component white cast iron. *Imono*, 67(1), 49-55.
- Wu, H-Q., Sasaguri, N., Matsubara, Y., & Hashimoto, M. (1996) Solidification of multi-alloyed white cast iron: type and morphology of carbides. *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 104, 103-108.

- Yothathorn, N., & Inthidech, S. (2018). Effect of Tungsten Equivalent on Hardness of Heat-treated Multi-alloyed White Cast Iron, *Proceedings of The 14th Mahasarakham University Research Conference (MRC#314)*, Mahasarakham, Thailand. 227-235.
- Yu, S.-K. (1997). Effects of Carbon Content on Microstructure and Amount of Austenite in As-Cast and Heat-Treated Multi-Component White Cast Iron. *Journal of Korea Foundry Society*, 17(5), 488-493.
- Yuzo, Y., et al., (2010). Influence of molybdenum and tungsten contents on behavior of continuous cooling transformation in multi-component white cast iron. *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 82(1), 8-15.

# การวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อประมาณค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

## Geospatial analysis to estimate the solar energy in household scale by geographic information systems

จิรวัด จันทองพูน<sup>1\*</sup>, พรนรายณ์ บุญราศรี<sup>1</sup>, รจนา คุณพูล<sup>1</sup>, ศิริวัฒน์ จงหวัง<sup>1</sup>,  
ณัฐพงศ์ อรุณวงศ์<sup>1</sup> และ วัชรภรณ์ แซ่จัน<sup>1</sup>

Jirawat Jantongpoon<sup>1\*</sup>, Pornarai Boonrasi<sup>1</sup>, Rodjana Khoonpoon<sup>1</sup>,  
Siriwat Jongwang<sup>1</sup>, Natapong Arunvong<sup>1</sup> and Watcharaporn Sengain<sup>1</sup>

**Received:** 13 February 2024 ; **Revised:** 18 March 2024 ; **Accepted:** 30 April 2024

### บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างไม่จำกัด และไม่ก่อให้เกิดมลพิษหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข สำหรับการสร้างแผนที่พื้นที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ระดับครัวเรือนทำการวิเคราะห์รังสีดวงอาทิตย์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ 2) ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งพื้นที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ออกเป็น 4 ระดับ คือ พื้นที่มีศักยภาพสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมากไม่เหมาะแก่การติดตั้ง ผลจากการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีค่าศักยภาพสูงในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ คือพื้นที่ที่สามารถรับแสงได้ตลอดช่วงเวลาที่เกิดแสงซึ่งมีความเข้มรังสีเฉลี่ยมากกว่า 5.28 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งได้แก่ บริเวณพื้นที่โล่งและหลังคา

**คำสำคัญ:** รังสีดวงอาทิตย์, พลังงานแสงอาทิตย์, อากาศยานไร้คนขับ, แบบจำลองความสูงเชิงเลข

### Abstract

Solar energy is a clean, unlimited energy source that can be utilized without causing pollution or environmental harm. This study aimed to: 1) apply imagery from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to create a Digital Surface Model (DSM) for generating a map of solar radiation potential areas at the household scale, and to analyze solar radiation using Geographic Information Systems (GIS); and 2) analyze the suitability of solar cell installation. The solar radiation potential areas were categorized into four levels: high, medium, low, and very low, with the very low level deemed unsuitable for installation. The study found that high-potential areas for solar cell installation are those that receive sunlight throughout the day, with an average radiation intensity greater than 5.28 kWh/m<sup>2</sup>/day, including open spaces and roofs.

**Keywords:** Solar radiation, Solar energy, Unmanned aerial vehicle, Digital elevation model

<sup>1</sup> หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

<sup>1</sup> Survey Engineering Program, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla Province.

\* Corresponding author; E-mail address: jirawat.j@rmutsv.ac.th

## บทนำ

โดยรวมของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศเพิ่มสูงขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีตามการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยแหล่งพลังงานส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าพลังงานประมาณปีละ 8 แสนล้านบาท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2559) และการใช้พลังงานดังกล่าวยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และฝุ่นละอองต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อนส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และมีผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ โดยมีการจัดตั้งโครงการการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐให้มีการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในครัวเรือน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยลดการสูญเสียไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ และเป็นการทำให้ประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศมีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีความสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และสามารถพึ่งพาตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2580 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) ที่มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ จังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่อุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรที่ค่อนข้างหลากหลาย เป็นเมืองเศรษฐกิจสำคัญของภาคใต้ มีพื้นที่ทำการเกษตร 4,956.90 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 67.03 จากพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ปลูกพืชผัก 5.06 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากพื้นที่บ้านท่าเมรุ ตำบลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่อยู่ติดกับทะเลสาบสงขลาทำให้สภาพของน้ำมีความเค็มเกินไปไม่สามารถนำมาใช้ในการเกษตรได้จากปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำบาดาลมาใช้ในการเกษตร ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสินค้าเกษตรสูงเป็นอย่างมาก เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานทดแทน โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (Mihăilescu *et al.*, 2019) เพื่อสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการเกษตรกรรมรายแปลง (ไฟฟ้าสำหรับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตร) หรือส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนมากยิ่งขึ้น

การผลิตไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์นั้นองค์ประกอบที่สำคัญในการพิจารณาพื้นที่ในการติดตั้งซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้มากหรือน้อย คือ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ ในการจัดหาพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ บริเวณพื้นที่

เกษตรกรรม ภายในพื้นที่บ้านท่าเมรุ ตำบลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา เพื่อเป็นพื้นที่ต้นแบบในการศึกษาโดยการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (Digital Elevation Model, DEM) สำหรับการสร้างแผนที่พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่การศึกษา โดยแบ่งพื้นที่ตัวอย่างเป็น 2 พื้นที่ ทั้งสองพื้นที่มีลักษณะคล้ายกัน จะประกอบด้วยพื้นที่โล่ง แปลงการเกษตร และพื้นที่แหล่งน้ำ เพื่อคำนวณปริมาณพลังงานต่อพื้นที่รับรังสีของดวงอาทิตย์ (Area Solar Radiation) ด้วยการใช้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

## วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

คำนวณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และสร้างแผนที่พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) กำหนดขอบเขตบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 พื้นที่การศึกษา ตั้งอยู่ที่บ้านท่าเมรุ ตำบลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา โดยพื้นที่ศึกษาที่ 1 มีเนื้อที่ 31 ไร่ 3 งาน 50 ตารางวา มีขอบเขตทิศเหนือและทิศตะวันออกติดสวนยางพารา ทิศใต้ติดกับคลองเกาะน้ำรอบ และทิศตะวันตกติดกับคลองภูมินาดาริสาอยู่ที่ 1 พื้นที่ศึกษาที่ 2 มีเนื้อที่ 53 ไร่ 0 งาน 50 ตารางวา มีขอบเขตทิศเหนือติดกับพื้นที่ชุ่มน้ำและสวนปาล์มน้ำมัน ทิศใต้ติดกับพื้นที่ชุมชน ทิศตะวันออกติดกับพื้นที่ชุ่มน้ำ และทิศตะวันตกติดกับถนนบ้านท่าเมรุ-ควนเนียง ดัง Figure 1 และใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อทำการวางแผนการบิน และวางแผนดำเนินงาน

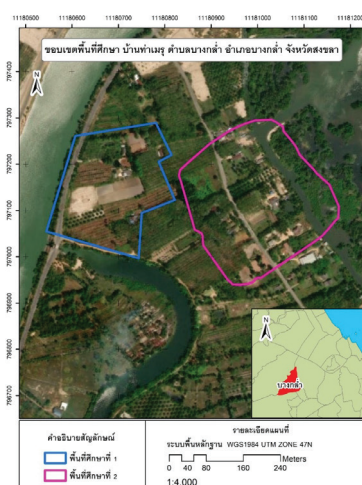


Figure 1 Study area

2) การสำรวจพื้นที่ศึกษา เพื่อทำการวางแผนการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 5 จุด โดยเลือกเป็นพื้นที่โล่ง ซึ่งอากาศยานไร้คนขับจะต้องมองเห็นจุดดังกล่าวขณะบินถ่ายภาพ และการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งทำการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Network Base RTK) ใช้หลักการ VRS (Virtual Reference Station) รังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 5 จุดภายในพื้นที่ศึกษา

3) การรังวัดภาพถ่ายทางอากาศ โดยเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับรุ่น Phantom 4 Pro ที่มี กล้องดิจิทัล ความละเอียด 20 ล้านจุดภาพพร้อม Sensor ขนาด 1 นิ้ว ซึ่งจัดอยู่ในประเภท Professional Grade และใช้รูปแบบการบินแบบ Grid ที่ให้ความละเอียดถูกต้องสำหรับการจัดสร้าง

แบบจำลอง DSM ที่ดีกว่ารูปแบบการบินแบบทั่วไป โดยบริเวณพื้นที่ศึกษามีต้นไม้สูงโดยประมาณ 30 ถึง 40 เมตร จึงเลือกใช้ความสูงบินอยู่ที่ 70 เมตร เหนือระดับทะเลปานกลาง การกำหนดส่วนซ้อนด้านหน้าและส่วนซ้อนด้านข้าง คือ ร้อยละ 80 และร้อยละ 70 ตามลำดับ ทั้งสองพื้นที่ศึกษาทำการบินถ่ายเมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2566 ในพื้นที่ศึกษาที่ 1 และเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ในพื้นที่ศึกษาที่ 2 โดยมีรายละเอียดตามมาตรฐานการบินของคณะกรรมการมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565) ดัง Table 1

**Table 1** UAV photogrammetry specifics

| Details of Aerial Photography Survey |                     |             |        |       |
|--------------------------------------|---------------------|-------------|--------|-------|
| Order                                | Details             | Area 1      | Area 2 | Unit  |
| 1                                    | Covered area        | 68,172      | 35,908 | sq m. |
| 2                                    | Duration of flights | 21          | 13     | min.  |
| 3                                    | Flight height       | 70.00       | 70.00  | m.    |
| 4                                    | Overlap             | 80          | 80     | %     |
| 5                                    | Sidelap             | 70          | 70     | %     |
| 6                                    | Flight pattern      | Grid        |        |       |
| 7                                    | GCP                 | 5           | 5      | point |
| 8                                    | Aircraft type       | Multi-rotor |        |       |

4) การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper โดยข้อมูลที่ประมวลผลได้ในภายหลังการปรับแก้ทางโฟโตแกรมเมตรีจะได้ข้อมูลกลุ่มจุดความสูงสามมิติ (Point cloud) หลังจากนั้นใช้ข้อมูลกลุ่มจุดความสูงสามมิติเพื่อสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangular irregular network, TIN) และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model, DSM) ในพื้นที่ศึกษา

5) การวิเคราะห์ค่ารังสีดวงอาทิตย์ จากข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ในการวิเคราะห์ต้องประมวลผลการแผ่รังสีทั้งหมด ( $Global_{tot}$ ) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และผลรวมการแผ่รังสีรูปแบบโดยตรง ( $Dir_{tot}$ ) สามารถคำนวณ

ได้จากสมการที่ 2 และรูปแบบกระจาย ( $Dif_{tot}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการสร้างแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ (Modeling solar radiation) จะประกอบด้วยขั้นตอนย่อย เป็น 4 กระบวนการ คือ 1. การคำนวณมุมมองแบบครึ่งทรงกลมที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ 2. การซ้อนทับของมุมมองบนแผนที่ดวงอาทิตย์ เพื่อประเมินรังสีแสงอาทิตย์ในรูปแบบโดยตรง 3. การซ้อนทับของมุมมองภาพบนแผนที่ท้องฟ้าเพื่อประเมินการกระจายรังสีแสงอาทิตย์ 4. กระบวนการซ้ำสำหรับทุกตำแหน่งที่น่าสนใจเพื่อสร้างแผนที่การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Mihăilescu *et al.*, 2019) ดัง Figure 2

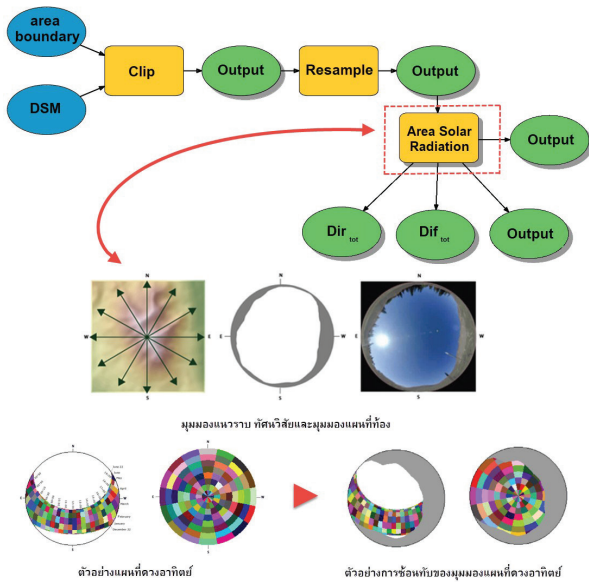


Figure 2 Methods for analyzing area solar radiation

$$\text{Global}_{\text{tot}} = \text{Dir}_{\text{tot}} + \text{Dif}_{\text{tot}} \quad (1)$$

$$\text{Dir}_{\text{tot}} = \sum \text{Dir}_{q,a} \quad (2)$$

$$\text{Dif}_{\text{tot}} = \sum \text{Dif}_{q,a} \quad (3)$$

เมื่อ

$\text{Global}_{\text{tot}}$  คือ การแผ่รังสีทั้งหมด

$\text{Dir}_{\text{tot}}$  คือ รังสีรูปแบบโดยตรง

$\text{Dif}_{\text{tot}}$  คือ รังสีรูปแบบกระจาย

$\sum \text{Dir}_{q,a}$  คือ ผลรวมของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ในรูปแบบโดยตรงจากทุกส่วนของแผนที่แสงอาทิตย์

