



Volume 39 Number 2 March - April 2020

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 39 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2563



ปีที่ 39 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2563

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 39 Number 2 March - April 2020



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Indexed in TCI (Tier 2)



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
ตำบลขามเริญ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเภทา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิษา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรหม
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวลิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ยืน กุวรรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วงศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษัจจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Dr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสีฤทธิ์
นางพักตร์วิไล รุ่งวิสัย

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

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

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 Support and Development,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supanee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Praee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration

Associate Professor Dr.Pomtep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
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.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkom Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr.Adrian R. Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Jirarat Puseerit
Phakwilai Rungwisai

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

นับเป็นเวลากว่า 4 เดือนแล้ว ที่ทั้งโลกต้องเผชิญกับวิกฤตการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ COVID-19 ซึ่งเป็นโรคอุบัติใหม่ ที่เกิดจากเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ก่อให้เกิดปัญหาในวงกว้างทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม ชีวิตและสุขภาพของประชาชนในทุกพื้นที่รวมถึงในประเทศไทย ยิ่งไปกว่านั้นโรคระบาดดังกล่าวยังมีแนวโน้มที่จะยังแพร่กระจายอย่างต่อเนื่องโดยไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะสงบลงเมื่อใดหรือจะกลับมาระบาดซ้ำอีกหรือไม่ หากเปรียบเทียบการระบาดของโรค COVID-19 ในครั้งนี้ก็เหมือนการทำสงครามระหว่างมวลมนุษยชาติกับเชื้อไวรัสโคโรนา บุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุขเป็นนักรบผู้ซึ่งอยู่แนวหน้าในสงคราม COVID-19 ในขณะที่ นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยและนวัตกรรม ก็เปรียบเสมือนทัพหลังที่ต้องเร่งศึกษา ค้นคว้า วิจัย ข้อมูลต่าง ๆ ที่ยังไม่รู้เกี่ยวกับเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่นี้ ในทุก ๆ แง่มุม เพื่อทำความเข้าใจและหาทางป้องกันและควบคุมโรคเอาไว้ให้ได้ รวมถึงการไขข้อสงสัยต่าง ๆ ทั้งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์และนวัตกรรมต่าง ๆ ภายใต้สถานการณ์วิกฤติการณ์ COVID-19 เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ในการรักษา ควบคุมและป้องกันโรคอุบัติใหม่นี้ รวมถึงสถานการณ์และความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต จึงเห็นได้ว่าองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในแขนงต่าง ๆ นั้น มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการแก้ไขปัญหาหรือวิกฤตการณ์ที่เกิดขึ้น รวมถึงพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ พัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัย ก้าวทันต่อโลกยุคปัจจุบัน ที่การเปลี่ยนแปลงรอบ ๆ ตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นเข้ามามีส่วนสำคัญและสร้างผลกระทบต่อทุกแง่มุมของชีวิตมนุษย์หรือแม้กระทั่งผลกระทบต่อ สัตว์และสิ่งแวดล้อม แบบองค์รวม

แน่นอนว่าการตีพิมพ์เผยแพร่ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้ออกสู่สาธารณะ คือสิ่งที่สำคัญของนักวิจัยที่จะทำให้งานวิจัยนั้นเกิดความสมบูรณ์ เป็นการถ่ายทอดและรวบรวมองค์ความรู้ที่ได้เพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์หรือนำไปต่อยอดต่อไปในอนาคต รวมถึงยังเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลกับนักวิจัยคนอื่น ๆ ด้วย วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จึงมีความมุ่งหมายที่จะเป็นสื่อกลางในรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลจากนักวิจัยในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี รวมถึงวิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข โดยเน้นผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ มีตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (peer reviewers) ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้น ๆ กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบพระคุณนักวิจัยทุกท่าน ที่ได้เลือกวารสารของเราสำหรับใช้ในเผยแพร่ตีพิมพ์งานวิจัยของท่านซึ่งเป็นที่มาของข้อมูลอย่างยิ่ง ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาบทความวิจัย และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ช่วยกันจัดทำวารสารนี้ขึ้นมาด้วยความมุ่งมั่นตั้งใจ ต่อเนื่องยาวนาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ความหลากหลายของหอยทากบก บริเวณภูเขาหินปูนในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู

ภาพปก : ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และคณะ. 2562, 190-199.

สารบัญ

Engineering

- ผลการเติมพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทีลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท 144
The Effect of Adding Plasticizer on the Properties of Polylactic acid and Polybutylene adipate-co-terephthalate Blended Films
ภาลัดดา เนืองแก้ว, ยศฐา ศรีเทพ, เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป
Paladda Neangkaew, Yottha Srithep, Keartisak Sriprateep
- อิทธิพลของวานาเดียมต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo 151
Influence of Vanadium on Two-body Abrasive Wear Resistance of 16%Cr - 2%Mo Cast Iron
พิสิฐชัย โคสะสุ, สุตสาคร อินธิเดช
Pisizchai Kosasu, Sudsakorn Inthidech
- การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไขกับแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า 159
Comparison of the performance of step conditional and fuzzy logic pulse adjustment for power sharing systems
ธนวัฒน์ นิลขาว, ชวโรจน์ ใจสิน, ปุณยสิริ บุญเป็ง
Thanawat Ninkhoa, Chawaroj Jaisin, Poonyasiri Boonpeng
- การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* ในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี 167
Biogas Quality Improvement with *Chlorella sp.* in a Helical Tubular Photobioreactor in LED Light
ธัญวัฒน์ กลั่นควัฒน์, ชวโรจน์ ใจสิน, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, ปุณยสิริ บุญเป็ง, รจพรรณ นิรัญศิลป์
Tanyawat Klancoowat, Chawaroj Jaisin, Jutaporn Chanathaworn, Poonyasiri Boonpeng, Rotjapun Nirunsin
- การลดพลังงานในการอบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโลขนาด 300 ตัน โดยการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ 174
Reducing energy consumption for the drying of 300 tons of rice paddy in silos with heat recovery
อมร ดอนเมือง, นิรุต อ่อนสลุง, สุริยา โชคเพิ่มพูน
Amorn Donmueng, Nirut Onsalung, Suriya Chockphermpon

สารบัญ

Agriculture

ผลของการปลูกร่วมกันสองพันธุ์ต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย 182

Effect of two-mixed cultivars planting system on yield and yield component of sugarcane

เสวตฉัตร เศษโถ, จริยา นามวงษา, นันทวุฒิ จรุงกลาง, พัชริน สงศรี

Sawettachat Set-tow, Jariya Namwongsa, Nuntawoot Jongrunklang, Patcharin Songsri

Biological Science

ความหลากหลายชนิดของหอยทากบก บริเวณภูเขาหินปูนในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู 190

Species diversity of land snails in limestone hills in Loei and Nong Bua Lamphu Provinces

ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ, ชัญญชิตา สายวันดี, วัชรพงษ์ ไสสว่าง, ศรัณย์ กองมณี,
ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ

Chanidaporn Tumpeesuwan, Chananchida Saiwande, Watcharapong Saisawang,

Saran Kongmanee, Sakbaworn Tumpeesuwan

การเปรียบเทียบกิจกรรมต้านเชื้อราระหว่างส่วนใสปราศจากเซลล์ที่ได้จาก 200

การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Xenorhabdus stockiae* PB09 ในระดับฟลาสก์และระดับถังหมัก

Comparison Between Antifungal Activities of *Xenorhabdus stockiae* PB09 Cell-free Supernatants

Derived from Shake-Flask Cultivation and Fermentation

ประภัสสร บุษหมั่น, จิรายุ สาอุตม์, ปวีณา รัตนเสนา

Prapassorn Bussaman, Chirayu Sa-uth, Paweena Rattanasena

การตรวจแยกแล็กติกแอซิดแบคทีเรียที่มีศักยภาพเป็นโพรไบโอติกจากอาหารหมัก 206

Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potential from fermented foods

ปาริชาติ พุ่มขจร, พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ

Parichat Phumkhachorn, Pongsak Rattanachaikunsopon

ประสิทธิภาพของเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการควบคุมเชื้อรา 213

***Pestalotiopsis* spp. สาเหตุโรคใบจุดในมะม่วง**

Efficacy of *Streptomyces* sp. Isolate SRF1 to Control the Fungus *Pestalotiopsis* spp.,

Causal Agent of Mango Leaf Spot

อภิเดช แสงดี, นัฐนนท์ แจ่มสูงเนิน, ขนิษฐา สมตระกูล, ประภาศ กาวีชา

Aphidech Sangdee, Nattanon Jaesungnoen, Khanitta Somtrakoon, Praphat Kawicha

สารบัญ

Computer and Information Technology

การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว และเส้นทางอพยพ :
กรณีศึกษาบริเวณเขตน้ำท่วมลุ่มน้ำย่อยคลองนาทวี จังหวัดสงขลา 224

**Analysis of Suitable Areas for Shelters and Evacuation Routes: A Case Study
of the Flood Areas in Khlong Nathawi Subwatershed, Songkhla Province**

ธิดาภัทร อนุชาญ

Thidapath Anucharn

การรู้จำกิจกรรมประจำวันของมนุษย์แบบปรับตัวได้ โดยใช้ข้อมูลจากตัวรับรู้
แอคเซลโรมิเตอร์ของสมาร์ทโฟน 237

**Adaptive Human Daily Activity Recognition Using Accelerometer Sensory Data
from Smartphones**

อุรีรัฐ สุขสวัสดิ์ชน, จักริน สุขสวัสดิ์ชน, วรวิทย์ วีระพันธุ์, เหมรัตน์ วชิรหัตถพงษ์,
วิทวัส พันธุมจินดา

Ureerat Suksawatchon, Jakkarin Suksawatchon, Worawit Werapan,

Hemmarat Wachirahatthapong, Wittawas Puntumchinda

ผลการเติมพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทีลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท

The Effect of Adding Plasticizer on the Properties of Polylactic acid and Polybutylene adipate-co-terephthalate Blended Films

ภาลัดดา เนื่องแก้ว¹, ยศฐา ศรีเทพ^{2*}, เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป³

Paladda Neangkaew¹, Yottha Srithep^{2*}, Keartisak Sriprateep³

Received: 19 April 2019 ; Revised: 23 August 2019 ; Accepted: 18 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ในปริมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักผสมพอลิบิวทีลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท (PBAT) ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) ที่ปริมาณการเติม 2, 5, 10 และ 15 phr ขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการหล่อขึ้นรูปด้วยตัวทำละลาย (solvent casting) โดยใช้คลอโรฟอร์ม จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน อัตราการไหลของพลาสติก และลักษณะทางสัณฐานวิทยา จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า การเติมพลาสติกไซเซออร์ส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็น (T_c) และอุณหภูมิการหลอมเหลวลดลง (T_m) ชิ้นงานที่ไม่เติมพลาสติกไซเซออร์มีอุณหภูมิการหลอมเหลว 148.52 องศาเซลเซียส เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ 15 phr อุณหภูมิการหลอมเหลวเหลือ 139.86 องศาเซลเซียส การเติมพลาสติกไซเซออร์ส่งผลให้อัตราการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเพิ่มขึ้น ในผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของฟิล์มมีความเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น และการทดสอบสมบัติทางกลที่ปริมาณการเติมพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้นจาก 2 ถึง 10 phr ทำให้ค่าความเค้นแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์มีการยืดตัว ณ จุดขาด 195 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ 10 phr ทำให้การยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเป็น 216 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ 15 phr ทำให้ค่าความเค้นแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงเป็น 120 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นที่ปริมาณการเติมพลาสติกไซเซออร์ 10 phr ฟิล์มจะมีความเหนียวและยืดหยุ่นมากที่สุด

คำสำคัญ: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทีลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท พลาสติกไซเซออร์ พลาสติกเบลน

Abstract

This research aims to increased toughness and flexibility of polylactic acid at a concentration of 80 percent by weight blended with 20 percent by weight of polybutylene adipate-co-terephthalate by adding plasticizer at the amount of 2 5 10 and 15 phr. The films were formed by a solvent casting process using chloroform as the solvent. The films were examined for their mechanical, thermal, melt flow index and morphology properties. It was found that the addition of plasticizers reduced glass transition temperature (T_g), cold crystallization temperature (T_c) and melting temperature

¹ นิสิตปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³ รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate students, ² Asst. Prof., ³ Assoc. Prof., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author; Asst. Prof. Yottha Srithep, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: yottha.s@msu.ac.th

(T_m). The sample that did not contain plasticizer showed a melting temperature (T_m) of 148.52°C but T_m decreased to 139.86°C with addition plasticizer at 15 phr. Moreover, adding plasticizer increased melt flow rates of the polymer. The increase in plasticizer concentration improved the cross-sectional area of the film which was smooth and homogeneous. The addition of plasticizers from 2 to 10 phr increased tensile strength and elongation at break. The sample that did not have plasticizers showed elongation at break of 195% and adding 10 phr of plasticizers the elongation at break increased to 216%. However, adding plasticizers 15 phr reduced the tensile strength and elongation at break to 120%. Therefore, the amount of plasticizer 10 phr films had highest toughness and elasticity.

Keywords: Biodegradable plastic, Polylactic acid, Polybutylene adipate-co-terephthalate, Plasticizer, Plastic blend

บทนำ

พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid, PLA) เป็นพอลิเอสเทอร์แบบกึ่งผลึกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในปัจจุบันมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดเป็นแผ่น การเป่าเป็นฟิล์ม การเทอร์โมฟอร์ม การปั้นหลอมเส้นใย การนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ PLA ยังมีสมบัติที่สามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ จึงเหมาะสำหรับงานทางการแพทย์ และงานด้านบรรจุภัณฑ์ถูกนำมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ของและอาหาร รวมไปถึงการผลิตขวดบรรจุภัณฑ์

การนำ PLA ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ จะต้องนำไปผสมกับสารเติมแต่งหรือพลาสติกชนิดอื่นเนื่องจาก PLA มีความเปราะสูง หากจะนำไปประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นเช่น การขึ้นรูปเป็นถุงพลาสติกจำเป็นจะต้องปรับปรุงสมบัติก่อน จากการศึกษาที่ผ่านมาของภาลัดดา และยศฐา¹ ได้มีการปรับปรุงสมบัติของ PLA โดยนำไปผสมกับพอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรฟทาเลท (PBAT) ในการเป่าขึ้นรูปเป็นถุงพลาสติก เพราะ PBAT เป็นพลาสติกที่มีสมบัติความเหนียวและยืดหยุ่นสูงแต่มีราคาสูงกว่า PLA ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การผสมพลาสติกเบลนระหว่าง PLA กับ PBAT ที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก; 80:20 ให้ค่าแรงและระยะยืดเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากในการตัดสินใจต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต แต่คุณสมบัติที่ได้ยังไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับถุงพลาสติกที่ใช้ในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาสมบัติความเหนียวและความยืดหยุ่นของฟิล์ม PLA/PBAT โดยจากการศึกษาของ Natalia Herrera และคณะ² ได้มีการนำพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) ชนิด Glycerol triacetate (GTA) มาผสมกับ PLA และพลาสติกไซเซออร์อื่นอีก 2 ชนิด ที่สัดส่วนการเติม GTA 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก แต่งานวิจัยยังเป็นเพียงการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวัสดุผสมอ้างอิงกับวัสดุผสมระดับนาโนเท่านั้น ยังไม่มีการคิดค้นหรือนำมาพัฒนาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้

นำพลาสติกไซเซออร์ชนิด Glycerol triacetate (GTA) มาปรับปรุงสมบัติดังกล่าวของฟิล์มพลาสติกเบลน เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปพัฒนาและต่อยอดใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบในการทดลองมีดังต่อไปนี้ เม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (PLA) เกรด 4043D บริษัท NatureWorks จำกัด มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 1.24 ความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity) 4.0 พอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรฟทาเลท (PBAT) หรือชื่อทางการค้า ECOFLEX® เกรด F Blend C1200 บริษัท BASF จำกัด พลาสติกไซเซออร์ (plasticizers) ชนิด Triacetin – 99% (FCC,FG) บริษัท ซิกม่า-อัลดริช (ประเทศไทย) จำกัด มีจุดวาบไฟ (flash point) 138°C ความหนาแน่น 1.16 g/mL ที่ 25°C และตัวทำละลาย ชนิดคลอโรฟอร์ม (chloroform: CHCl₃) ชนิดที่มีความเสถียรด้วยเอทานอลประมาณ 0.6% มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 61°C ความหนาแน่น 1.498 g/mL

การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก

งานวิจัยนี้ทำการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกโดยวิธีหล่อขึ้นรูปด้วยตัวทำละลาย (solvent casting) คลอโรฟอร์มที่อัตราส่วนคลอโรฟอร์ม 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พลาสติก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเติมพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr (part per hundred) โดยใช้เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ในการทำละลายใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะทำการศึกษาที่อัตราส่วนผสมดัง Table 1 เมื่อละลายส่วนผสมจนเป็นของเหลว จากนั้นนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเทของเหลวดังกล่าวลงถาดแก้วที่ปริมาณ 6 mL ปล่อยให้แห้งแล้วลอกออกก็จะได้ฟิล์มพลาสติกที่จะใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ

การทดสอบสมบัติทางกล

สมบัติทางกลเป็นการทดสอบเพื่อหาความต้านทานแรงดึงของฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีความกว้าง 15 mm ความยาว 45 mm และความหนา 0.25 mm จำนวนตัวอย่างละ 3 ชิ้นงานทดสอบ โดยใช้ความเร็วในการดึง 2 mm/min ระยะห่างของหัวจับเท่ากับ 15 mm ทำการดึงจนชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน

Table 1 Formula PLA/PBAT/Plasticizer blends

Specimen	PLA (wt%)	PBAT (wt%)	Plasticizer (phr)
1. 100/0/0	100	0	0
2. 0/100/0	0	100	0
3. 80/20/0	80	20	0
4. 80/20/2			2
5. 80/20/5			5
6. 80/20/10			10
7. 80/20/15			15

หมายเหตุ phr (parts per hundred parts of resin) หมายถึง ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ต่อ 100 ส่วนของ PLA/PBAT โดยมวล

การทดสอบสมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนทำการทดสอบด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยใช้เครื่อง DSC-4000 ยี่ห้อ PerkinElmer ในการทดสอบจะตัดชิ้นงานทดสอบให้มีน้ำหนัก 3 - 5 mg บรรจุในภาดอลูมิเนียม จากนั้นให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบตั้งแต่ -10°C ถึง 200°C ที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงจาก 200°C จนไปถึง -10°C ที่อุณหภูมิ -10°C เป็นเวลา 3 นาที และให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบอีกครั้ง โดยใช้อัตราในการให้ความร้อน (heating rate) 10 °C/min ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็น (T_{cc}) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของชิ้นงานทดสอบหาได้จากการพิจารณา Thermogram ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (X_c) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$x_c(\%) = \frac{\Delta H_m}{(f \times \Delta H_m^c)} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ΔH_m^c เป็นค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของผลึก PLA 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 93 J/g และ f เป็นสัดส่วนน้ำหนักในการผสมของ PLA

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกเบลน เช่น ลักษณะพื้นผิวภายนอก ร่องรอยของการแยกตัวกันของสารประกอบแต่ละชนิด การแยกเฟสกันของส่วนผสมในกรณีที่มีส่วนผสมหลายอย่างรวมกัน เป็นต้น โดยจะทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Desktop Scanning Electron Microscopes: MiniSEM) ยี่ห้อ SEC รุ่น SEC-4500M

การทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก

อัตราการไหลของพลาสติก (Melt Flow Index, MFI) เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติการไหลตัวของพลาสติกเหลวจำพวก Thermoplastics เนื่องจากค่า MFI เป็นตัวบ่งชี้ถึงสมบัติของพลาสติกในการนำไปใช้งานแต่ละประเภท และค่า MFI ยังเป็นค่าพื้นฐานสำหรับการควบคุมคุณภาพของเม็ดพลาสติกอีกด้วย ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1238 ด้วยเครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก Melt Flow Indexer ยี่ห้อ Tinius Olsen รุ่น MP1200 ซึ่งการทดสอบจะคล้ายกับกระบวนการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ใช้น้ำหนักกดที่ 2.16 กิโลกรัม กดลงบนแท่งกด โดยให้แท่งกดกระทำกับพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวจะไหลผ่านหัวดายน์ออกมา และทำการตัดทุก 10 วินาที ตัดจนพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบไหลออกมาหมด ทำการชั่งน้ำหนักพลาสติกที่ไหลออกมาเทียบกับเวลา 10 นาทีก็จะได้ค่า MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัม /10 นาที (g/10min)^{3,4}

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากTable 2 และFigure 1 แสดงกราฟ DSC ของฟิล์ม PLA/PBAT/Plasticizer พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PLA บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 56.06°C เมื่อนำ PLA ผสมกับ PBAT ที่อัตราส่วน 80/20 ค่า T_g ลดลงเล็กน้อยที่ 55.63 °C จากนั้นเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr จะมีค่า T_g คือ 49.86 43.73 37.20 และ 35.83°C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจะมีค่าลดลงตามปริมาณพลาสติกไซเซอร์เช่นเดียวกับอุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็น และอุณหภูมิการหลอมเหลว พบว่า อุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็น (T_{cc}) ของ PLA บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 116.22°C PLA ผสมกับ PBAT ค่า T_{cc} เพิ่มขึ้นเป็น 122.88°C เมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr จะมีค่า T_{cc} คือ 117.55 111.24 105.20 และ 102.88°C ตามลำดับ และอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ PLA บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 147.18°C และ PBAT บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 122.20°C เมื่อผสม PLA เข้ากับ PBAT ทำให้ค่า T_m เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 148.52°C เมื่อทำการเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr พบว่าค่า T_m เท่ากับ 145.53 142.54 141.00 และ 139.86°C ตามลำดับ

ดังนั้นจากการทดสอบสมบัติทางความร้อนสามารถสรุปได้ว่า PLA และ PBAT เข้ากันได้ดีมากยิ่งขึ้น เป็นผลมาจากพลาสติกไซเซอร์ช่วยให้โมเลกุลเกิดการขยับตัวได้ง่ายขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์ไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดและเข้าไปเพิ่มที่ว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดต่ำลง และยังส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็นและอุณหภูมิการหลอมเหลวลดลงด้วยเช่นกัน⁵

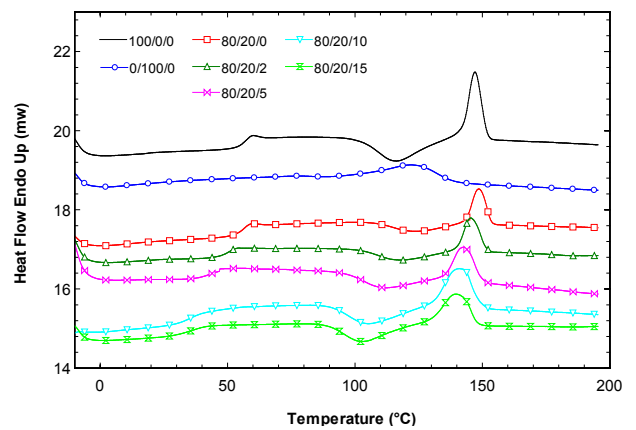


Figure 1 DSC thermograms of PLA/PBAT/plasticizer from 2nd heating curves

Table 2 Thermal properties of PLA/PBAT/Plasticizer film

Specimen (PLA/PBAT/Plasticizer)	T_g (°C)	Crystallization		Melting point		X_c (%)
		ΔH_{cc} (J/g)	T_{cc} (°C)	ΔH_m (J/g)	T_m (°C)	
100/0/0	56.06	-18.58	116.22	17.67	147.18	0.98
0/100/0	-	-	-	13.80	122.20	14.84
80/20/0	55.63	-5.82	122.88	7.39	148.52	2.10
80/20/2	49.86	-7.56	117.55	9.92	145.53	3.18
80/20/5	43.73	-9.42	111.24	11.91	142.54	3.35
80/20/10	37.20	-13.12	105.20	15.82	141.00	3.64
80/20/15	35.83	-12.06	102.88	11.89	139.86	0.23

ผลการทดสอบสมบัติทางกล

ผลการทดสอบแรงดึงแสดงดัง Table 3 Figure 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่า ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) ที่ใช้ในการดึง PBAT บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 4.65 เมกะปาสคาล (MPa) และ PLA บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 14.21 MPa เมื่อนำ PLA ผสมกับ PBAT ที่อัตราส่วน 80/20 ความเค้นแรงดึงมีค่าเท่ากับ 14.37 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PLA บริสุทธิ์ จากนั้นทำการเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 5 10 และ 15 phr พบว่าความเค้นแรงดึงมีค่าเท่ากับ 14.67 15.18 16.39 และ 10.00 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 2 5 และ 10 phr ค่าความเค้นแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 15 phr ค่าความเค้นแรงดึงลดลง

พิจารณาการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) พบว่า PBAT บริสุทธิ์มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมากกว่า 444 เปอร์เซ็นต์ (ในการทดสอบชิ้นงานทดสอบไม่ขาดออกจากกัน เนื่องจากหมดระยะที่เครื่องมือทดสอบสามารถยืดออกได้) ส่วน PLA บริสุทธิ์มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 146 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำ PLA ผสมกับ PBAT ที่อัตราส่วน 80/20 การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเท่ากับ 198 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 5 10 และ 15 phr การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเท่ากับ 200 216 245 และ 144 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 ถึง 10 phr การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ปริมาณการเติมพลาสติกไซเซออร์ 15 phr ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง อาจเกิดจากการเกาะตัวเข้าด้วยกันของพลาสติกไซเซออร์

เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัส (modulus) พบว่า PLA บริสุทธิ์มีค่ามอดูลัสสูงที่สุดเท่ากับ 102.77 กิโลปาสคาล (kPa) แสดงให้เห็นว่า PLA มีความแข็งแรงสูง แต่เปราะและเกิดการแตกหักได้ง่าย ที่ PBAT บริสุทธิ์มีค่ามอดูลัสน้อยที่สุดคือ 22.94 kPa หมายความว่า PBAT มีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง เมื่อผสม PLA เข้ากับ PBAT ที่อัตราส่วน 80/20 ค่ามอดูลัสเท่ากับ 79.95 kPa ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างค่ามอดูลัสของ PLA และ PBAT เป็นผลจากการนำพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแตกต่างกันทั้งสองชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน ทำให้ฟิล์มมีทั้งความเหนียวและความแข็งแรง จากนั้นเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr ค่ามอดูลัสเท่ากับ 94.84 94.45 81.95 และ 82.99 kPa ตามลำดับ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า พลาสติกไซเซออร์มีผลต่อสมบัติทางกลของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณการเติมไม่เกิน 10 phr ซึ่งเป็นผลมา

จากพลาสติกไซเซออร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด (PLA/PBAT) ทำให้โมเลกุลขยับตัวได้ง่ายส่งผลให้ความเหนียวเพิ่มขึ้น

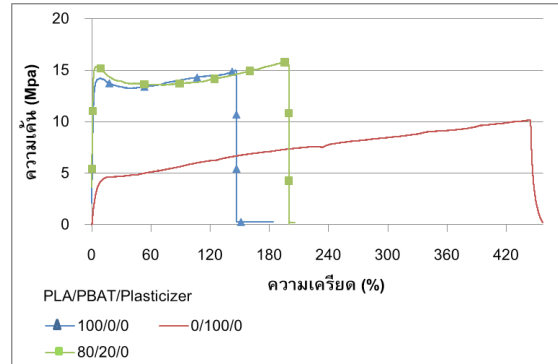


Figure 2 Stress - stress relationship graphs of films PLA, PBAT and PLA/PBAT: 80/20

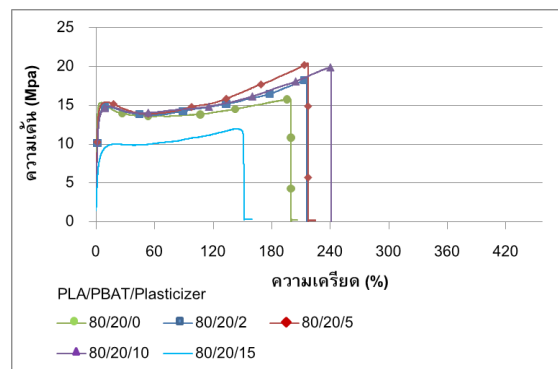


Figure 3 Stress - stress relationship graphs of film PLA/PBAT/Plasticizer

ผลการทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก

จาก Table 4 ผลการทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก พบว่า PLA บริสุทธิ์มีค่าดัชนีการหลอมไหล (MFI) เท่ากับ 8.34 g/10 min และ PBAT บริสุทธิ์ค่า MFI เท่ากับ 35.16 g/10 min เมื่อนำ PLA ผสมกับ PBAT ที่อัตราส่วน 80/20 ค่า MFI เท่ากับ 8.59 g/10 min จากนั้นเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr MFI มีค่าเท่ากับ 10.47 12.17 20.11 และ 25.49 g/10 min ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าพลาสติกไซเซออร์ส่งผลต่ออัตราการไหลของฟิล์มพลาสติกในสถานะหลอมเหลว เนื่องจากสมบัติของพลาสติกไซเซออร์ที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติกทั้งสองชนิด ทำให้โมเลกุลขยับตัวได้ง่ายขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมพลาสติกไซเซออร์⁶

Table 3 Tensile test of plastic films PLA/PBAT/Plasticizer

Specimen PLA/PBAT/Plasticizer	Tensile Strength (MPa)	Modulus (kPa)	Elongation at break (%)
100/0/0	14.21±1.20	102.77±1.69	146±2.00
0/100/0	4.65±0.37	22.94±1.65	444±0.96
80/20/0	14.37±2.56	79.95±8.66	198±8.65
80/20/2	14.67±0.32	94.84±4.82	200±8.31
80/20/5	15.18±1.49	94.45±5.26	216±1.17
80/20/10	16.39±0.95	81.95±4.25	245±5.88
80/20/15	10.00±1.10	82.99±9.69	144±7.27

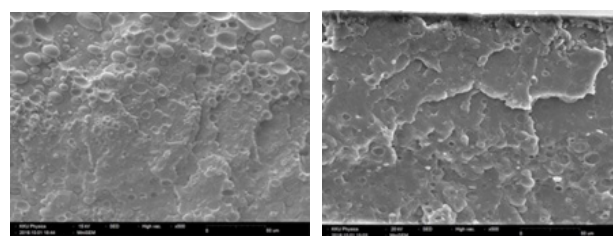
Table 4 Melt flow index of PLA/PBAT/Plasticizer

Specimen (PLA/PBAT/Plasticizer)	Melt Flow Index (g/10 min)
100/0/0	8.34
0/100/0	35.16
80/20/0	8.59
80/20/2	10.47
80/20/5	12.17
80/20/10	20.11
80/20/15	25.49

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

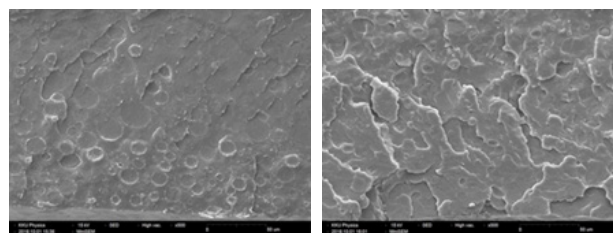
จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า ที่อัตราส่วน PLA/PBAT/Plasticizer: 80/20/0 ดัง Figure 4 (a) จะเห็นโครงสร้างภายในมีลักษณะขรุขระ เป็นผลมาจากพลาสติกทั้งสองชนิดยังเข้ากันได้ไม่ดี และเมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ปริมาณ 2 5 10 และ 15 phr ดัง Figure 2 (b-e) ตามลำดับ พบว่า ลักษณะของพื้นที่หน้าตัดมีความเรียบขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการเติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ปริมาณการเติม 15 phr โครงสร้างภายในมีลักษณะเกาะกันเป็นแผ่นใหญ่ มีความเรียบเนียน แสดงให้เห็นว่าพลาสติกไซเซออร์มีผลต่อความเข้ากันได้ของฟิล์มพลาสติกเบลน ส่งผลให้พลาสติกมีความเหนียว

ความนิ่มมากขึ้น และยังช่วยให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น