$\sum \text{Dif}_{q,a}$  คือ ผลรวมของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย จากภาคส่วนแผนที่ท้องฟ้า

จาก Figure 2 จะใช้ข้อมูลความสูงจากแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข โดยสร้างในรูปแบบ Mesh หรือโครงข่ายสามเหลี่ยม เพื่อทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่สำหรับการหาความลาดเอียงของพื้นที่ (aspect, topographic slope face) ที่จะบอกค่าน้ำหนักและมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ วิเคราะห์ร่วมกับวงโคจรของดวงอาทิตย์ และข้อมูลอื่นๆ ก็จะทำให้สามารถประมวลผลข้อมูล solar radiation ที่บอกปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้

6) การเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จาก DSM กับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพร์จากสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 ตำบลคลองหลา อำเภอกลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา โดยเป็นข้อมูลเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2563 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์จากแบบจำลอง DSM (Malgorzata, 2019)

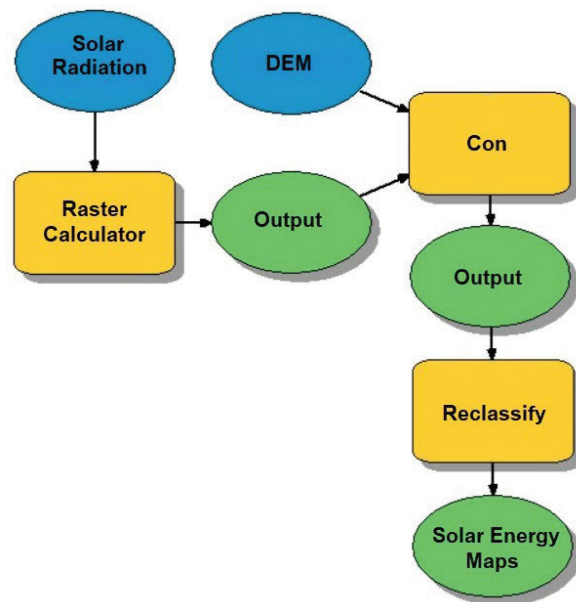


Figure 3 Methods for creating solar energy map

7) การวิเคราะห์เพื่อกำหนดพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เกณฑ์การแบ่งพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อการลงทุนผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยกระทรวงพลังงาน เพื่อใช้สำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่ดัง Figure 3

จาก Figure 3 เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ จัดแบ่งพื้นที่ที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงใน Table 2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) ตามเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อการลงทุนผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยกระทรวงพลังงานผ่านเครื่องมือ Raster Calculator และกำหนดเงื่อนไขด้วยเครื่องมือ Con บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

**Table 2** Criteria for dividing potential areas

| Average radiation intensity per day (kWh/m <sup>2</sup> -day) | Potential areas |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| More than 5.28                                                | High            |
| 5.28 - 3.56                                                   | Medium          |
| 3.56 - 1                                                      | Low             |
| Less than 1                                                   | Very Low        |

8) การนำไปใช้ประโยชน์โดยในที่นี้จะใช้สมการแนะนำที่มาจากบริษัทรับออกแบบระบบ ชื่อ SMA Solar Technology AG (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2559) ดังสมการที่ 4

$$P_{PV} = (E_a \times SF) / (E_{pv} \times n_{system}) \quad (4)$$

เมื่อ

$P_{pv}$  คือ กำลังของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วย กิโลวัตต์

$E$  คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย หน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

SF คือ สัดส่วนการใช้พลังงานของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบรวม โดยมีค่าเท่ากับ 1 ในกรณีมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเดียว

$n_{system}$  คือ ค่าประสิทธิภาพของระบบ โดยมีค่าเริ่มต้นที่ประมาณร้อยละ 70

$E_{pv}$  คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์จำเพาะในแต่ละพื้นที่ หน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันต่อกิโลวัตต์สูงสุด (kWh/a/kWp)

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 1. ผลจากการสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข

ในการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศด้วย UAV และนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข โดยผลลัพธ์ของการประมวลผลภาพแสดงผลใน Table 3 และมีผลลัพธ์การประมวลผลแสดงใน Figure 4

**Table 3** The GCP and GSD quality

| Areas | GCP | RMSE (m.) |       |       | GSD (cm.) |
|-------|-----|-----------|-------|-------|-----------|
|       |     | X         | Y     | Z     |           |
| 1     | 5   | 0.012     | 0.007 | 0.008 | 2.12      |
| 2     | 5   | 0.011     | 0.014 | 0.021 | 2.12      |

จากข้อมูลใน Table 3 พบว่า มีค่าความละเอียดของจุดภาพภาคพื้นดินเท่ากับ 2.12 ซม. และมีค่าความคลาดเคลื่อนของจุดภาพเท่ากับ 0.174 จุดภาพ ในส่วนของ

ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (RMSE) นั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงพิกัดเฉลี่ยนั้นในแกน X Y และ Z เท่ากับ 0.012 ม. 0.007 ม. และ 0.008 ม. ตามลำดับสำหรับ

พื้นที่ศึกษาที่ 1 และค่าความละเอียดของจุดภาพภาคพื้นดินเท่ากับ 2.12 ซม. และมีค่าความคลาดเคลื่อนของจุดภาพเท่ากับ 0.164 จุดภาพ และมีค่าความคลาดเคลื่อนในแกน X Y และ Z เท่ากับ 0.011 ม. 0.014 ม. และ 0.021 ม. ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ศึกษาที่ 2 ค่าเกณฑ์การรังวัดภาพกำหนดให้

ค่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) ไม่เกิน 7.5 ซม. และ GCP Error แนวราบไม่เกิน 3 ซม. และในแนวดิ่งไม่เกิน 5 ซม. ซึ่งค่าทั้งหมดที่ได้มาผ่านเกณฑ์มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