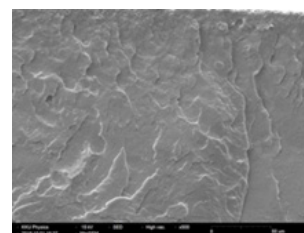
(a) 80/20/0

(b) 80/20/2



(c) 80/20/5

(d) 80/20/10



(e) 80/20/15

Figure 4 SEM cross - sectional area images of film PLA/PBAT/Plasticizer

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซอรันในฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท (PLA/PBAT) จากการทดสอบสมบัติทางกลจะเห็นว่าที่ PLA/PBAT: 80/20 เปอร์เซ็นต์ ความเค้นแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเท่ากับ 14.37 MPa และ 198 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเติมพลาสติกไซเซอรันที่ 10 phr ค่าความเค้นแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 16.39 MPa และ 245 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราการไหลเป็นตัวบ่งชี้สมบัติของพลาสติกในการนำไปใช้งาน การเติมพลาสติกไซเซอรันส่งผลให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลาสติกไซเซอรันที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติกทั้งสองชนิด ทำให้โมเลกุลขยับตัวได้ง่ายขึ้น ผลการทดสอบสมบัติทางร้อนของฟิล์ม PLA/PBAT ที่เติมพลาสติกไซเซอรันทำให้ทราบว่าการเติมพลาสติกไซเซอรันส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึกแบบเย็น (T_{cc}) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ลดลง เนื่องจากโมเลกุลของพลาสติกไซเซอรันไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดและเข้าไปเพิ่มที่ว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล ลักษณะทางสัญญาณวิทยาสารบอกถึงความเข้ากันได้ดีของฟิล์มเมื่อเติมพลาสติกไซเซอรัน เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของฟิล์มมีความเรียบขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการเติมพลาสติกไซเซอรัน จากการศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซอรันทำให้ทราบว่า พลาสติกไซเซอรันจะช่วยเพิ่มสมบัติความเหนียวและยืดหยุ่นของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ซึ่งสามารถนำผลการศึกษากิจการงานวิจัยนี้ไปพัฒนาและต่อยอดในการผลิตถุงพลาสติกชีวภาพในเชิงอุตสาหกรรมได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ขอนแก่นพลาสติก ประชาสโมสร จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการขึ้นรูปถุงพลาสติก บุคลากรและสถานที่ในการทำวิจัย และได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ในโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) จึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. ภาลัดดา เนื่องแก้ว และ ยศฐา ศรีเทพ. การผลิตถุงพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลทและสารเพิ่มความยาวสายโซ่. In: การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 13.” 2560. p. 187–196.
2. Herrera N, Roch H, Salaberria AM, Pino-Orellana MA, Labidi J, Fernandes SCM, et al. Functionalized blown films of plasticized polylactic acid/chitin nanocomposite: Preparation and characterization. Mater Des [Internet]. 2016;92: p. 846–852. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.83>
3. สรวีย์ มีศักดิ์สยาม. การทดสอบ. In: ผลกระทบของการเติมเส้นใยทะเลลายปาล์มในพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตต่อสมบัติเชิงกล. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2559. p. 54–55.
4. อาสลิท ทิพย์ไกรสร และ วิภู ศรีสืบสาย. การทดลองศึกษาอัตราการไหลของพลาสติก Polycarbonate(PC)/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(ABS) ที่ผสมคาร์บอนแบล็ค (Carbon Black). คลังความรู้ดิจิทัล มก. 2556; p. 1–8.
5. อุษารัตน์ รัตนคำนวน. ผลของพลาสติกไซเซอรันที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มเซลลูโลสเอสเตอร์จากฟางข้าวและเปลือกข้าวโพด. In สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2015. Available from: <https://programming.cpe.ku.ac.th/AgrInformatics/viewProject.php?itemID=4912>
6. Vieira MGA, Da Silva MA, Dos Santos LO, Beppu MM. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. European Polymer Journal (Internet). 2011; 47(3): p. 254–263. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>

อิทธิพลของวานาเดียมต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo

Influence of Vanadium on Two-body Abrasive Wear Resistance of 16%Cr - 2%Mo Cast Iron

พิสิชญัย โคะสะสุ^{1*}, สุดสาคร อินธิเดช²

Pisizchai Kosasu^{1*}, Sudsakorn Inthidech²

Received: 23 April 2019 ; 23 August 2019 Revised: ; Accepted: 16 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo โดยนำเหล็ก (แทนด้วย %) ที่เติม 0 - 3%V ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน อบอ่อนชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและเย็นตัวในเตา ชุบแข็งชิ้นงานโดยการอบที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเย็นตัวด้วยน้ำมัน อบคืนตัวชิ้นงานชุบแข็งที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเย็นตัวในอากาศ ทดสอบความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6037 พบว่าความแข็งของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของธาตุวานาเดียม และสภาวะของกรรมวิธีทางความร้อน กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียและระยะทางการสึกหรอเป็นแบบเส้นตรง ในทุกชิ้นงาน อัตราการสึกหรอ (Rw, mg/m) ของชิ้นงานลดลงเมื่อความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่า Rw ลดลงเล็กน้อยเมื่อเติม 1%V จากนั้นจะลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณวานาเดียมเพิ่มขึ้น ค่า Rw ต่ำสุดได้จากชิ้นงานอบคืนตัวที่ 500°C ส่วนค่า Rw สูงสุดได้จากชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C ความต้านทานการสึกหรอสูงสุดได้จากชิ้นงานที่เติม 3%V

คำสำคัญ: เหล็กหล่อโครเมียมสูง กรรมวิธีทางความร้อน การสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุ ความแข็ง ผลของวานาเดียม

Abstract

In this research, the two-body-type abrasive wear resistance of heat-treated 16wt% Cr - 2wt% Mo (as shown by %) with 0 - 3%V cast iron was investigated. The test specimens were annealed at 900°C for 3 h and cooled in a furnace. The annealed specimens were held at 1000°C for 1.5 h and hardened by oil-quenching. The as-hardened specimens were tempered at 450, 500 and 550°C for 2 h and cooled in air. The two-body abrasive wear resistance of specimens was evaluated according to ASTM D6037. It was found that the hardness of specimens varied depending on the vanadium content and heat treatment condition. A linear relationship between wear loss and wear distance was obtained in all specimens. The wear rate (Rw, mg/m) decreased with an increase in the hardness. The Rw value slightly reduced as the vanadium content rose to 1%. At greater than 1%V, the Rw decreased remarkably. At each

¹ อาจารย์, ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000.

² รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150.

¹ Lecturer, Department of Science in Technical Education (Industrial Engineering), Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology IsanKhonkaen Campus, Muang, Khonkaen, 40000, Thailand, Tel. 043-336370-1

² Assoc. Prof., Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamreang, Kantharawichai, MahaSarakham, 44150, Thailand, Tel.043-754-316 Ext. 3037 Fax. 043-754-316

* Corresponding author E-mail: pisizchai.k@gmail.com

vanadium content, the lowest R_w value was obtained in the specimen tempered at 500°C and the highest value of R_w was obtained in the specimen tempered at 550°C. The highest wear resistance was obtained in the 3%V specimen.

Keywords: high Cr cast iron, heat treatment, two-body abrasive wear resistance, hardness, V effect

บทนำ

เหล็กหล่อโครเมียมสูงจัดอยู่ในกลุ่มเหล็กหล่อทนการสึกหรอแบบขัดสีที่ใช้ในงานในปัจจุบัน โดยผลิตเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ซีเมนต์ เหล็กกล้า และเซรามิก เป็นต้น เนื่องจากมีความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีสูง ส่วนผสมที่ใช้งานจะมีปริมาณโครเมียม (Cr) ในช่วง 12 - 30% โดยน้ำหนัก (จากนี้ไปแทนด้วย %) และปริมาณคาร์บอน (C) ในช่วง 2.0 - 3.6%^{1,2} โครงสร้างจุลภาคในสภาพหล่อของเหล็กหล่อโครเมียมสูงประกอบด้วยคาร์ไบด์ ยูเทคติกประเภท M_7C_3 ที่มีความแข็งสูงประมาณ 1500HV¹ และมีเนื้อพื้นที่เป็นได้ทั้งออสเทนไนต์ มาร์เทนไซต์หรือเพอไลต์ขึ้นกับส่วนผสมและอัตราการเย็นตัว¹⁻⁴ ลูกรีตในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้านิยมผลิตจากเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่มีส่วนผสม 15-17%Cr เนื่องจากมีความต้านทานการสึกหรอดีเยี่ยมและมีความแกร่งในระดับที่ตีเมื่อเทียบกับเหล็กหล่อ Ni-hard¹

ความต้านทานการสึกหรอที่เหมาะสมกับการใช้งานจะได้รับเมื่อเหล็กหล่อโครเมียมสูงผ่านการทำการกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมเท่านั้น โดยขั้นตอนการทำการกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อโครเมียมสูงจะคล้ายกับเหล็กกล้าเครื่องมือ ได้แก่ การอบอ่อน การชุบแข็ง และการอบคืนตัวตามลำดับ¹⁻³ แม้ว่าธาตุโครเมียม จะสามารถป้องกันการเกิดโครงสร้างเพอไลต์ได้ดี แต่ในชิ้นงานขนาดใหญ่จำเป็นต้องเติมธาตุผสมอื่น เช่นนิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) โมลิบดีนัม (Mo) เพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง^{1,3} นอกจากนี้การเติมวานาเดียม (V) หรือ โมลิบดีนัม จะช่วยส่งเสริมการแข็งขึ้น

ลำดับที่สอง (Secondary hardening) ในระหว่าง การอบคืนตัว³ ทำให้เหล็กหล่อมีความแข็งและ ความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีดีขึ้น ดังนั้นการ เติมธาตุโมลิบดีนัมจึงเป็นที่นิยมเพราะสามารถเพิ่มความสามารในการชุบแข็งและความแข็งในเวลาเดียวกัน

การสึกหรอแบบขัดสีสามารถแบ่งออกเป็น สองประเภทคือชนิดสองวัตถุ (Two-body type) และ ชนิดสามวัตถุ (Three-body type)¹ การสึกหรอชนิดสองวัตถุจะพบในลูกรีตในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า ส่วนการสึกหรอชนิดสามวัตถุจะพบในหม้อบดแร่หรือซีเมนต์ การสึกหรอชนิดสองวัตถุจะมีความรุนแรง สูงกว่าการสึกหรอชนิดสามวัตถุ ดังนั้นการพัฒนาและปรับปรุงเหล็กหล่อโครเมียมสูงให้ทนต่อการ สึกหรอได้

มากขึ้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปความต้านทานการสึกหรอของวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความแข็งและความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งควบคุมโดยโครงสร้างจุลภาค ได้แก่ ชนิดและปริมาณของโครงสร้างเนื้อพื้นและคาร์ไบด์ยูเทคติก¹ เหล็กหล่อที่มีปริมาณคาร์ไบด์ที่เหมาะสมและมีเนื้อพื้นที่แข็งแรงเช่น มาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สอง จะมีความต้านทานการสึกหรอดีเยี่ยม⁴⁻⁶ โดยปกติเหล็กหล่อโครเมียมสูงในสภาพหล่อจะมีเนื้อพื้นเป็นเพอไลต์หรือออสเทนไนต์ ทำให้ความแข็งที่ได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำคือน้อยกว่า 600 HV^{1,3,4} ทำให้ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน ดังนั้นควรปรับปรุงเหล็กหล่อโครเมียมสูงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนและเติมธาตุผสมที่ทำให้เหล็กหล่อมีความแข็งสูงขึ้น โดยธาตุผสมที่สนใจคือวานาเดียม เนื่องจากสามารถเกิดคาร์ไบด์ ชนิดพิเศษประเภท MC ที่มีความแข็งสูงมากกว่า 2000 HV¹ และส่งเสริมการแข็งขึ้นลำดับที่สองได้ดี^{1,3,7,8}

แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการทำการกรรมวิธีทางความร้อน³ และการทดสอบการสึกหรอแบบ ขัดสีของเหล็กหล่อโครเมียมสูง⁴⁻¹¹ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับผลของการเติมวานาเดียมต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีของเหล็กหล่อ 16%Cr - 2%Mo มีรายงานน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของวานาเดียม 0 - 3%V ต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo ในสภาพที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ทดสอบโดยใช้การขัดสัชนิดสองวัตถุซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลูกรีตในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เตรียมชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมโดยนำวัตถุดิบจำนวน 30 กิโลกรัม หลอมในเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1580°C เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อทรายที่มีช่องว่างดังแสดงใน Figure 1(a) ที่อุณหภูมิ 1500 - 1520°C คลุมผิวหน้าไรเซอร์ด้วยผงคายความร้อนเพื่อป้องกันการเย็นตัวเร็ว ตัดส่วนของไรเซอร์ออก ด้วยเครื่อง Wire-Cut EDM ให้เหลือเฉพาะส่วนของชิ้นงานขนาด 50 x 50 x 200 มิลลิเมตร ดัง Figure 1(b) ทำการตัดส่วนปลายของแท่งชิ้นงานทดสอบ ออกด้าน ละ 10

มิลลิเมตร เนื่องจากบริเวณปลายชิ้นงานมีโครงสร้างแตกต่างจากบริเวณอื่นจากการเย็นตัวเร็ว ตัดแต่งชิ้นงานให้มีความหนาชั้นละ 7 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบการสึกหรอ ดัง Figure 1(c) โดยส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบแสดง ดัง Table 1 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A532 (High Chrome Wear Resistant Material Castings)²

กรรมวิธีทางความร้อน

กรรมวิธีทางความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A532 โดยเริ่มต้นจากการอบอ่อนชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวภายในเตาเพื่อปรับโครงสร้างเนื้อพื้นให้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งชิ้นงาน จากนั้นทำการชุบแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนโดยการอบที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และเย็นตัวในน้ำมัน อบคืนตัวชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

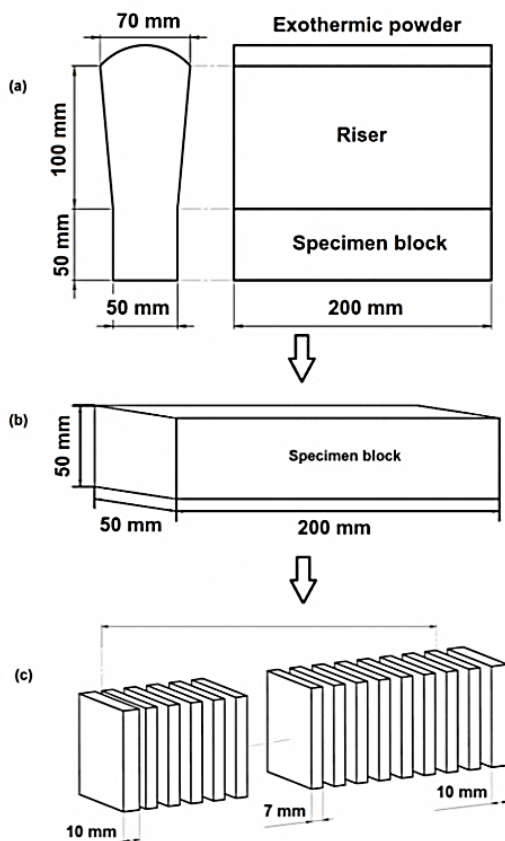


Figure 1 Schematic drawings of procedure to produce test pieces.

Table 1 Chemical composition of specimens.

Specimen	Alloy (wt%)				
	C	Cr	Mo	V	Fe
No.1	3.04	15.90	2.01	0.08	balance
No.2	3.07	16.28	2.00	1.03	
No.3	3.03	16.41	1.95	1.97	
No.4	3.05	15.66	2.05	2.81	

*Si and Mn less than 0.6%, S and P less than 0.01%

การทดสอบความแข็งและโครงสร้างจุลภาค

เตรียมผิวชิ้นงานทดสอบโดยการขัดหยาบผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่ เบอร์ 80 - 1000 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินาใน ผ้าสักหลาด ทดสอบความแข็งชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers) ตามมาตรฐาน ASTM E92² โดยใช้น้ำหนักกดทดสอบ 30 กิโลกรัมสำหรับความแข็งแบบมหภาค (Macro-hardness) หรือความแข็งรวมของชิ้นงาน และน้ำหนักทดสอบ 100 กรัม สำหรับความแข็งแบบจุลภาค (Micro-hardness) หรือความแข็งของเนื้อพื้น ทำการทดสอบทั้งหมด 5 จุดต่อหนึ่งชิ้นงานแล้วหาค่าเฉลี่ยตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานโดยกัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการขัดละเอียดด้วยน้ำยา Villella ที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร กรดฟอสฟอริก 1 กรัม และแอลกอฮอล์ 95 มิลลิลิตร ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อยืนยันผลการทดลอง

ทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

ชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียดจะมีความเรียบผิวต่ำกว่า 1 µm (R_{max}) แต่ละชิ้นงานถูกทดสอบการสึกหรอชนิดสองวัตถุ โดยใช้เครื่องทดสอบ Suga abrasion test ดังแสดงใน Figure 2 ตามมาตรฐาน ASTM D6037 โดยใช้น้ำหนักทดสอบ 1 กิโลกรัม ล้อขัดสีมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร ถูกติครอบด้วยแผ่นกระดาษทราย (SiC) ขนาดเม็ดผงเบอร์ 180 โดยใช้กาว ล้อขัดสีหมุนด้วยความเร็ว 0.345 มิลลิเมตรวินาที เพื่อให้ชิ้นงานสัมผัสกับผงขัดสีใหม่ตลอดการทดสอบ ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปและกลับในระยะ 30 มิลลิเมตร/สโตรก โดยมีขนาดพื้นที่ขัดสีเท่ากับ 12 x 30 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ทดสอบ 400 สโตรกต่อรอบการทดสอบ หลังการทดสอบจะล้างชิ้นงานด้วยอะซิโตนในเครื่องล้างอัลตราโซนิค ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณที่สูญเสียด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง (0.0001 กรัม) ทดสอบซ้ำที่รอยขัดสีเดิมจำนวน 8 รอบต่อหนึ่งชิ้นงาน รวมเป็นระยะทางการขัดสีทั้งหมด 192 เมตร