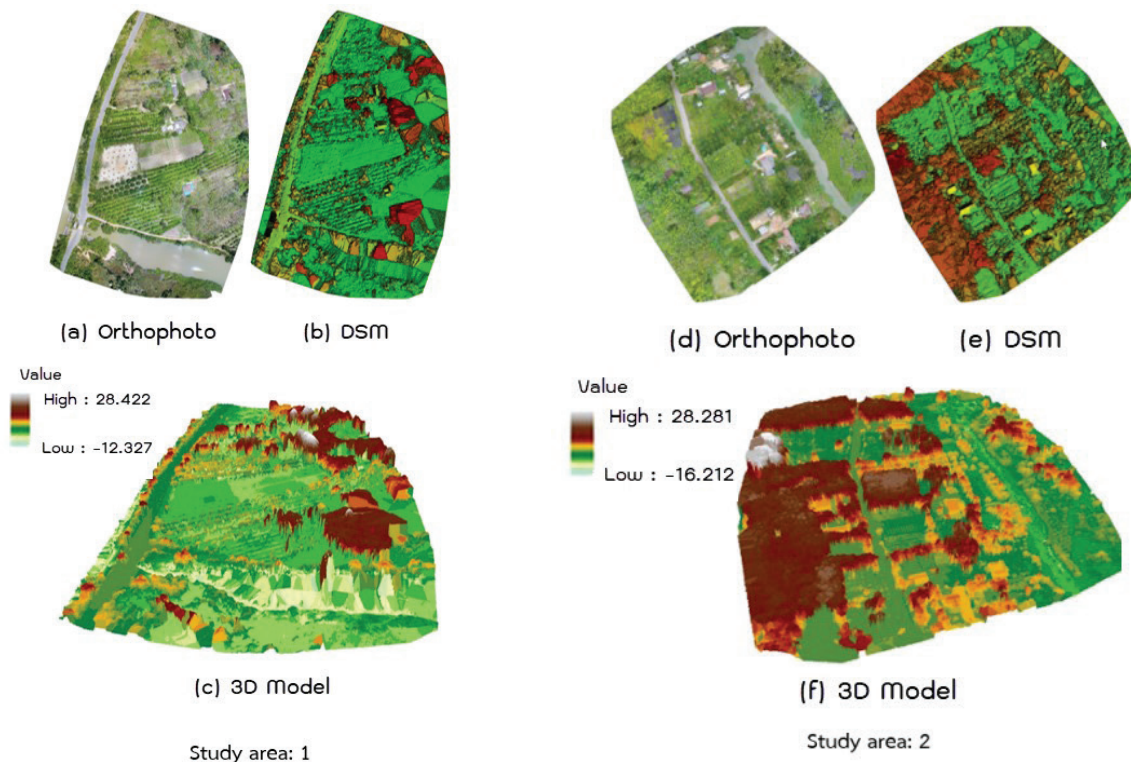


Figure 4 UAV photogrammetry results

## 2. ผลจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับในการวิเคราะห์ค่ารังสีดวงอาทิตย์

ผลจากการวิเคราะห์ค่ารังสีดวงอาทิตย์แบบจำลองพื้นที่ผิวเชิงเลขที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 2 เซนติเมตร โดย Resample เป็นความละเอียด 10 เซนติเมตร เพราะต้องการลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ต้องพิจารณาความละเอียด

ของการนำไปใช้งาน เพื่อนำประมวลผล  $Global_{tot}$  ที่ได้จากผลรวมของการแผ่รังสี  $Dir_{tot}$  และการแผ่รังสี  $Dif_{tot}$  ในพื้นที่ศึกษาที่ 1 และ 2 โดยมีผลลัพธ์ค่ารังสีดวงอาทิตย์ทั้งสองพื้นที่ดังใน Table 4 และดังแสดงในตัวอย่างในรูปแบบแผนที่พื้นที่ศึกษาที่ 1 ใน Figure 5

Table 4 Solar radiation results

| Solar radiation results |                   |                                          |        |                       |
|-------------------------|-------------------|------------------------------------------|--------|-----------------------|
| Order                   | Details           | Solar radiation(kWh/m <sup>2</sup> -day) |        | Note.                 |
|                         |                   | area 1                                   | area 2 |                       |
| 1                       | Max. energy value | 5.52                                     | 5.53   | Open area and roof    |
| 2                       | Min. energy value | 0.00                                     | 0.00   | Area with large trees |
| 3                       | Mean energy value | 3.56                                     | 3.74   |                       |
| 4                       | $Dir_{tot}$       | 4.32                                     | 4.32   |                       |
| 5                       | $Dif_{tot}$       | 1.20                                     | 1.20   |                       |
| 6                       | $Global_{tot}$    | 5.52                                     | 5.53   |                       |

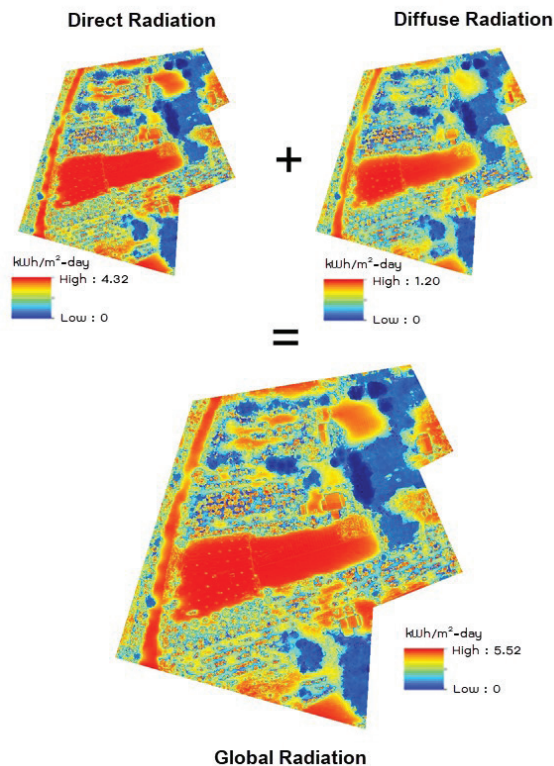


Figure 5 In area study 1, global radiation map

### 3. ผลจากการเปรียบเทียบกับสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขด้วยโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ที่เป็นเครื่องมือวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ชนิดรังสีรวม โดยต้องทำการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ชุดข้อมูลภาคสนามจากสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลัง ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 ตำบลคลองหลา อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสงขลา ที่เริ่มเก็บข้อมูลมาตั้งแต่ พ.ศ. 2545 โดยทำการแปลงข้อมูลจากข้อมูลรายวันเป็นรายเดือนย้อนหลัง 10 ปี (ข้อมูลย้อนหลัง พ.ศ. 2554 - 2564) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทั้งสองชุดข้อมูล ผลการศึกษาพบว่าค่าที่วัดได้จากสถานีวัดกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลอง DSM ในแต่ละเดือนมีความใกล้เคียงกันมีข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แสดงค่าที่ได้ดัง Table 5 โดยทั้งสองพื้นที่ที่ค่ารังสีจะมากสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.66 kWh/m<sup>2</sup>-day ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษา และน้อยสุดช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 kWh/m<sup>2</sup>-day ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษา และเมื่อนำค่ารังสีดวงอาทิตย์แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มรังสีจากสถานีวัดรังสีย้อนหลัง 10 ปี พบว่า ความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดัง Figure 6 ผลจากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ พบว่าพื้นที่ศึกษาที่ 1 มีค่าความสัมพันธ์ร้อยละ 91 และในพื้นที่ศึกษาที่ 2 มีค่าความสัมพันธ์ร้อยละ 89 ซึ่งข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องในระดับสูงมากในทิศทางบวก และจากผลต่างระหว่างสองชุดข้อมูลพบว่า ข้อมูลจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมีค่าปริมาณความเข้มรังสีมากกว่าข้อมูลสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ และพบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) เฉลี่ยสองพื้นที่เท่ากับ 9.37 และเดือนที่มีค่าคลาดเคลื่อนร้อยละมากกว่า 10 ได้แก่ เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ดัง Table 6 แต่โดยรวมค่าที่ประมวลผลได้จากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมีความถูกต้องสามารถใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ได้

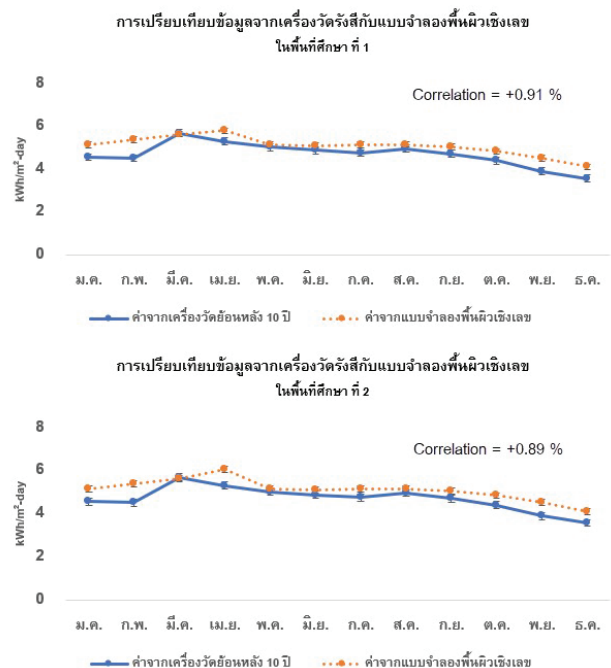


Figure 6 Comparison of solar radiation between Thermopile pyranometer and DSM

**Table 5** Monthly solar radiation data

| Month | kWh/m <sup>2</sup> -day                                  |                                  |                                  |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|       | Data from a 10-year retrospective thermopile pyranometer | Solar radiation from DSM, Area 1 | Solar radiation from DSM, Area 2 |
| JAN   | 4.57                                                     | 5.15                             | 5.16                             |
| FEB   | 4.52                                                     | 5.39                             | 5.40                             |
| MAR   | 5.69                                                     | 5.65                             | 5.66                             |
| APR   | 5.31                                                     | 5.80                             | 6.05                             |
| MAY   | 5.03                                                     | 5.16                             | 5.17                             |
| JUN   | 4.89                                                     | 5.11                             | 5.13                             |
| JUL   | 4.76                                                     | 5.15                             | 5.17                             |
| AUG   | 4.97                                                     | 5.16                             | 5.17                             |
| SEP   | 4.72                                                     | 5.06                             | 5.07                             |
| OCT   | 4.41                                                     | 4.84                             | 4.85                             |
| NOV   | 3.91                                                     | 4.53                             | 4.54                             |
| DEC   | 3.58                                                     | 4.12                             | 4.13                             |

**Table 6** Comparison of Thermopile pyranometer and DSM

| Month | kWh/m <sup>2</sup> -day   |                           | % Error |        |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------|--------|
|       | The diff. value of Area 1 | The diff. value of Area 2 | Area 1  | Area 2 |
| JAN   | 0.58                      | 0.59                      | 12.69   | 12.91  |
| FEB   | 0.82                      | 0.83                      | 19.25   | 19.47  |
| MAR   | 1.08                      | 1.09                      | 0.70    | 0.53   |
| APR   | 1.23                      | 1.48                      | 9.23    | 13.94  |
| MAY   | 0.59                      | 0.60                      | 2.58    | 2.78   |
| JUN   | 0.54                      | 0.56                      | 4.50    | 4.91   |
| JUL   | 0.58                      | 0.6                       | 8.19    | 8.61   |
| AUG   | 0.59                      | 0.60                      | 3.82    | 4.02   |
| SEP   | 0.49                      | 0.50                      | 7.20    | 7.42   |
| OCT   | 0.27                      | 0.28                      | 9.75    | 9.98   |
| NOV   | -0.04                     | -0.03                     | 15.86   | 16.11  |
| DEC   | -0.45                     | -0.44                     | 15.08   | 15.36  |

#### 4. ผลจากการประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ผลจากการวิเคราะห์เพื่อกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เกณฑ์การแบ่งพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อการลงทุนผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจัดแบ่งพื้นที่ที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงเงื่อนไขไว้ใน Table 2 พบว่าในพื้นที่ศึกษาที่ 1 และ 2 พบว่ามีพื้นที่มี