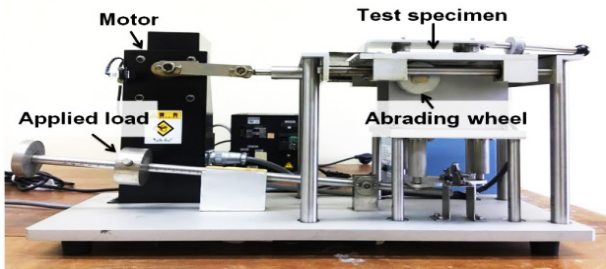
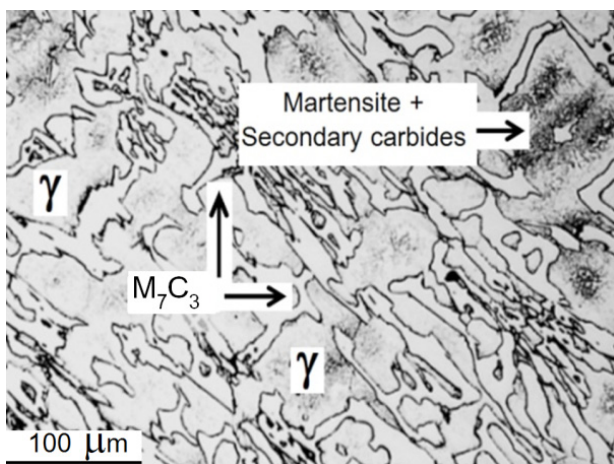


Figure 2 The Suga abrasion tester. (ASTM D6037)

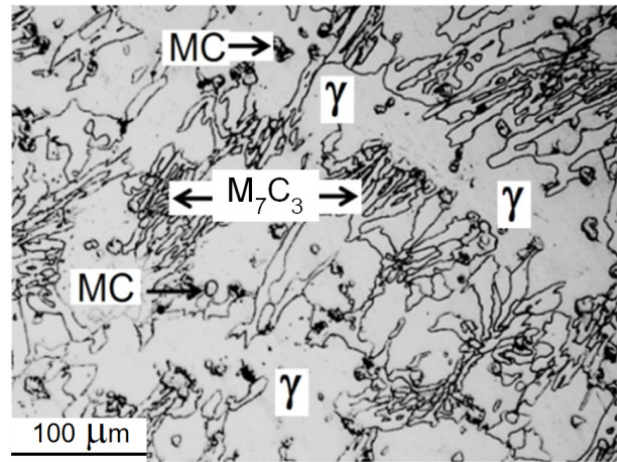
ผลการทดลอง

โครงสร้างจุลภาคในสภาพหล่อ

ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคในสภาพหล่อของชิ้นงานทดสอบที่เติม 0 และ 3%V แสดงดัง Figure 3 โครงสร้างจุลภาคของทุกชิ้นงานเป็นไฮโปยูเทคติก ซึ่งประกอบด้วยเดนไดรต์ของออสเทนไนต์และโครงสร้าง ยูเทคติกของ $\gamma + M_7C_3$ นอกจากนี้ยังพบคาร์ไบด์ปฐมภูมิ ประเภท MC ในชิ้นงานที่เติม 3%V ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inthidech และคณะ³ เนื้อพื้นของทุกชิ้นงานประกอบด้วยออสเทนไนต์ (γ) เป็นส่วนใหญ่ โดยมีมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สองบางส่วน เนื่องจากการเติม 16%Cr และ 2%Mo จะสามารถยับยั้งการเกิดเฟสโลไซต์ได้ในระหว่างการเย็นตัวในแบบหล่อ ขนาดของโครงสร้างยูเทคติกเล็กลงเมื่อปริมาณ วานาเดียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากวานาเดียมเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเกิดนิวเคลียสของคาร์ไบด์^{1,3,7}



(a) 0%V



(b) 3%V

Figure 3 As-cast microstructures of specimens with 0 and 3%V. (By OM)

โครงสร้างจุลภาคในสภาพที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

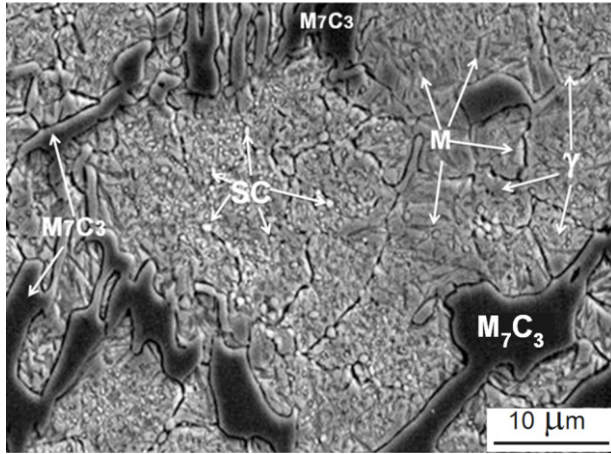
กรรมวิธีทางความร้อนจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อคาร์ไบด์ยูเทคติกเนื่องจากคาร์ไบด์ยูเทคติกมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงมาก¹ แต่เนื้อพื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามสภาวะของกรรมวิธีทางความร้อน ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของเหล็กหล่อ

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบในสภาพชุบแข็งด้วยน้ำมันที่เติม 0 และ 3% V แสดงดัง Figure 4 เนื้อพื้นของทุกชิ้นงานในสภาพชุบแข็งประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ (M) คาร์ไบด์ M_7C_3 และ คาร์ไบด์ลำดับที่สอง (SC) เป็นจำนวนมากและมีออสเทนไนต์เหลือค้าง (γ) เล็กน้อย มีรายงานว่า คาร์ไบด์ลำดับที่สองที่ตกตะกอนในเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่มีส่วนผสม 16%Cr ส่วนใหญ่เป็นคาร์ไบด์ประเภท $M_{23}C_6$ ^{1,3,11} อย่างไรก็ดีตามมีความเป็นไปได้ที่จะพบ คาร์ไบด์ลำดับที่สองประเภท MC ร่วมกับประเภท $M_{23}C_6$ ในชิ้นงานที่เติมวานาเดียมสูง^{3,7}

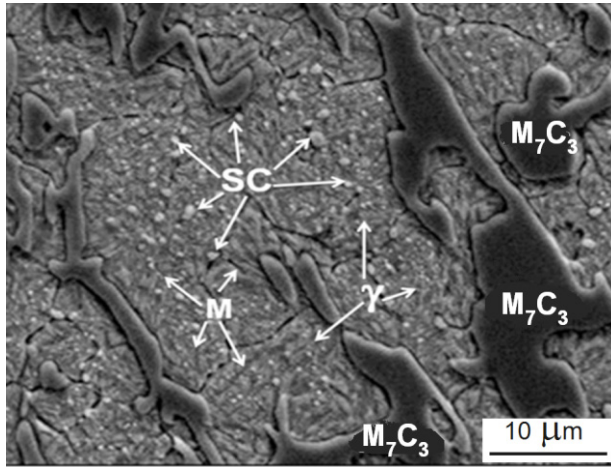
เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของเนื้อพื้นในสภาพชุบแข็งและสภาพหล่อจะพบว่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการอบชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิชุบแข็งจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองขึ้นในออสเทนไนต์ การตกตะกอนของ คาร์ไบด์ลำดับที่สองทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอนและ ธาตุผสมอื่นที่ละลายในออสเทนไนต์ลดลงส่งผลให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพและเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้มากขึ้นในขั้นตอนการเย็นตัวในน้ำมัน

เมื่อชิ้นงานชุบแข็งถูกอบคืนตัวในช่วง 450 - 550 °C จะพบว่ามาร์เทนไซต์ในสภาพชุบแข็งถูกอบคืนตัวทำให้ความแข็งลดลง อย่างไรก็ตามจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่มีขนาดเล็กในออสเทนไนต์เหลือค้างที่เหลือจากการชุบแข็ง ขึ้น^{1,3} ส่งผลให้ออสเทนไนต์เหลือค้างเปลี่ยนเป็น

มาร์เทนไซต์และทำให้ความแข็งของเนื้อพื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณของเฟสออสเทนไนต์เหลือค้างจึงลดลง อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิอบคืนตัวสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Over-tempering กล่าวคือ ออสเทนไนต์จะเปลี่ยนเฟสเป็นเพอไลต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้เนื้อพื้นสูญเสียความแข็ง^{1,3}



(a) 0% V



(b) 3% V

Figure 4 As-hardened microstructures of Specimens with 0 and 3% V. (By SEM)

ความแข็งในสภาพที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

ผลของวานาเดียมต่อความแข็งของชิ้นงานทดสอบในสภาพชุบแข็งและอบคืนตัวแสดงดัง Figure 5 พบว่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณวานาเดียมยกเว้นชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C โดยความแข็งสูงสุดในแต่ละปริมาณของวานาเดียม ได้รับในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 500°C ซึ่งคาดว่าที่อุณหภูมินี้จะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองจำนวนมาก และมีการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เหลือค้างเป็นมาร์เทนไซต์

มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Inthidech และคณะ³ ความแข็งในสภาพชุบแข็งต่ำกว่าการอบคืนตัวที่ 500°C เกิดจากการมี ออสเทนไนต์เหลือค้างมากเกินไปทำให้ความแข็งของเนื้อพื้นต่ำ ในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C พบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณวานาเดียม จนถึง 2% จากนั้นความแข็งจะลดลงอย่างมาก คาดว่าเป็นผลจากการที่วานาเดียมเป็นธาตุส่งเสริมการเกิดเพอไลต์^{1,3} ทำให้เกิด Over-tempering ได้ง่ายเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 500°C

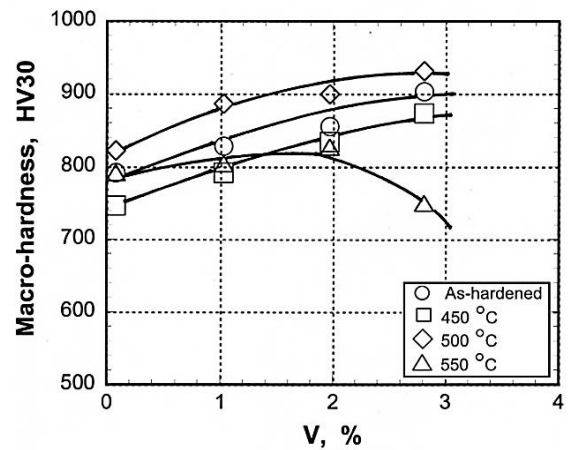
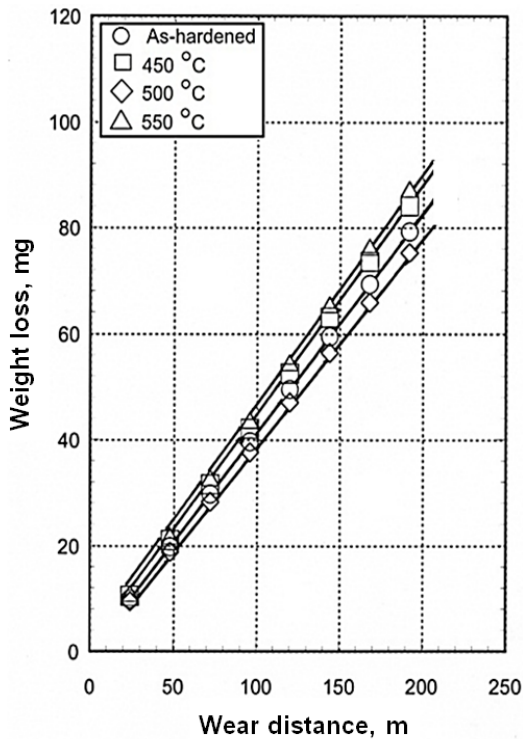


Figure 5 Effect of Vanadium content on macro-hardness of heat-treated specimens.

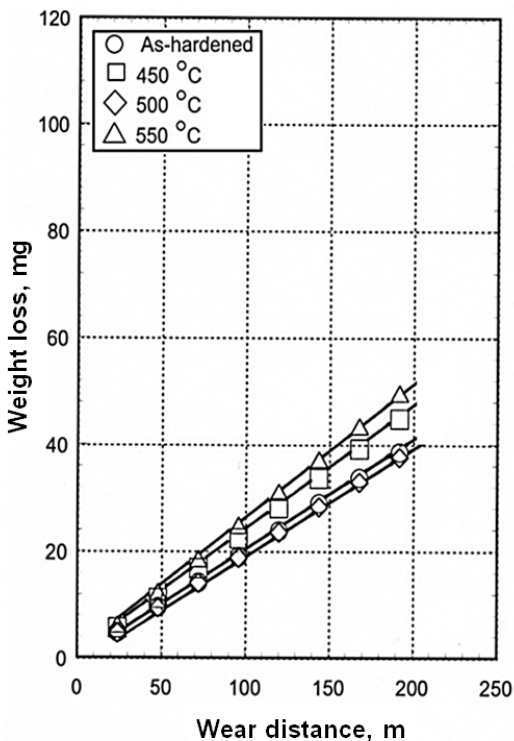
จาก Figure 5 พบว่าความแข็งมากกว่า 900HV30 ได้รับในชิ้นงานที่เติมวานาเดียมมากกว่า 2% ที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 500°C จึงคาดว่ามีการเกิดตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองชนิดพิเศษประเภท MC จากปฏิกิริยาคาร์ไบด์ (Carbide reaction) ในเฟสมาร์เทนไซต์ ซึ่งคาร์ไบด์ชนิดนี้มีความแข็งสูงมากกว่า 2000HV ทำให้ความแข็งของเนื้อพื้นเพิ่มสูงขึ้น

พฤติกรรมของการสึกหรอแบบขัดสี

Figure 6 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของชิ้นงาน 0 และ 3%V โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss) และระยะทางในการขัดสี (Wear distance) พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในทุกชิ้นงาน เมื่อระยะทางในการขัดสีเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิง⁴⁻⁶ ในแต่ละปริมาณของการเติมวานาเดียม พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียน้อยที่สุดได้รับในชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 500°C ตามด้วยชิ้นงานในสภาพชุบแข็งส่วนชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูญเสียมากที่สุดคือชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 550°C เมื่อเปรียบเทียบโดยรวมพบว่าชิ้นงานที่เติม 3%V จะมีน้ำหนักสูญเสียน้อยที่สุด



(a) 0%V



(b) 3%V

Figure 6 Relationship between weight loss and wear distance of specimens with 0 and 3% V.

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบมหภาค ของชิ้นงานทดสอบต่อค่า R_w ดัง Figure 7 พบว่าค่า R_w สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือกลุ่ม ที่มีค่า R_w มากกว่า 0.3 mg/m ซึ่งเป็นกลุ่มของชิ้นงานที่เติม 0 - 2%V และกลุ่มที่สองคือกลุ่มที่มีค่า R_w ต่ำกว่า 0.3 mg/m ซึ่งเป็นชิ้นงานที่เติม 3%V พบว่าค่า R_w มีแนวโน้มลดลงหรือมีความต้านทานการสึกหรอดีขึ้นเมื่อความแข็งเพิ่มขึ้น ความแข็งที่เพิ่มขึ้นนี้ได้รับการทำกรรมวิธีทางความร้อน โดยเนื้อพื้นหลังการทำกรรมวิธีทางความร้อนส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์ไบด์ลำดับที่สองและมาร์เทนไซต์เป็นจำนวนมากทำให้มีความแข็งสูง เนื้อพื้นที่แข็งนี้จะช่วยยึดคาร์ไบด์ยุคตกตะกอนไม่ให้หลุดเมื่อถูกขัดสี ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิงอื่นๆ³⁻¹¹

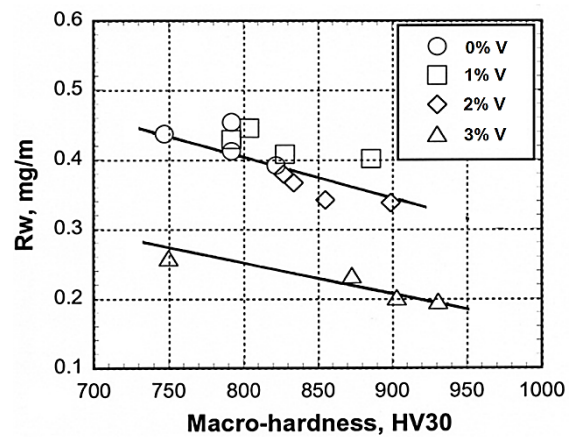


Figure 7 Effect of macro-hardness on wear rate (R_w) of specimens.

ชิ้นงานที่เติม 3%V มีค่า R_w ต่ำกว่าชิ้นงานอื่นอย่างเห็นได้ชัดแม้ในชิ้นงานที่มีความแข็งต่ำ สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลจากการไบริต์ปฐมภูมิชนิด MC ซึ่งมีการรายงานว่าคาร์ไบด์ชนิดนี้สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีได้อย่างดีเยี่ยม^{1,3,7} เนื่องจากคาร์ไบด์ชนิด MC มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีความแข็งสูงทำให้จำกัดการขยายตัวของรอยแตกในเนื้อพื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ^{1,7}

จากผลการทดลองใน Figure 7 จะเห็นได้ว่าแม้ว่าชิ้นงานมีความแข็งเท่ากันแต่จะมีความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีต่างกัน ได้ ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กหล่อมีโครงสร้างจุลภาคแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าความต้านทานการสึกหรอของเหล็กหล่อโครเมียมสูงไม่ได้ขึ้นกับความแข็งเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นกับปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ชนิดและปริมาณของเฟสต่างๆ ในโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบ

อิทธิพลของวานาเดียมต่อค่า R_w แสดงดัง Figure 8 ค่า R_w ลดลงเล็กน้อยเมื่อเติม 1%V จากนั้นค่า R_w จะลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณวานาเดียมเพิ่มขึ้นมากกว่า 1% ค่า R_w ลดลงเล็กน้อยในช่วงแรก เกิดจากการเติมวานาเดียมในปริมาณ 1% ยังไม่มีผลมากนักต่อการเปลี่ยนเฟส แต่จะมีผลทำให้โครงสร้างละเอียดขึ้น เมื่อเติมวานาเดียมตั้งแต่ 2% ขึ้นไปจะเห็นผลชัดเจนขึ้น โดยจะช่วยส่งเสริมการเกิดคาร์ไบด์ทั้งชนิดยูเทคติกและส่งเสริมการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองในระหว่างการอบคืนตัว ซึ่งการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองนี้จะช่วยให้ออสเทนไนต์เหลือค้างเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ได้มากขึ้นและทำให้เนื้อพื้นมีความแข็งสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลความแข็งของเนื้อพื้นหรือความแข็งแบบจุลภาคใน Table 2 นอกจากนี้การเกิดคาร์ไบด์ปฐมภูมิประเภท MC ในชิ้นงาน 3%V จะช่วยทำให้ความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้นดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

ในแต่ละปริมาณของวานาเดียมพบว่าค่า R_w ต่ำสุดได้รับในชิ้นงานที่อบคืนตัวที่ 500°C ตามด้วยชิ้นงานในสภาพชุบแข็งและอบคืนตัวที่ 450°C ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่มีค่า R_w สูงสุดคือชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าความต้านทานการสึกหรอที่ดีที่สุดได้รับในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 500°C เนื่องจากมีเนื้อพื้นส่วนใหญ่เป็นมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สองซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inthidech และคณะ^{5,6} ที่ได้รายงานว่าการต้านทานการสึกหรอที่ดีที่สุดได้รับในชิ้นงานที่มีเนื้อพื้นที่มีปริมาณคาร์ไบด์ลำดับที่สองและมาร์เทนไซต์จำนวนมาก โดยมีออสเทนไนต์เหลือค้างในปริมาณเล็กน้อย ส่วนชิ้นงานที่มีความต้านทานการสึกหรอต่ำที่สุดคือชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C เนื่องจากเกิด Over-tempering จากการใช้อุณหภูมิอบคืนตัวสูงเกินไป

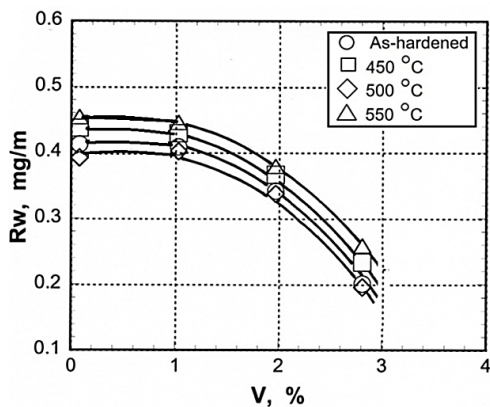


Figure 8 Effect of Vanadium content on wear rate (R_w) of specimens.

Table 2 Micro-hardness of specimens.

Specimen	Micro-hardness, HV0.1			
	As-hardened	450°C	500°C	550°C
0%V	731	693	764	744
1% V	766	728	817	753
2% V	798	771	841	766
3% V	847	809	883	698

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าการเติมวานาเดียมในเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo สามารถปรับปรุงความแข็งและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอแบบขัดสีได้ โดยชิ้นงานที่มีความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีดีที่สุดคือชิ้นงานที่เติม 3%V อบคืนตัวที่ 500°C อย่างไรก็ตามยังคงต้องศึกษาเชิงลึกต่อไปเกี่ยวกับผลของโครงสร้างจุลภาค เช่น ออสเทนไนต์เหลือค้าง ซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความต้านทานการสึกหรอของเหล็กหล่อโครเมียมสูงเช่นกัน

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ได้ศึกษาอิทธิพลของการเติมวานาเดียม (V) 0 - 3% ต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุในเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ชิ้นงานถูกชุบแข็งจากอุณหภูมิ 1000°C ด้วยน้ำมันและอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550°C ตามลำดับ ได้ทดสอบความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสองวัตถุของชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง Suga abrasion tester จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียและระยะทางการขัดสีเป็นแบบเส้นตรงในทุกชิ้นงาน โดยน้ำหนักที่สูญเสียรวมจากการขัดสีลดลงเมื่อปริมาณวานาเดียมเพิ่มขึ้น
2. ในแต่ละระดับของการเติมวานาเดียมพบว่าชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูญเสียรวมน้อยที่สุดได้รับในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 500°C ตามด้วยชิ้นงานในสภาพชุบแข็ง ส่วนชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูญเสียมากที่สุดคือชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C
3. อัตราการสึกหรอ (R_w , mg/m) ของชิ้นงานทดสอบ ลดลงเมื่อความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ที่ค่าความแข็งเท่ากันพบว่าชิ้นงานที่เติม 3%V มีค่า R_w ต่ำที่สุด

4. ค่า R_w ลดลงเล็กน้อยเมื่อเติม 1%V จากนั้นจะลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณวานาเดียมเพิ่มขึ้นมากกว่า 1%
5. ในแต่ละระดับของการเติมวานาเดียมพบว่าค่า R_w ต่ำสุดหรือความต้านทานการสึกหรอที่ดีที่สุดได้รับในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 500°C ส่วนค่า R_w สูงสุดหรือความต้านทานการสึกหรอต่ำสุดได้รับในชิ้นงานอบคืนตัวที่ 550°C
6. การเติมวานาเดียมสามารถเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีในเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo ได้ โดยชิ้นงานที่เติม 3%V ผ่านการอบคืนตัวที่ 500°C มีความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Prof.Dr.Yasuhiro Matsubara and Prof. Dr. Kaoru Yamamoto แห่ง National Institute of Technology-Kurume College ประเทศญี่ปุ่น และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำวิจัย และขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. George L, Richard G and Klaus R. Abrasion-resistant cast iron handbook. Des Plaines: American Foundry Society; 2000.
2. ASTM Standard. ASTM International, 2004
3. Sudsakorn I, Prasonk S, Yasuhiro M. Effect of alloying elements on heat treatment behavior of hypoeutectic high chromium cast iron, Mater Trans 2006;47(1):72-81
4. Pisizchai K, Sudsakorn I, Keartisak S, Yasuhiro M, The effect of sub-critical heat treatment on hardness, retained austenite and abrasive wear resistance of hypoeutectic 16 mass% Cr-2 mass% Mo cast iron with varying vanadium content, Mater Trans 2016;57(2): 174-182
5. Sudsakorn I, Attasit C, Prasonk S, Yasuhiro M. Two-body and three-body types abrasive wear behavior of hypoeutectic 26 mass% Cr cast irons with molybdenum Mater Trans 2012;53 (7):1258-1266
6. Sudsakorn I, Pisizchai K, Sumpao Y, Yasuhiro M. Effect of repeated tempering on abrasive wear behavior of hypoeutectic 16 mass% Cr cast iron with molybdenum, Mater Trans 2013;54(1):28-35
7. Xiaowen Q, Zhining J, Qingxiang Y, Yulin Y. Effects of vanadium additive on structure property and tribological performance of high chromium cast iron hard-facing metal, Surface & Coatings Technology 2011;205:5510-5514
8. Bedolla-Jacuinde A, Guerra F V, Mejia I, Zuno-sila J, Rainforth M. Abrasive wear of V-Nb-Ti alloyed high-chromium white irons, wear 2015;332-333:1006-1011
9. Scandian C, Boher C, Mello J D B de, Rezai-Aria F. Effect of molybdenum and chromium contents in sliding wear of high-chromium white cast iron: The relationship between microstructure and wear, Wear 2009;267:401 - 408
10. Jung W, Zhiping S, Rulin Z, Cong L, Baoluo S, Shengji G, Sijiu H. Effects of secondary carbide precipitation and transformation on abrasion resistance of the 16Cr-1Mo-1Cu white iron, JMEPEG 2006;15:316-319
11. Mara A G, Sebastian S, Orlando P, Martin D G, Valentina G, Gaston P, Frank M. High chromium cast irons: destabilized-subcritical secondary carbide precipitation and its effect on hardness and wear properties, JMEPEG 2018; 27:3877-3885

การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไขกับแบบฟัชชีลอจิกสำหรับระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

Comparison of the performance of step conditional and fuzzy logic pulse adjustment for power sharing systems

ธนวัฒน์ นิลขาว¹, ชวโรจน์ ใจสิน^{2*}, ปุณยสิริ บุญเป็ง³

Thanawat Ninkhoa¹, Chawaraj Jaisin^{2*}, Poonyasiri Boonpeng³

Received: 22 May 2019 ; Revised: 23 September 2019 ; Accepted: 18 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัลกอริทึมการปรับพัลส์แบบสเตปและการปรับพัลส์แบบฟัชชีลอจิกในการสร้างสัญญาณ PWM สำหรับขับมอสเฟตในการสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายทั้ง 2 แหล่งด้วยสัญญาณ PWM สร้างขึ้นโดยรับแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและแบ่งออกเป็น 2 ชุดที่มีลักษณะเฟสสัญญาณตรงกันข้าม 180 องศา โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ขนาดพิกัดกำลัง 800 วัตต์ จำนวน 2 ชุดในการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และไฟฟ้าจากสายส่ง ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบระบบกับโหลดไฟ 12 โวลต์ขนาดพิกัดกำลัง 50 100 150 และ 200 วัตต์ พบว่าการตอบสนองการปรับสัญญาณควบคุมจากเริ่มต้นการทำงานของโหลดโดยอัลกอริทึมฟัชชีลอจิกสามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้เข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขเฉลี่ย 136.25 มิลลิวินาที ประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัลกอริทึมฟัชชีลอจิกสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 89.00% และสูงกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.89% และมีค่าสูญเสียกำลังในวงจรเฉลี่ย 16.60 วัตต์ และน้อยกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่มีค่ากำลังสูญเสียเฉลี่ย 22.70 วัตต์ ทำให้อัลกอริทึมฟัชชีลอจิกจึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

คำสำคัญ: ธีมติวชันมัลติเพลกเซอร์ ฟัชชีลอจิก ระบบแบ่งปันโหลดกระแสตรง

Abstract

The aim of this research is to develop an algorithm to control a load sharing system. The step pulse adjustment algorithm and the fuzzy logic pulse adjustment algorithm were used to generate the PWM signal for driving MOSFET to switch between two power sources by the PWM signal. The PWM is generated by the internal timer from a microcontroller and is divided into two square waves which are 180° out of phase (opposite sides). The two power sources for supplying this system are 12V 800W adjustable switching power supplies (One represents the solar cell system and one for grid utility). In this research, the light bulbs are taken to be testing loads consisting of 12V 50 100

¹ นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290

² อาจารย์, สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290

³ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

¹ Graduate students, Engineering Program in Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290

² Asst. Professor, Engineering Program in Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290

³ Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300

* Corresponding author: (053)-333194 chawaraj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com

150 and 200W of lamps. The experimental result of the steady state response to the control signal from the startup of the load was recorded. A Fuzzy Logic algorithm can maintain the output voltage to equilibrium faster than step pulse average 136.25ms. The efficiency of the Fuzzy Logic algorithm system can work at an average efficiency of 89.00% and higher than the step pulse algorithm at an average efficiency of 83.89%. The Fuzzy Logic algorithm has average power loss of 16.60W which is less than the step pulse algorithm with an average power loss of 22.70W. The Fuzzy Logic algorithm is suitable for use in the research system sharing power at the DC.

Keywords: Time Division Multiplexer Fuzzy logic Load Sharing System

บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคที่อยู่อาศัย การเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดต่างๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการลดภาระค่าไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเกษตร มีเกษตรกรจำนวนมากไม่น้อยที่ได้ประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เพื่อทดแทนไฟฟ้าจากสายส่ง และเพื่อลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้า เกษตรกรนิยมใช้ไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์แบบต่อตรงและไม่ค่อยนิยมใช้แบตเตอรี่มาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้และเพื่อเพิ่มเสถียรให้กับระบบโซลาร์เซลล์ เนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูงและมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นั้นๆ มีกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปัญหาพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความไม่ราบเรียบในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอาจเสียหายจากสาเหตุ Over voltage และ Under voltage อย่างเช่น งานวิจัยของ N. Mazouz และ A. Midoun¹ ได้นำเอาเทคนิคพัลส์ชิ่งเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณควบคุมวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ระบบสูบน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 51W จำนวน 10 แผงต่อแบบอนุกรม โดยการพัฒนาพัลส์ชิ่งเข้ามาควบคุมในการจ่ายไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ เพื่อให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้มากที่สุด

งานวิจัยของ Mokeddem, Midoun และคณะ² ได้นำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูบน้ำโดยตรงโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 51W ต่ออนุกรมจำนวน 15 แผงและนำมาต่อขนานกัน 2 ชุด กับปั๊มน้ำขนาด 80 L/min, 750W, 2,850 rpm โดยอัตราการไหลที่เวลา 10.00 น. ให้อัตราการไหลสูงสุดที่ 65 L/min

งานวิจัยของ Kumar P และคณะ³ ได้ใช้พัลส์ชิ่งในการติดตามและกำหนดจุดการทำงานที่ให้พลังงานสูงสุดของระบบปั๊มน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ PWM จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้นมีจุดอ่อนในด้านการใช้งานในกรณีที่ไม่

ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าระบบจะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุดตลอดทั้งวันเนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันทำให้ระบบอาจมีการลดจำนวนรอบการทำงานของมอเตอร์เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าในการทำงานไว้ไม่ให้เกิดผลเสียต่อมอเตอร์ และมีจุดเด่นในเรื่องการใช้พัลส์ชิ่งเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)⁴ ในการควบคุมการทำงานของระบบทำให้ระบบทำงานได้อย่างเสถียรและการเลือกใช้แหล่งจ่ายพลังงานสำรอง (Hybrid power) ทำให้เป็นทางเลือกใหม่ในการผสมผสานการใช้พลังงานทดแทน จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการนำเอาระบบพัลส์ชิ่งเข้ามาใช้ในการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

เพื่อใช้ในการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ และไฟฟ้าจากสายส่ง โดยจะให้เลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้เป็นหลักและเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อเป็นการรักษาความเสถียร (Backup) ของระบบซึ่งจะทำให้ระบบนี้สามารถทดแทนการใช้แบตเตอรี่ได้ ซึ่งจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพทางพลังงานและลดต้นทุนทางด้านแบตเตอรี่ลง โดยการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากระบบแผงโซลาร์เซลล์ที่จะมีการแปรเปลี่ยนตามสภาวะของภาระทางไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อมีภาระทางไฟฟ้ามากกว่าที่ระบบจะสามารถจ่ายให้ได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์จะต่ำลง แต่เมื่อภาระทางไฟฟ้าน้อยกว่าที่ระบบสามารถจ่ายได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์จะอยู่ในเกณฑ์สูง จากหลักการดังกล่าวจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมที่ทำหน้าที่ชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเข้าสู่ระบบ ให้มีความเหมาะสมกับภาระโหลดขนาดต่างๆได้ โดยในงานวิจัยนี้นอกจากจะพัฒนาออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ทดสอบและพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการตัดสินใจ สำหรับชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปเงื้อง่ายโดยอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์ และเทคนิค

การปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) โดยจะอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันและอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า โดยการออกแบบวงจรและทดสอบการตอบสนองการชดเชยกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวงจร และพลังงานที่สูญเสียในระบบ โดยแบ่งวิธีการศึกษาและดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การออกแบบวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