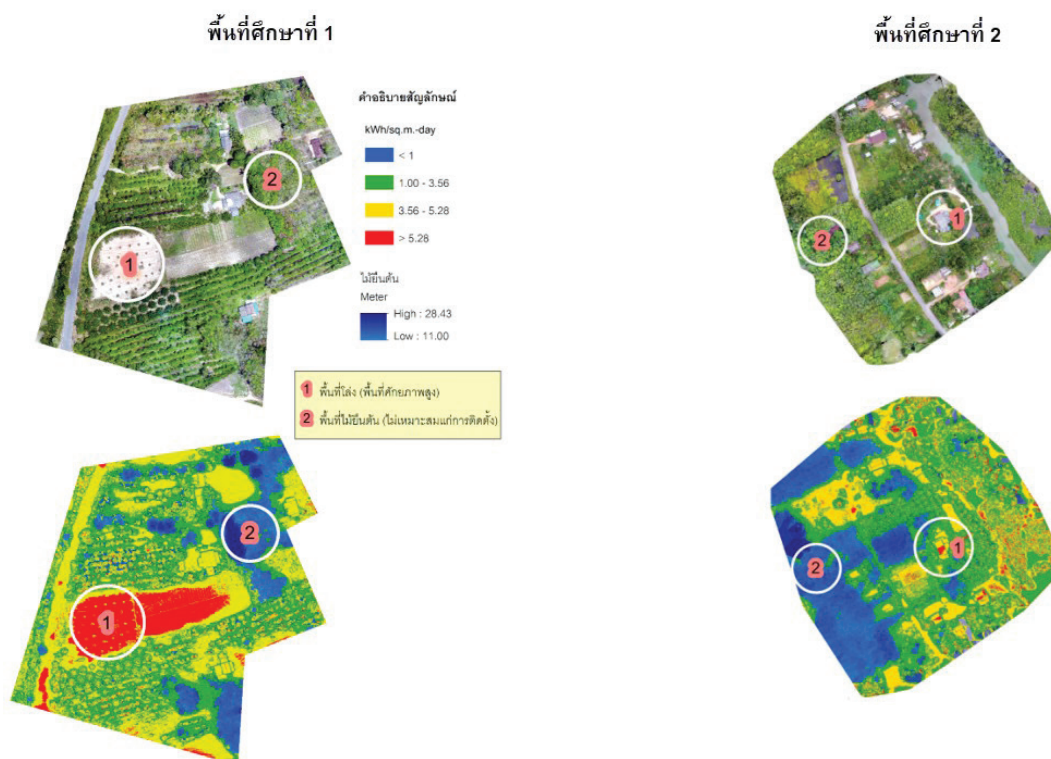
ศักยภาพสูง 5,443.97 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ทั้งหมด และ 122.01 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.18 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่มีศักยภาพต่ำมากไม่เหมาะแก่การติดตั้ง 2,330.14 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 4.51 ของพื้นที่ทั้งหมด และ 2,680.06 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.95 ของพื้นที่ทั้งหมด ดัง Table 7

และสามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ได้ ดัง Figure 6 พบว่า พื้นที่มีศักยภาพสูงที่สามารถรับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า  $>5.28 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$  เป็นพื้นที่โล่งและหลังคาที่สามารถรับแสงได้ตลอดช่วงเวลาที่เกิดแสง สามารถสังเกตภายในวงกลม หมายเลข 1 ใน Figure 7 และพื้นที่มีศักยภาพต่ำมาก

ไม่เหมาะสมแก่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ( $<1 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ ) พบเป็นพื้นที่สวนยางพาราและสวนปาล์มน้ำมัน และพื้นที่ที่มีไม้ยืนต้นสูงมากกว่า 11.00 เมตร สามารถสังเกตภายในวงกลม หมายเลข 2

**Table 7** Results from the assessment of areas with solar energy potential suitable for installing solar cells.

| Results from the assessment of areas with solar energy potential suitable for installing solar cells |                                                                          |                                                           |                                                           |                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Order                                                                                                | Details                                                                  | Solar energy potential areas ( $\text{m}^2$ )             |                                                           | Note.                                                            |
|                                                                                                      |                                                                          | Area 1                                                    | Area 2                                                    |                                                                  |
| 1                                                                                                    | High potential areas ( $>5.28 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ )              | 5,443.97 $\text{m}^2$ is 10.53 percent of the total area  | 122.01 $\text{m}^2$ is 0.18 percent of the total area     | Open area and roof that receives light throughout daylight hours |
| 2                                                                                                    | Medium potential areas ( $5.28\text{-}3.56 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ ) | 18,445.63 $\text{m}^2$ is 35.68 percent of the total area | 20,442.99 $\text{m}^2$ is 30.10 percent of the total area | Open area with intermittent shading at certain times             |
| 3                                                                                                    | Low potential areas ( $3.56\text{-}1 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ )       | 18,239.52 $\text{m}^2$ is 35.28 percent of the total area | 22,472.67 $\text{m}^2$ is 33.08 percent of the total area | The shaded area of tree canopies                                 |
| 4                                                                                                    | Very low potential areas ( $<1 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ )             | 2,330.14 $\text{m}^2$ is 4.51 percent of the total area   | 2,680.06 $\text{m}^2$ is 3.95 percent of the total area   | The area of rubber and palm plantations                          |
| 5                                                                                                    | The area with trees taller than 11.00 m.                                 | 7,240.28 $\text{m}^2$ is 14.00 percent of the total area  | 22,209.55 $\text{m}^2$ is 32.70 percent of the total area | The area unable to install solar cell                            |



**Figure 7** Solar radiation potential

## 5. การนำไปใช้ประโยชน์

การเลือกขนาดชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบ On Grid และ Off Grid สามารถทำได้เมื่อทราบเป้าหมายพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการแล้วสามารถคำนวณขนาดของแผงได้ โดยในที่นี้จะใช้สมการแนะนำที่มาจากบริษัทรับออกแบบระบบ ชื่อ SMA Solar Technology AG ประเทศเยอรมนี ดังแสดงในสมการที่ 4

ตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเลือกพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับการใช้งาน เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่ใช้ในการเกษตร และบ้านที่อยู่อาศัยทั่วไป โดยการหาขนาดชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้เพียงพอต่อความต้องการ โดยเลือกพิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพปานกลางที่มีค่า 3.56-5.28 kWh/m<sup>2</sup>-day จะใช้ E<sub>pv</sub> เท่ากับ 4.42 kWh/a/kWp และพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงมีค่ามากกว่า 5.28 kWh/m<sup>2</sup>-day จะใช้ E<sub>pv</sub> เท่ากับ 5.28 kWh/a/kWp

ยกตัวอย่างการใช้งานเครื่องสูบน้ำขนาดกลางทั่วไป รุ่น 3DPC3.8-123-110-1100 ที่ค่า HEAD 60 เมตร จะได้ค่า Flow rate ที่ประมาณเกือบ 2.5 ลบ.ม./ชม เครื่องสูบน้ำมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม 110 V และมีค่าการกินไฟฟ้าที่ 1,100 W มี Total Head MAX 123 เมตร การหาขนาดชุดแผงสำหรับเครื่องสูบน้ำที่ใช้เวลาเฉลี่ย 2 ชั่วโมงต่อวัน ต้องการใช้กำลังไฟฟ้า 2.2 kWh

พิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพปานกลาง

$$P_{PV} = (2.2 \times 1) / (4.42 \times 0.7) \\ = 0.711 \text{ kW หรือ ใช้แผงรวมประมาณ 750 W}$$

พิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง

$$P_{PV} = (2.2 \times 1) / (5.28 \times 0.7) \\ = 0.595 \text{ kW หรือ ใช้แผงรวมประมาณ 600 W}$$

หรืออีกยกตัวอย่างการใช้งานกำลังไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย 2 ชั้นทั่วไป ที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอย 125 ตารางเมตร จะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่สำคัญๆ คล้ายคลึงกัน ซึ่งทางสถิติค่าเฉลี่ยของครอบครัวนั้นมีประมาณ 4 คน จะมีอัตราความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยประมาณ 11.01 kWh เมื่อแทนค่าในสมการที่ 4 จะได้

พิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพปานกลาง

$$P_{PV} = (11.01 \times 1) / (4.42 \times 0.7) \\ = 3.558 \text{ kW หรือ ใช้แผงรวมประมาณ 3,600 W}$$

พิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง

$$P_{PV} = (11.01 \times 1) / (5.28 \times 0.7) \\ = 2.978 \text{ kW หรือ ใช้แผงรวมประมาณ 3,000 W}$$

## สรุปผลการทดลอง

การประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วย UAV สำหรับการประมาณค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DSM) พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่ารังสีดวงอาทิตย์มีความใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน เมื่อเทียบกับสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แสดงความสัมพันธ์ในระดับสูงมากในทิศทางบวก พบผลต่างระหว่างสองชุดข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมีค่าปริมาณแสงอาทิตย์มากกว่าข้อมูลสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ เป็นผลมาจากข้อมูลสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ได้วัดรวมถึงปริมาณความชื้น ไอน้ำในชั้นบรรยากาศ จึงทำให้ค่าที่วัดได้น้อยกว่าแบบจำลองพื้นผิว และจากข้อสังเกตข้อมูลค่าความเข้มรังสี พบว่าเดือนที่มีความเข้มของรังสีสูงอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน และเดือนที่มีความเข้มรังสีต่ำอยู่ในช่วงตุลาคมถึงธันวาคม ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝน และพบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เฉลี่ยสองพื้นที่เท่ากับ 9.37 ซึ่งเดือนที่มีค่าคลาดเคลื่อนร้อยละมากกว่า 10 ได้แก่ เดือนพฤศจิกายน ถึงกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นผลมาจากในช่วงเดือนนั้นมีอิทธิพลจากฤดูกาล และมรสุมในพื้นที่ (รวมถึงจำนวนพายุ) ทำให้เกิดความเบี่ยงระหว่างชุดข้อมูล เพราะการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขไม่คำนึงถึงอิทธิพลเหล่านี้ แต่โดยรวมค่าที่ประมวลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขมีความถูกต้อง สามารถใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ เพื่อนำมาใช้ประเมินศักยภาพเชิงพื้นที่สำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และสร้างแผนที่พื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ชุมชนบ้านท่าเมรุ ตำบลบางกล้า อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา พบว่า พื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสุดเป็นพื้นที่โล่งและพื้นผิวของหลังคาที่หันไปทางทิศใต้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์, 2564) ที่กล่าวว่า ประเทศไทยตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ แนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะอ้อมไปทางทิศใต้ ทำให้ทิศใต้เป็นทิศทางที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด และพื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ คือพื้นที่บริเวณไม้ยืนต้นและบริเวณโดยรอบที่มีเงาบังพื้นผิวตลอดช่วงเวลาที่เกิดแสง โดยแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ทำการวิเคราะห์เพียงหลังคา (Kausika et al., 2021)

และเมื่อนำมาประเมินศักยภาพเชิงพื้นที่ ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าการเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ศักยภาพสูงสามารถลดชุดแผงรวมของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศักยภาพปานกลาง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความถูกต้องในระดับเดซิเมตร สำหรับการสร้างแผนที่พื้นที่ที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ระดับครัวเรือน สอดคล้องกับ (วิลาวุธ ประสมทรัพย์, 2560) และมีต้นทุนที่ถูกกว่าการสำรวจด้วย LiDAR เพื่อวิเคราะห์รังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ทำให้เป็นแนวทางสำหรับการประมาณค่าเชิงพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์เพื่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในระดับครัวเรือน

### ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) มีความละเอียดเชิงพื้นที่มากเกินไป ทำให้ระยะเวลาล่าช้าในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการลดความละเอียดเชิงพื้นที่ (Resample) ให้มีความละเอียดน้อยลงเพื่อลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ ทั้งนี้การปรับความละเอียดของข้อมูลต้องดูความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และสำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระดับตำบล อำเภอ หรือการติดตั้งในลักษณะของโรงงานผลิตไฟฟ้า ควรเพิ่มข้อมูลด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ระยะห่างจากเส้นทางสายหลัก ระยะห่างจากโครงข่ายไฟฟ้า ระยะห่างจากพื้นที่เมือง เป็นต้น (สามารถ วงษ์ฤทธิ์, 2555) มาเป็นปัจจัยในการพิจารณา

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2567 และหน่วยงานของภาครัฐและผู้เชี่ยวชาญที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย.

### เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและ พลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 -2580 (AEDP2018)*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://www.dede.go.th/download/ Plan\\_62/20201021\\_TIEB\\_AEDP2018.pdf](https://www.dede.go.th/download/ Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf). (19 มีนาคม 2565).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2559). *คู่มือฝึกอบรมภาคปฏิบัติด้านพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https:// BibA11106คู่มือแสงอาทิตย์59.pdf](https://BibA11106คู่มือแสงอาทิตย์59.pdf) (dede.go.th). (23 ธันวาคม 2565).

คณะอนุกรรมการมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2564). *การพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ควบคู่กับการทำเกษตรกรรมในโรงเรือน (Greenhouse) จากแนวคิดนโยบายของสภาระยะประชาชนจีน*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://webkcc.dede.go.th/testmax/node/3151>. (21 กันยายน 2566).

วิลาวุธ ประสมทรัพย์, ดิณห์ ถิรกุลโตมร, ธนกร ทอดสูงเนิน, ศิลาภรณ์ จันทะลุน และ ภาณุวิชญ์ เอ็นดู. (2560). การประมาณค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข จากอากาศยานไร้คนขับ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา*, หน้า SGI22-1 - SGI22-6.

สามารถ วงษ์ฤทธิ์ และปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม. (2555). การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์*. กรุงเทพฯ. หน้า 158-165.