ในการออกแบบอุปกรณ์ในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ระหว่างพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่ง ประกอบไปด้วยแผงโซลาร์เซลล์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) ขนาดรองรับโหลดไม่เกิน 12V 800W ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่ในการจัดการและกำหนดการเลือกจ่ายกำลังไฟฟ้าจาก 2 แหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อใช้งาน ดังแสดงใน Figure 1

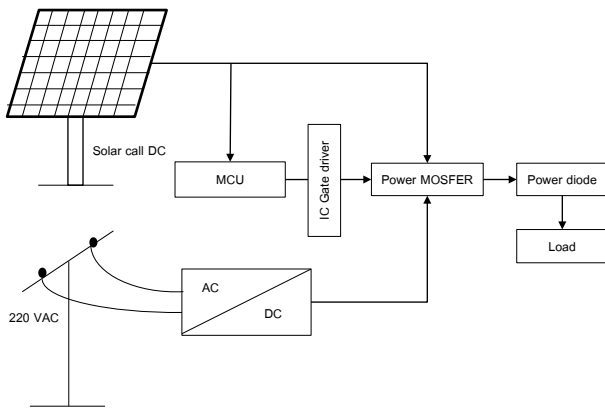


Figure 1 Configurations of a hybrid power supply system

ภายในวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าได้ออกแบบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU, Arduino Nano)⁶ ทรานซิสเตอร์ซัพมอสเฟทรหัส BD139⁷, พาวเวอร์ไดโอดรหัส RFN60TS6D⁸ และพาวเวอร์มอสเฟทรหัส IRF4905PBF⁹ โดยการทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจาก

แผงโซลาร์เซลล์ เพื่อประมวลผลคาบเวลาของสัญญาณ PWM สำหรับสร้างเงื่อนไขและกำหนดขนาดของตัวแปรในการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพัลส์สี่เหลี่ยม (PWM) ที่มีคาบเวลา (duty cycle) ต่างกันขึ้นอยู่กับระดับกำลังไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตขึ้น โดยสัญญาณ PWM จำนวน 2 ชุดที่มีลักษณะของสัญญาณตรงข้ามกัน 180 องศา จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ซัพมอสเฟด จำนวน 2 ชุด ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายให้มีขนาดและกำลังมากพอสำหรับที่ควบคุมพาวเวอร์มอสเฟดจำนวน 2 ชุด ซึ่งพาวเวอร์มอสเฟดทั้ง 2 ชุดจะทำงานแบบสลับกันขึ้นกับสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้ามาดังแสดงใน Figure 2 เพื่อทำหน้าที่สลับแหล่งจ่ายไฟระหว่างระบบโซลาร์เซลล์กับไฟฟ้าจากสายส่ง ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป

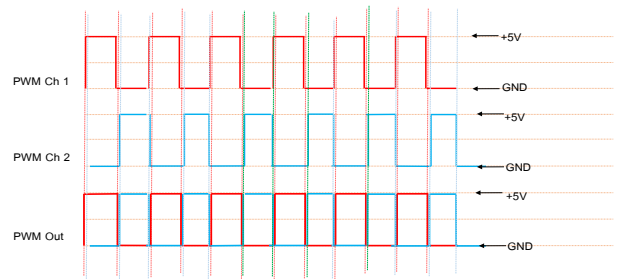


Figure 2 Time-division multiplexing input and output

2. การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิก

เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปคือ การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปมีขั้นตอนการออกแบบในงานวิจัยนี้ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano รับสัญญาณอินพุตที่มาจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ (V_{input}) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขสัญญาณ PWM จะถูกผลิตขึ้นและจะค่อยๆ เพิ่มหรือลดลงครั้งละ 1 สเตป เช่น $V_{input} < V_{ref}$ จะถูกปรับลดคาบเวลาของสัญญาณ PWM เพื่อที่จะรักษาแรงดัน V_{input} ให้เท่ากับ V_{ref} จนถึงจุดสมดุลการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าของระบบ ระบบจะหยุดการเพิ่มและลดคาบเวลาจนกว่า V_{input} จะเปลี่ยนแปลงสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงใน Figure 3

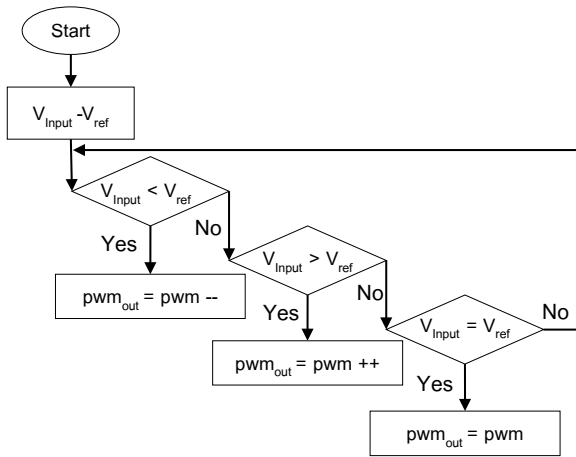


Figure 3 Pulse stepping algorithm

ขณะที่การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิก จะมีขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมประกอบไปด้วย Fuzzyfication, FuzzyInference, Defuzzyfication^{5,10,11} ดังแสดงใน Figure 4

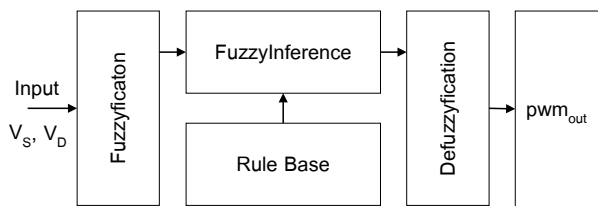


Figure 4 Fuzzy logic control diagram

โดยเริ่มจากกระบวนการ Fuzzyfication รับค่าอินพุตประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Voltage, V_s) และอัตราแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Voltage drop, V_d) โดยที่ FuzzySet ของ (V_s) ประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุตต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง (L) แรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับแรงดันอ้างอิง (M) และแรงดันไฟฟ้าอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิง (H) ดังแสดงใน Figure 5 ขณะที่ Fuzzy-Set ของ (V_d) ประกอบไปด้วยอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงน้อย (Under drop, UD) อัตราแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Stable drop, SD) และอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงมาก (Over drop, OD) ดังแสดงใน Figure 6

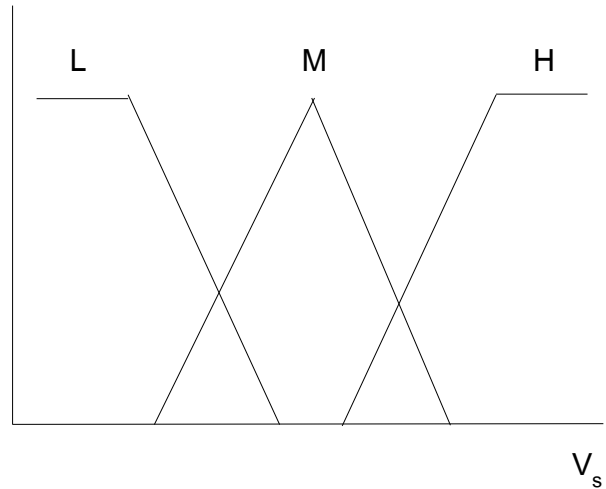


Figure 5 Fuzzy logic membership function of solar voltage signal input

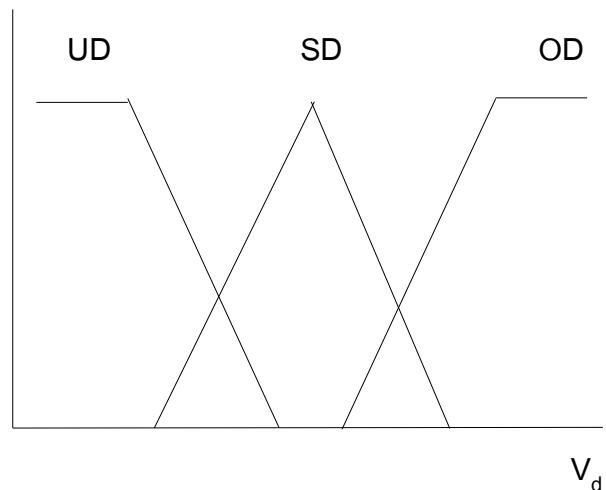


Figure 6 Fuzzy logic membership function of changing ratio of solar voltage signal input

จากนั้นตัวแปรในกลุ่มของ FuzzySet จะถูกอนุมานเพื่อหาผลลัพธ์ของกระบวนการด้วย Fuzzy Inference ซึ่งจะใช้กฎฐาน (Rule Base)¹² มาเป็นเงื่อนไขในการอนุมานและตัดสินใจผลลัพธ์ของกระบวนการ โดยกฎฐานดังแสดงใน Table 1

Table 1 Fuzzy rule table

V_s	L	L	L	M	M	M	H	H	H
V_d	UD	SD	OD	UD	SD	OD	UD	SD	OD
V_{pwm}	LV	LV	MV	MV	MV	HV	MV	HV	HV

ขั้นตอนสุดท้ายคือ Defuzzification เป็นขั้นตอนในการแปลงผลลัพธ์ทางฟัซซีให้อยู่ในรูปของจำนวนจริง เพื่อใช้ในการกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM เอกลักษณ์ของสัญญาณ PWM ประกอบด้วยสัญญาณ PWM ในระดับต่ำ (Low value, LV) สัญญาณ PWM ในระดับปานกลาง (Medium value, MV) และสัญญาณ PWM ในระดับสูง (High value, HV) ดังแสดงใน Figure 7 โดยค่าที่ได้จะนำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

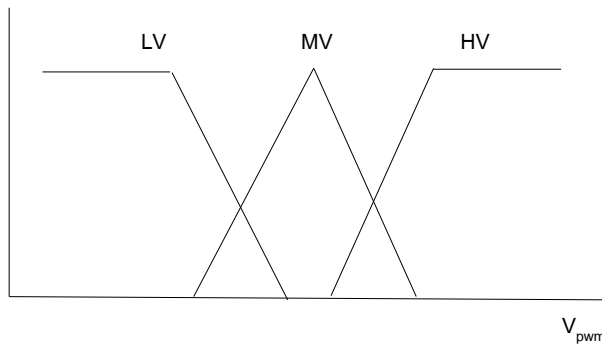


Figure 7 Fuzzy logic membership function of PWM period output

3. การทดสอบสมรรถนะของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนในการทดสอบจะอาศัยโหลดไฟ 12V ขนาด 50 100 150 และ 200W เป็นโหลดจำลองของระบบ ซึ่งจะถูกนำไปทดสอบทั้งในระบบการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและการปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิก เพื่อประเมินประสิทธิภาพ เปรียบเทียบเวลาในการตอบสนองของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ โดยระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าจะกำหนดใช้อัตราส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 50 : 50 ตามขนาดกำลังของโหลดที่นำมาทดสอบเป็นการกำหนดให้เกิดลักษณะการทำงานเดียวกันในการเปรียบเทียบการทำงานตามเงื่อนไขการทดสอบ สำหรับการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้¹³

$$Eff = \frac{Power_{Total}}{Power_{Input,1} + Power_{Input,2}} \times 100 \quad (1)$$

- เมื่อ Eff = ประสิทธิภาพ (%)
- Power_{Total} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้ (W)
- Power_{Input,1} = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ 1 (W)
- Power_{Input,2} = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ 2 (W)

การตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุลพิจารณาจากระยะเวลาที่ระบบรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ (Steady State) หลังจากการใส่โหลดเข้าสู่ระบบเพื่อดูการตอบสนองในการปรับการทำงานของระบบโดยใช้เวลาเป็นการบอกลักษณะการทำงานในการตอบสนองเข้าสู่ภาวะสมดุลกำลังไฟฟ้าขณะที่การสูญเสียในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้¹⁴

$$P = V \times I \quad (2)$$

$$Loss = (P_{input,1} + P_{input,2}) - (P_{output}) \quad (3)$$

- เมื่อ Loss = กำลังงานที่สูญเสียในระบบ (W)
- P = กำลังไฟฟ้า (W)
- V = แรงดันไฟฟ้า (V)
- I = กระแสไฟฟ้า (A)
- P_{input,N} = กำลังไฟฟ้าที่เข้าระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (W)
- P_{output} = กำลังไฟฟ้าที่ออกจากระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (W)

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตป และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซีลอจิกในการเปรียบเทียบหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้ จากการทดสอบการตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการปรับพัลส์เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่และเป็นไปตามแรงดันที่อ้างอิงไว้

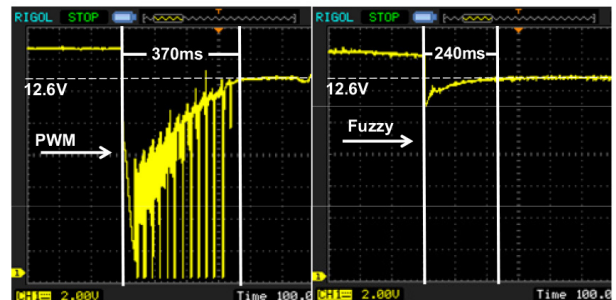


Figure 8 Response timing between the pulse stepping and fuzzy logic control

จาก Figure 8 เป็นการทดสอบการตอบสนองที่โหลดตัวอย่างขนาด 150W มีการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยการนำค่าที่ดีที่สุดจากการทดสอบพบว่า มีค่าเวลาในการตอบสนองและเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยเทคนิคการปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิกและแบบสเตปที่โหลด 50 100 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 230 360 370 และ 400ms ตามลำดับ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 95 160 240 และ 320ms ตามลำดับ ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่แรงดันไฟฟ้า 12.6V เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทดสอบโหลดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 12V ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มโหลดที่ใช้ในการทดสอบทำให้ใช้ระยะเวลาในการปรับการทำงานเข้าสู่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าไม่ทันกับการเริ่มการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ายิ่งค่าโหลดใช้กำลังสูงขึ้นการเริ่ม

ต้นทำให้แรงดันไฟฟ้าตกเพิ่มขึ้น จะต้องใช้เวลานานขึ้นในการชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะสมดุล

ในส่วนของคุณสมบัติของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่ง จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าจาก Table 2 และ Table 3 ที่ควบคุมด้วยด้วยอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบสามารถคำนวณประสิทธิภาพได้จากสมการที่ 1 โดยข้อมูลทางไฟฟ้าจากสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 1 (input₁) ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจาก AC เป็น DC จากสายส่งที่จ่ายเข้าระบบแบ่งปัน และข้อมูลทางไฟฟ้าจาก สวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 2 (input₂) ได้จำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์โดยจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยตั้งค่าสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยการจำกัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันเพื่อเสมือนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ตามเงื่อนไขการทดสอบข้างต้น โดยแสดงข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของวงจรแบ่งปันภาระโหลดได้ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

Table 2 The parameters of the hybrid power supply system in pulse stepping mode

PWM						
Load	Response time	P _{input,1}	P _{input,2}	P _{output}	P _{Loss}	Eff
(W)	(ms)	(W)	(W)	(W)	(W)	(%)
50	230	30.06	41.74	55.12	16.68	76.77
100	360	58.21	66.03	106.79	17.48	85.96
150	370	86.13	92.52	154.73	23.92	86.61
200	400	117.80	119.58	204.65	32.73	86.21

Table 3 The parameters of the hybrid power supply system in fuzzy logic control mode

Fuzzy						
Load	Response time	P _{input,1}	P _{input,2}	P _{output}	P _{Loss}	Eff
(W)	(ms)	(W)	(W)	(W)	(W)	(%)
50	95	30.60	31.05	55.34	6.31	89.76
100	160	60.93	56.15	105.54	11.54	90.15
150	240	91.12	85.76	155.59	21.29	87.96
200	320	118.32	111.19	202.24	27.27	88.12

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันด้วยอัลกอริทึมการปรับพัลส์แบบสเต็ปที่โหลดและอัลกอริทึมการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 76.77% 85.96% 88.09% และ 88.07% ตามลำดับ และอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 89.76% 90.15% 87.96% และ 88.12% ตามลำดับ และการศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าอัลกอริทึมการปรับพัลส์แบบสเต็ปที่โหลดและ อัลกอริทึมการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W มีผลการสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เฉลี่ยอยู่ที่ 16.68W 17.48W 23.92W และ 32.73W ตามลำดับ และและอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 6.31W 11.53W 21.29W และ 27.27W ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการทดสอบการทำงานที่โหลดขนาดต่างๆ กล่าวเมื่อกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Conductor loss) โดยจะเปลี่ยนเป็นความร้อนที่เกิดจากความต้านทานภายในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ และสัญญาณการสวิตช์ (Switching losses)

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบระยะเวลาในการตอบสนองการปรับสัญญาณควบคุมจากเริ่มต้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลเป็นผลมาจากการ Startup ของโหลดอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถจัดการระบบในการรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้ไวกว่า อัลกอริทึมแบบสเต็ปเงื่อนไข เฉลี่ยตลอดการทดสอบเร็วกว่า 136.25ms

การทดสอบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานของวงจรไฟฟ้าของระบบอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 89.00% และสูงกว่าอัลกอริทึมแบบสเต็ปเงื่อนไขที่สามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.89%

การประเมินกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียภายในวงจรจากการทดสอบระบบอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกจากตลอดการทดสอบมีค่ากำลังสูญเสียเฉลี่ย 16.60W และน้อยกว่าอัลกอริทึมแบบสเต็ปเงื่อนไขที่มีค่ากำลังสูญเสียตลอดการทดสอบเฉลี่ย 22.70W จากการทดสอบทั้ง 2 อัลกอริทึมที่สภาวะการทดสอบและเงื่อนไขเดียวกัน อัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถให้การทำงานในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด จาก 2 แหล่งจ่ายได้ดีกว่า และเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ในชุมชนสีเขียวในการสนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากศูนย์วิจัยนวัตกรรมเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

1. Mazouz N, Midoun A. Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2011;33(10):1623-30.
2. Mokeddem A, Midoun A, Kadri D, Hiadsi S, Raja IA. Performance of a directly-coupled PV water pumping system. Energy Conversion and Management. 2011;52(10):3089-95.
3. Kumar P, Gupta A, Pachauri RK, Chauhan YK, editors. Utilization of Energy Sources in Hybrid PV/FC Power Assisted Water Pumping System. 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology; 2015 13-14 Feb. 2015.
4. Wang X, Sala G, Zhang H, Gu C, Buticchi G, Formentini A, et al. Torque Ripple Reduction in Sectorfed Multi Three-Phase Machines Based on PWM Carrier Phase Shift. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019:1-.
5. Jaisin C, Intaniwet A, Nilkhoa T, Maneechukate T, Mongkon S, Kongkrapan P, et al. A prototype of a low-cost solar-grid utility hybrid load sharing system for agricultural DC loads. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2019;10(1):137-45.