Choi, Y., Suh, J. & Kim, S. M. (2019). GIS-Based Solar Radiation Mapping, Site Evaluation, and Potential Assessment: A Review. *Applied Sciences*, 9(1960):1-29. DOI: 10.3390/app9091960.

Cioban, A., Criveanu, H., Matei, F., Pop, I., & Rotaru, A. (2013). Aspects of Solar Radiation Analysis using ArcGIS, *Bulletin UASVM Horticulture*. 70(2)/2013, 437-440. <https://www.researchgate.net/publication/311740728>.

Dubayah, R. & P.M. Rich, A. (1995). Topographic solar radiation models for GIS. *Journal of Geographic Information Systems* 9. Volume 9 (1995), 405-413. <https://doi.org/10.1080/02693799508902046>.

ESRI. *How Solar Radiation Is Calculated—ArcGIS Pro*. Documentation. Available online: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-solar-radiation-is-calculated.htm> (accessed on 21 February 2021).

- Hofierka, J.; Šúri, M. (2002). The solar radiation model for Open source GIS, *Implementation and applications. In Proceedings of the Open-source GIS—GRASS users conference 2002, Trento, Italy, 11-13 September 2002; pp. 51-70.*
- Mihăilescu, A., & Cornelia-Badea, A. (2019). Analysing Solar Radiation in Suceava. *E-Journal of Geodesy, Cartography and Cadastre, No,10 (2019), 49-54.* [https://jgcc.geoprevi.ro/index.php/issues/jgcc-no-10.](https://jgcc.geoprevi.ro/index.php/issues/jgcc-no-10)
- Kausika, B. B. & ; van Sark, W.G.J.H.M.. (2021). Calibration and Validation of ArcGIS Solar Radiation Tool for Photovoltaic Potential Determination in the Netherlands. *Energies 2021, 14(7), 1865.* [https://doi.org/10.3390/en14071865.](https://doi.org/10.3390/en14071865)
- Malgorzata, P. S. (2019). A GIS Open Source Software application for mapping solar energy resources in urban areas, *E3S Web of Conferences 116, 00060 (2019).* [https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600060.](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600060)
- Ramachandra, T.V. (2007). Solar energy potential assessment using GIS. *Energy Education Science and Technology 2007 Volume(issue) 18(2): 101-114.*
- Rich, P.M., R. Dubayah, W.A. Hetrick & S.C. Saving, S.C. (1994). Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation. applications in ecology, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524-529.*

## คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

### การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษรวมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt.** ตัวหนา

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt.** ตัวปกติ

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt.** ตัวหนา

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt.** ตัวหนา

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt.** ตัวบาง ซึ่งบทคัดย่อควรประกอบด้วย เนื้อหา 5 ส่วน คือ 1) ที่มาของปัญหาการวิจัย 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3) วิธีการศึกษาโดยย่อแต่ครอบคลุมรายละเอียด 4) ผลการวิจัย 5) สรุปและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ จำนวนคำไม่เกิน 350 คำ

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th)

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

## บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

**ชื่อเรื่อง (Title)** ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

**ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)]** และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

**บทคัดย่อ (Abstract)** เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 350 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

**คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

**บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาก่อนหน้า

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods)** ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

**ผลการศึกษา (Results)** รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

**วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion)** การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

**ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams)** ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

**กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

**เอกสารอ้างอิง (References)** ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th)

## เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฒ. (2547). หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่. ปิตีศึกษา.

## 2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สินฐานานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสาร  
ครุศาสตร์, 18 (2), 115-116.

## 3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ในชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชรภา ตันติสุขเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษา  
โดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการ  
และเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## 4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวส์ว่าไรต์: 'สื่อพิพิธภัณฑ' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต.  
เติลนิวส์, 4.

## 5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี. [http://drive.google.com/file/d/1HiTWiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI\\_Vc/view](http://drive.google.com/file/d/1HiTWiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view)

## Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

### Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**, The abstract should consist of 5 parts: 1) the origin of the research problem, 2) the objectives of the research, 3) a brief but detailed study method, 4) the research results, 5) a conclusion and guidelines for use.

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th).

**8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.**

### Research article / review article must be in sequence as follows:

**Title:** denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

**Name (s) of the author (s) :** denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

**Abstract:** This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **350 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

**Keywords:** Give 4-5 concise words to specify your article

**Introduction:** This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

**Materials and Methods:** A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

**Results:** Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

**Discussion and Conclusion:** Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

**Tables, figures, diagrams:** Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

**Acknowledgement:** the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

**References:** listed and referred in APA.

## Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4<sup>th</sup> ed.). SAGE.

### 2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

### 3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9)

### 4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

### 5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>



## **Aim and Scope:**

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

## **Ownership**

Maharakham University  
Editorial Office  
Division of Research Facilitation and Dissemination,  
Khamriang Sub-distict, Kantharawichai District,  
Maha Sarakham Province 44150  
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

## **Advisors**

President of Maharakham University  
Professor Dr.Visut Baimai  
Professor Dr.Vichai Boonsaeng  
Professor Dr.Peerarak Srinives

## **Editor-in-Chief**

Professor Dr.Preecha Prathepha

## **Assistant Editors**

Professor Dr.Pairot Pramual  
Maharakham University  
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun  
Maharakham University  
Professor Dr.Anongrit Kangrang  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Orawich Goompol  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag  
Maharakham University

## **Editorial Board**

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd  
Chulalongkorn University  
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Pranee Anprung  
Chulalongkorn University  
Professor Dr.Niwat Sonoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Wongsa Laohasiriwong  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul  
Khon Kaen University

Professor Dr.Sirikasem Sirilak  
Naresuan University  
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong  
National Institute of Development Administration  
Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Chawalit Boonpok  
Maharakham University  
Associate Professor Terdsak Khammeng  
Nakhon Phanom University  
Associate Professor Yuen Poovarawan  
Kasetsart University  
Associate Professor Dr.Natapol Pumipuntu  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana  
Ubon Ratchathani Rajabhat University  
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena  
Naresuan University  
Assistant Professor Dr.Walaiporn Tongjaroenbuengam  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom  
Maharakham University  
Dr.Rakjinda Wattanalai  
Siam University

## **Secretary**

Director of the Division of Research Facilitation and Dissemination

## **Assistant secretary**

Phakwilai Janloy  
Jirarat Puseerit

## **Six issues per year**

Number 1 January-February  
Number 2 March-April  
Number 3 May-June  
Number 4 July-August  
Number 5 September-October  
Number 6 November-December

วารสาร

# วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 44 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2568

ISSN (Print ) : 2985-2617  
ISSN (Online ) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY  
INDEXED IN