6. arduino nano v3 manual 2018. Available from: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
7. NPN SILICON TRANSISTOR BD139 2018. Available from: https://alltransistors.com/pdf_view.php?doc=bd139.pdf&dire=_utc.
8. ROHM Super Fast Recovery Diode RFN60 TS6D 2018. Available from: <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/RFN60TS6D.PDF>.
9. HEXFET Power MOSFET P-Channel IRF4905 2018. Available from: <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/IRF4905-IR.PDF>.
10. Yen J, Langari R. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information: Prentice Hall; 1999.
11. Li X, Wen H, Hu Y, Jiang L. A novel beta parameter based fuzzy-logic controller for photovoltaic MPPT application. *Renewable Energy*. 2019;130:416-27.
12. Al-Majidi SD, Abbod MF, Al-Raweshidy HS. A novel maximum power point tracking technique based on fuzzy logic for photovoltaic systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018;43(31):14158-71.
13. Sahouane N, Dabou R, Ziane A, Neçaibia A, Bouraiou A, Rouabhia A, et al. Energy and economic efficiency performance assessment of a 28 kWp photovoltaic grid-connected system under desertic weather conditions in Algerian Sahara. *Renewable Energy*. 2019;143:1318-30.
14. Dhimish M, Holmes V, Mehrdadi B, Dales M. Comparing Mamdani Sugeno fuzzy logic and RBF ANN network for PV fault detection. *Renewable Energy*. 2018;117:257-74.

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* ในระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี

Biogas Quality Improvement with *Chlorella sp.* in a Helical Tubular Photobioreactor in LED Light

ธัญวัฒน์ กลั่นควัฒน์¹, ชวโรจน์ ใจสิน², จุฑามารณ์ ชนะถาวร², ปุณยสิริ บุญเป็ง³, รจพรรณ นิริยุศิลป์²
Tanyawat Klancoowat¹, Chawaroj Jaisin², Jutaporn Chanathaworn², Poonyasiri Boonpeng³,
Rotjapun Nirunsin²

Received: 24 May 2019 ; Revised: 16 September ; Accepted: 29 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* 200 L ในระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี 2 สี ได้แก่ สีแดง และสีน้ำเงิน ทำการเปิด 24 hr ที่อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 20 L/min และอัตราการจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าระบบที่ 0.1 L/min เป็นเวลา 12 hr สลับการเติมอากาศ 6 L/min เป็นเวลา 12 hr ตลอดระยะเวลา 7 วัน พบว่าแสงที่มีความเหมาะสมกับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* ในระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี คือ แสงสีแดง ซึ่งให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1.841 day^{-1} ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 19.02 % และประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 58.27%

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ คลอเรลล่า เอสพี ระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขด แสงแอลอีดี

Abstract

The aim of the research is to improve the biogas quality with *Chlorella sp.* 200 L cultivated in a helical tubular photobioreactor under the two LED light types (red and blue colors) throughout 24 hours. A water flow rate of 20 L/min and the biogas rate of 0.1 L/min, provided 12 hours and alternated 12 hours with filling air of 6 L/min, were determined as the experimental conditions. The experimental results during a 7 day experimental procedure showed that the red LED light used for *Chlorella sp.* cultivation is appropriate for biogas quality improvement leading to the highest specific growth rate of 1.841 day^{-1} . Moreover, the results revealed the efficiency of increased methane content at 19.02 % and the efficiency of removed carbon dioxide at 58.27%.

Keywords: biogas quality improvement, *chlorella sp.*, helical tubular photobioreactor, LED light

¹ นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

³ อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

¹ Graduate students, School of Renewable Energy, Maejo University

² Lecturer School of Renewable Energy, Maejo University

³ Lecturer Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

* Corresponding author: Chawaroj Jaisin, School of Renewable Energy, Maejo University. Email: chawaroj@mju.ac.th

บทนำ

ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion, AD) ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50 และก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ¹ การที่จะนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซธรรมชาติสำหรับยานพาหนะนั้น ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์เครื่องยนต์ธรรมดา ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2561 ก๊าซมีเทนไม่ต่ำกว่า 65% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 15% เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนก๊าซมีเทนสูงขึ้น จึงต้องมีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากเป็นก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานในการเผาไหม้ลดลง โดยเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจะออกเป็น 2 เทคโนโลยี คือ 1.เทคโนโลยีทางกายภาพเคมี 2.เทคโนโลยีทางชีวภาพ เทคโนโลยีการปรับปรุงก๊าซชีวภาพทางชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีที่ว่าด้วยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถจะเปลี่ยนเป็นพลังงานหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ในสภาวะการทำงานที่ไม่รุนแรง เช่น ทำงานที่ความดันบรรยากาศ ระดับอุณหภูมิปานกลาง ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยสายขนาดเล็กมีความสามารถในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และออกซิเจน จากกระบวนการสังเคราะห์แสง³ โดยสายขนาดเล็กมีหลากหลายสายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่มีความน่าสนใจในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ สาย Chlorella sp.

สาย Chlorella sp. เป็นสายสีเขียวเซลล์เดี่ยวมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียพบได้ตามแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็มทั่วไป⁴ สามารถเติบโตได้ภายใต้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 40% จากงานวิจัยของ Yan และ Zheng⁵ สามารถเพิ่มสัดส่วนของ CH_4 หลังการปรับปรุงด้วยสาย Chlorella sp. คือ 92% มีประสิทธิภาพในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ 86% และ Posadas Esther และคณะ⁶ สามารถเพิ่มสัดส่วนของ มีเทน ได้ถึง 94% มีประสิทธิภาพการลดคาร์บอนไดออกไซด์ 95% เป็นต้น

การเพาะเลี้ยงสายสามารถเลี้ยงได้ทั้งระบบเปิด (Open pond) และระบบปิดระบบบ่อปิดโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ (Closed photobioreactor) แต่ระบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น ระบบเปิดแบบบ่อร่องน้ำ (Raceway pond)

เป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำ ทำความสะอาดและซ่อมบำรุงง่าย แต่ให้ผลผลิตที่ต่ำต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่บนเบื่อนได้ง่าย ระบบปิดโฟโตไบโอรีแอคเตอร์จะเป็นระบบที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูง ไม่มีการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมให้แสงได้ทั้งถึงระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ จะแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและรูปทรงของระบบที่ทำขึ้น เช่น แบบแผ่นแบบทรงกระบอก และแบบท่อ⁷ รูปแบบของระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขด (Helical tubular photobioreactor) เป็นระบบที่ความน่าสนใจในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะเป็นระบบที่มีท่อที่ยาว จึงกระจายอากาศหรือคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสาหร่ายขนาดเล็กในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ มีพื้นที่รับแสงมากให้ปริมาณชีวมวลที่ดี⁸ การเพาะเลี้ยงในระบบปิดยังสามารถประยุกต์ใช้แสงเทียมจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode; LED) การใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถปรับช่วงแสงและความเข้มแสงที่สาหร่ายขนาดเล็กต้องการได้ดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์⁹

จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซชีวภาพโดยใช้สาหร่าย *Chlorella sp.* เลี้ยงในระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงจากหลอด LED เพื่อหาความสามารถของระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดในการเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซชีวภาพ รวมถึงการเจริญเติบโต โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* ภายใต้แสงจากหลอด LED ที่ความเข้มและช่วงคลื่นแสงสีแดงและน้ำเงิน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมสาหร่าย *Chlorella sp.*

1. นำสาหร่าย *Chlorella sp.* จากสาขาวิชาการประมง คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้ – ชุมพร มาเพาะเลี้ยงในขวดปริมาตร 5 L จำนวน 20 ขวด โดยให้สารอาหาร ดังนี้ ยูเรีย (46-0-0) 0.2 g/L ปุ๋ยนา (16-20-0) 0.1 g/L รำ 0.33 g/L ปุ๋ยขาว 0.06 g/L เดิมอากาศ 24 hr ใช้แสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จนสาหร่ายมีความเข้มข้นที่ $14-15 \times 10^6$ cell/mL

2. นำสาหร่ายจากข้อที่ 1 ปริมาณ 100 L ใส่ในระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขด จากนั้นเติมน้ำสะอาดเพิ่มอีก 100 L และสารอาหารดังข้อที่ 1 ซึ่งจะทำให้มีจำนวนเซลล์สาหร่าย *Chlorella sp.* ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นที่ระดับความเข้มข้น $7-7.5 \times 10^6$ cell/mL

ขั้นตอนขั้นตอนการเตรียมก๊าซชีวภาพ

ได้ทำการเติมเศษอาหารขยะอินทรีย์ให้ ระบบหมักแบบต่อเนื่อง ยี่ห้อ COWTEC รุ่น CT 30 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพในการทดลอง ดัง Figure 1 การเติมเศษอาหารใช้ ข้าวสวดยที่เหลือจากการบริโภค 4 kg/day ตลอดการทดลอง 7 วัน ทำการกวาระบบวันละ 2 ครั้ง เข้าเย็นครั้งละ 10 นาที



Figure 1 Biogas systems

ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง

ทำการออกแบบและสร้างระบบไฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้สาหร่าย *Chlorella sp.* มีรูปแบบการทำงานของระบบดัง Figure 2 โดยมีรายละเอียดของระบบดังนี้

1. ระบบการหมุนวนน้ำและก๊าซชีวภาพ ใช้ปั้มน้ำปั้ม 3 เฟส ยี่ห้อ VENZ รุ่น VM 100 ขนาด 1 HP 0.75 kW ใช้อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ NFLiXin รุ่น 9000-1T-00040GB ขนาด 4 kW ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ และมีระบบป้องกันก๊าซชีวภาพเข้าระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้ระบบเติมก๊าซแบบเวนจูรี่ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของแรงดันภายในท่อขณะปั้มน้ำทำงาน ฉีดน้ำผ่านหัวพ่นเวนจูรี่ที่มีรูปร่างเป็นคอขวดเพื่อเพิ่มความเร็วน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทก๊าซชีวภาพลงไปในระบบเลี้ยงสาหร่ายผ่านทางท่อเวนจูรี่ขนาด 1 นิ้ว ยี่ห้อ Superproduct โดยทำการเติมก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหลก๊าซที่ต่ำที่สุดที่ระบบจะทำได้ คือ 0.1 L/min เป็นเวลา 12 hr (8.00 น.- 20.00 น.) ที่อัตราการไหลของน้ำสาหร่าย 20 L/ min สลับการเติมอากาศ 6 L/min เวลา 12 hr (20.00 น.- 8.00 น.) ตลอด 7 วัน

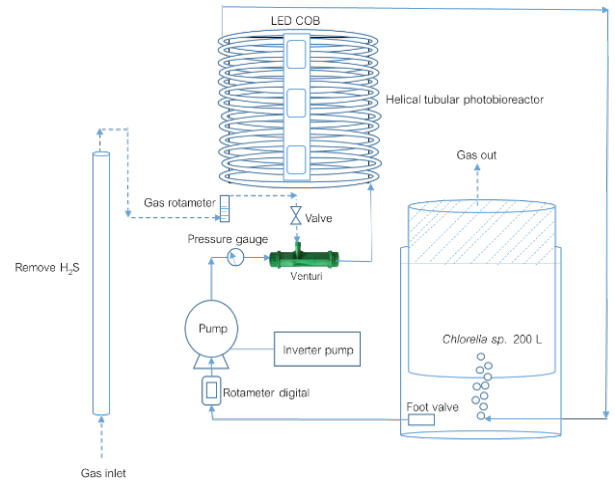


Figure 2 Helical tubular photobioreactor

2. ระบบให้แสงสว่าง เป็นการให้แสงเทียมแสงอาทิตย์โดยใช้ LED COB สีน้ำเงิน สีแดง ขนาด 50 W อย่างละ 12 ดวง ติดบนท่ออะลูมิเนียมสูง 0.8 m เพื่อให้สามารถกระจายแสงให้กับท่อ PVC ใสขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 36 m ซึ่งภายในบรรจุน้ำสาหร่าย พันรอบโครงสร้างเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 m จำนวน 20 รอบ ดัง Figure 3 และจะให้แสงสว่าง 24 hr ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วัน

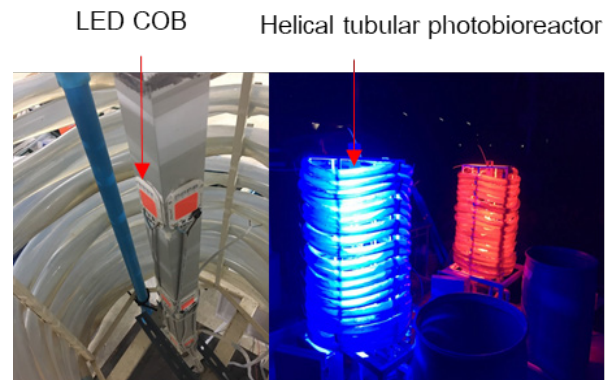


Figure 3 Light LED COB rad and blue

3. ระบบถังเก็บก๊าซชีวภาพและสาหร่าย เป็นถังที่ใช้ในการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ต้องปรับปรุงคุณภาพและใช้เก็บสาหร่ายที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงในระบบไฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขด ลักษณะของถังจะเป็นถังพลาสติกทึบแสงขนาด 200 L บรรจุน้ำสาหร่าย และมีถังพลาสติกทึบแสงขนาด 120 L สำหรับใช้เป็นถังเก็บก๊าซชีวภาพและสาหร่ายโดยจะคว่ำลงบนปากถังขนาด 200 L เพื่อใช้ในการเก็บก๊าซชีวภาพดัง Figure 4

4. ระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบเลี้ยงสาหร่ายให้มีปริมาณไม่เกิน 50 ppm (v/v)¹⁰ โดยใช้ฟลอย์เหล็กสนิมที่อยู่ในท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 1 เมตร ดัง Figure 4

ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของสาหร่าย

นำตัวอย่างสาหร่าย *Chlorella sp* 10 ml จากถังพักน้ำสาหร่าย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nuvotech E306 และแผ่นนับเซลล์ Hemocytometer ยี่ห้อ HBG ในการนับจำนวนเซลล์สาหร่าย จากการศึกษางานวิจัยของ Madiha และคณะ¹¹ เพื่อคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ , day⁻¹) จากสมการที่ 1 โดยที่ N_2 และ N_1 เป็นความเข้มข้นของเซลล์สาหร่าย ($\times 10^6$ cell/mL) ที่เวลา t_2 และ t_1 (day) ตลอด 7 วัน

$$\mu = \ln (N_2 - N_1) / t_2 - t_1 \tag{1}$$

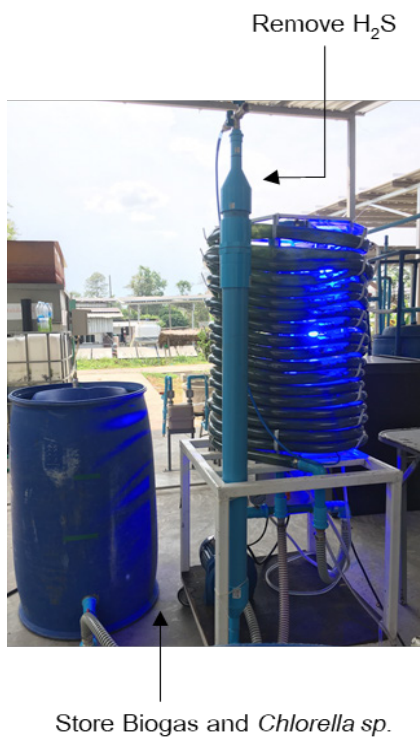


Figure 4 Remove H₂S and store biogas

การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซโดยใช้ถุงเก็บก๊าซ ขนาด 500 mL ยี่ห้อ RESTEK โดยทำการเก็บก๊าซชีวภาพที่ตำแหน่ง Gas inlet และ Gas out ดัง Figure 1 จากนั้นนำถุงตัวอย่างก๊าซเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ ยี่ห้อ Geotech Biogas 5000 และนำค่าที่ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน (R_{CH_4} , %) ดังสมการที่ 2 โดยที่ $CH_{4, out}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนหลังออกระบบ (% v/v) และ $CH_{4, in}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนก่อนเข้าระบบ (% v/v)

$$R_{CH_4} = \left[1 - \left(\frac{CH_{4, In}}{CH_{4, Out}} \right) \right] \times 100 \tag{2}$$

การหาประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (R_{CO_2} , %) ได้จากสมการที่ 3 โดยที่ $CO_{2, out}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังออกระบบ (% v/v) และ $CO_{2, in}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าระบบ (% v/v) (Yan และZheng, 2014)

$$R_{CO_2} = \left[1 - \left(\frac{CO_{2, Out}}{CO_{2, In}} \right) \right] \times 100 \tag{3}$$

Table 1 The growth of algae and biogas after the system helical tubular photobioreactor

Measured data	Time (day)						
	1	2	3	4	5	6	7
LED light red							
Cell number ($\times 10^6$ cell/mL)	7.6	8.475	9.325	15.675	23.825	26.45	31.4
CH ₄ inflow (% , v/v)	63.6	60.7	59.4	55.7	55.4	56.4	55.2
CH ₄ outflow (% , v/v)	67.7	67.1	68.9	65.3	63.7	66.7	68.2
R _{CH₄} (%)	6.53	10.54	15.99	17.23	18.05	18.26	19.02
CO ₂ inflow (% , v/v)	31.65	38.00	39.70	39.30	40.10	38.90	40.90
CO ₂ outflow (% , v/v)	20.1	19.0	17.0	16.4	20.0	18.9	20.1
R _{CO₂} (%)	36.49	50	57.18	58.27	50.12	51.41	50.86
LED light Blue							
Cell number ($\times 10^6$ cell/mL)	7.6	8.15	8.7	9.3	13.7	17.1	21.18
CH ₄ inflow (% , v/v)	63.6	60.7	59.4	55.7	55.4	56.4	55.2
CH ₄ outflow (% , v/v)	66.4	66.8	65.9	64.2	63.7	64.8	63.7
R _{CH₄} (%)	4.48	10.05	10.94	15.26	14.98	14.89	15.40
CO ₂ inflow (% , v/v)	31.7	38.0	39.7	39.3	40.1	38.9	40.9
CO ₂ outflow (% , v/v)	22	21.4	20.6	19.3	20.7	20.0	21.8
R _{CO₂} (%)	30.49	43.68	48.11	50.89	48.38	48.59	46.70

Table 2 Maximum Cell number, μ , R_{CH₄} and R_{CO₂}

LED light	Cell number max ($\times 10^6$ cell/mL)	μ_{max} (day ⁻¹)	R _{CH₄, max} (%)	R _{CO₂, max} (%)
Red (646 nm)	31.4	1.841	19.02	58.27
Blue (451 nm)	21.18	0.822	15.40	50.89

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp และก๊าซชีวภาพหลังผ่านระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขด ระหว่างแสงสีแดงและน้ำเงิน ดัง Table 1 จะเห็นได้ว่าระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อขดแสงสีแดง ให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายวันที่ 7 ที่ความเข้มข้น 31.4×10^6 cell/mL มากกว่าสีน้ำเงินที่ได้ความเข้มข้น 21.18×10^6 cell/mL ซึ่งเป็นดังรายงานการวิจัยของ Yongjun Zhao¹² พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับความยาวคลื่นแสงสีแดงผ่านคลอโรฟิลล์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสง ในขณะที่ความยาวคลื่นแสงอื่น ๆ สามารถดูดซับได้เพียงบางส่วน

เท่านั้น สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้สาหร่าย *Chlorella* sp. เจริญเติบโตได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงิน เป็นผลทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงทำให้ในก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด จะเพิ่มไปตามการเจริญโตของสาหร่ายดัง Table 2 แสงสีแดงจะให้ ประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 58.27 % ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 19.02 % ในส่วนของสีน้ำเงินจะให้ ประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 50.89 % ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 15.40%

สรุปผล

จากการออกแบบและสร้างระบบโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบท่อชนิดในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบเติมก๊าซด้วยท่อเวทอร์และระบบให้แสงสว่าง LED COB ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* พบว่าภายใต้การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* แสงแอลอีดีสีแดงมีความเหมาะสมกับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ ให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1.841 day^{-1} ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 19.02 % และประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 58.27 % ดีกว่าแสงแอลอีดีสีน้ำเงิน ที่ให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.822 day^{-1} ประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 50.89 % ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 15.40 %

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา” ขอขอบคุนงบประมาณสนับสนุนจากศูนย์วิจัยนวัตกรรมเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานก๊าซชีวภาพ). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/article_attach/h_biogas.pdf (1 มิถุนายน 2561).
2. Angelidaki Irini., Treu, Laura., Tsapekos, Panagiotis., Luo, Gang., Campanaro, Stefano., Wenzel, Henrik. and Kougias, Panagiotis G. 2018. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*,36(2), 452-466.
3. Jing Shi., Björn Podola. and Michael Melkonian. 2007. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae immobilized on twin layers: an experimental study. *Journal of Applied Phycology*, 19(5), 417-423.
4. Sakai N., Sakamoto Y., Kishimoto N., Chihara M. and Karube I. 1995. *Chlorella* strains from hot springs tolerant to high temperature and high CO₂. *Energy Conversion and Management*, 36(6), 693-696.
5. Yan Cheng. and Zheng Zheng. 2013. Performance of photoperiod and light intensity on biogas upgrade and biogas effluent nutrient reduction by the microalgae *Chlorella sp.* *Bioresource Technology*,139 (292-299).
6. Posadas Esther., Marín David., Blanco Saúl., Lebrero Raquel. And Muñoz Raúl. 2017. Simultaneous biogas upgrading and centrate treatment in an outdoors pilot scale high rate algal pond. *Bioresource Technology*, 232(133-141).
7. ชัชฌพงษ์ ประทุม. 2558. ความเป็นไปได้ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรม. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 11(2), 108-133.
8. Briassoulis D., Panagakis P., Chionidis M., Tzenos D., Lalos A., Tsinos C., Berberidis K. and Jacobsen A. 2010. An experimental helical-tubular photobioreactor for continuous production of *Nannochloropsis sp.* *Bioresource Technology*, 101(17), 6768-6777.
9. Pawar Sanjay. 2016. Effectiveness mapping of open raceway pond and tubular photobioreactors for sustainable production of microalgae biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62(640-653).
10. Yan Cheng. and Zheng Zheng. 2014. Performance of mixed LED light wavelengths on biogas upgrade and biogas fluid removal by microalga *Chlorella sp.* *Applied Energy*,(113) 1008-1014.

11. Madiha Atta., Ani Idris., Ataulloh Bukhari. and Suzana, Wahidin. 2013. Intensity of blue LED light: A potential stimulus for biomass and lipidcontent in fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology* 148(373-378).
12. Yongjun Z., Juan W., Hui Z., Cheng Y. and Yuejin Z. (2013). Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process. *Bioresource Technology* 136(461–468).

การลดพลังงานในการอบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโลขนาด 300 ตัน โดยการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่

Reducing energy consumption for the drying of 300 tons of rice paddy in silos with heat recovery

อมร ดอนเมือง¹, นีรุต อ่อนสลุง^{1*}, สุริยา โชคเพิ่มพูน¹

Amorn Donmueng¹, Nirut Onsalung^{1*}, Suriya Chockphempoon¹

Received: 23 June 2019 ; Revised: 30 August 2019 ; Accepted: 17 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดพลังงานในการอบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโลขนาด 300 ตัน โดยการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำความร้อนที่เหลือจากการอบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโลมาหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับวิธีการอบลดความชื้นแบบเดิมกับการอบลดความชื้นแบบที่มีการหมุนเวียนความร้อนมาใช้ใหม่ทั้งหมด โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดการทดสอบคือประมาณ 32 °C ผลทดสอบพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนตลอดการทดสอบใกล้เคียงกันทั้งสองแบบคือประมาณ 80 °C แต่การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้ 12.88% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม หรือคิดเป็น 6,408 บาท (คิดที่การซื้อขायแลกเปลี่ยนโลกกรัมละ 8 บาท) หรือจะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้ 1,837,080 เมกะจูล/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 145,800 บาท/ปี โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 237,260.87 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 17.32% มีระยะเวลาในการคืนทุน 6 ปี และถือว่าการลงทุนที่คุ้มค่า

คำสำคัญ : ข้าวเปลือก แกลบ การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ การลงทุน

Abstract

The research aimed to reduce the energy used for drying of 300 tons of rice paddy in silos by using heat exchange equipment for heat recovery. Then, the old and new type of heat recovery equipment was compared with the result under the average environmental temperature throughout the test of approximately 32°C. The results showed that the hot air temperature from the rice husk furnace of both tests was about 80°C but the experiment using the new heat recovery method can save 12.88% or about 6,408 baht (on purchase husk on 8 baht/kg) of rice husk when compared with the old method. The study shows that the energy that can be saved is 1,837,080 MJ/year, cost savings are 145,800 baht/year, present value (NPV) equals 237,260.87 baht and the internal rate of return (IRR) is around 17.32%. Payback time is 6 years and is considered to be a worthwhile investment.

Keywords: Paddy, Husk, Heat recovery, Investment

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus, 47160

* Corresponding author: onsalung@gmail.com, Tel: 042-772391

บทนำ

กระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญก่อนการนำข้าวเปลือกไปแปรรูปเป็นข้าวสาร¹⁻³ การลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้หลายวิธี⁴⁻⁵ หากข้าวเปลือกมีปริมาณน้อยทำได้โดยการตากในที่โล่งแจ้งใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ แบบนี้จะไม่มีการใช้จ่ายด้านพลังงาน และแบบการใช้เครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือก แบบนี้จะสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ทุกสภาวะแวดล้อม ใช้พื้นที่น้อย ควบคุมคุณภาพข้าวได้ และลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ แต่จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีใช้อยู่ใน

ประเทศ มี 6 แบบคือ แบบกระบะ แบบกระสอบ แบบถังหมุนเวียน แบบคอลัมน์ แบบฟลูอิดไดซ์เบด และแบบไหลคลุกเคล้า จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าโรงสีขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 100 ตันต่อวัน พบว่าเครื่องอบลดความชื้นแบบไหลคลุกเคล้า เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด 65.4%⁶ อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานมากซึ่งผลจากการใช้พลังงานดังกล่าวจะมีผลต่อต้นทุนในการผลิตข้าวสารส่วนประกอบและกระบวนการทำงานของเครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบไหลคลุกเคล้า ดัง Figure 1

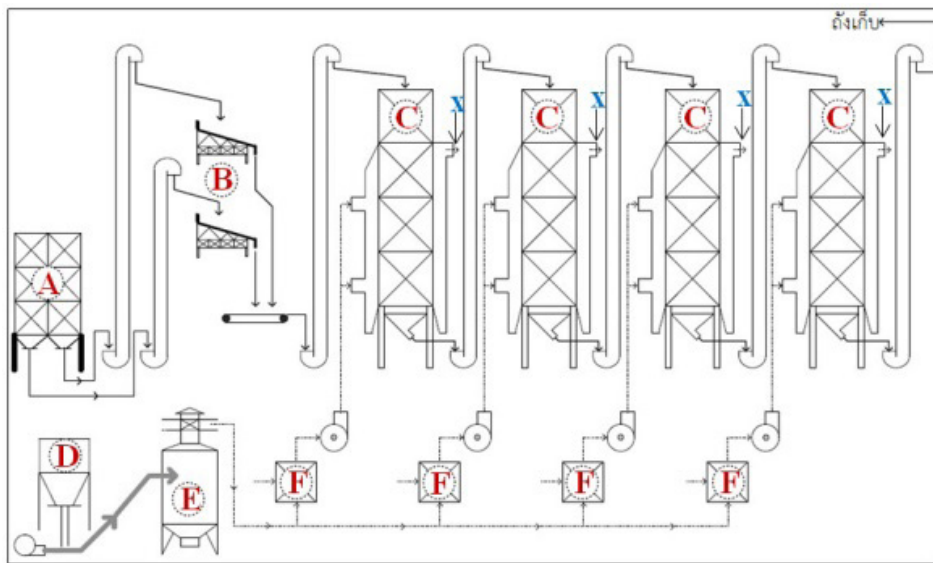


Figure 1 Components and work processes of paddy dehumidifier

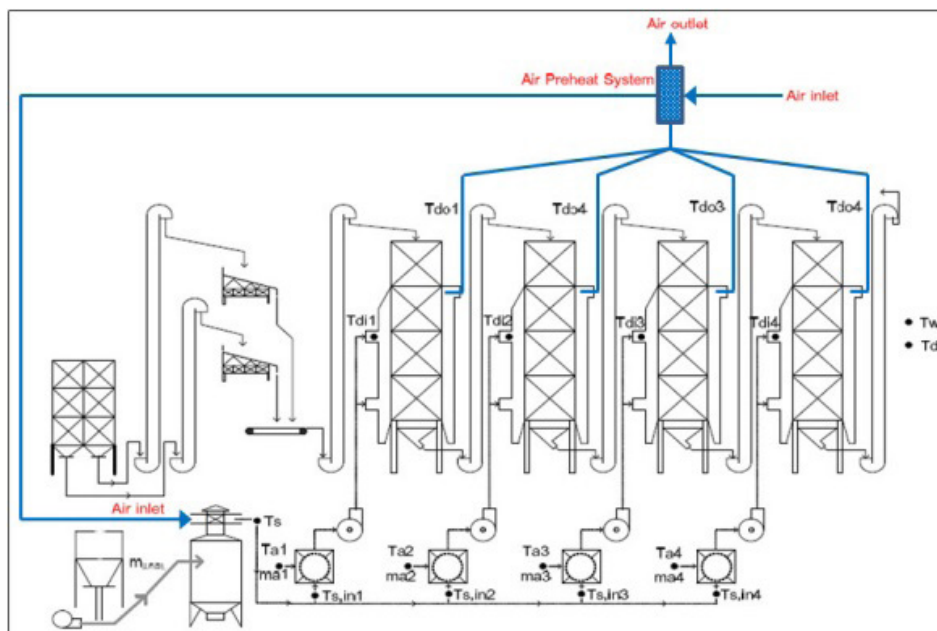


Figure 2 Components and processes of reusing heat energy

Figure 1 กระบวนการทำงานของเครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบไหลคลุกเคล้า เริ่มจากลำเลียงข้าวเปลือกความชื้นสูงจากถังรองรับข้าวเปลือกความชื้นสูง (A) ด้วยสายพานและกระพ้อไปยังเครื่องทำความสะอาด (B) เพื่อแยกฝุ่นและสิ่งเจือปนน้ำหนักเบาจากนั้นถูกลำเลียงด้วยสายพานและกระพ้อไปยังห้องอบลดความชื้น (C) ซึ่งมีอยู่ 4 ห้องอบ แต่ละห้องอบลดความชื้นจะเป็นถึงทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตรและสูง 10 เมตร ซึ่งมี 4 ห้องอบ หลังจากนั้นข้าวเปลือกที่ถูกอบเสร็จแล้วจะลำเลียงไปถึงเก็บโดยสายพาน กระบวนการอบลดความชื้นจะใช้ลมร้อนเป็นสารทำงาน ลมร้อนจะมาจากเตาผลิตความร้อน (E) ผ่านชุดลมร้อนก่อนเข้าห้องอบ (F) สำหรับเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในเตาผลิตความร้อนคือแก๊สที่ถังบรรจุแก๊สเชื้อเพลิง (D)

เมื่อพิจารณา Figure 1 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง X ซึ่งเป็นตำแหน่งของอากาศที่ให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกตามกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกแต่ละห้องอบ ถูกปล่อยทิ้งไปโดยไร้ประโยชน์ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงและมีปริมาณมาก งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานในการอบลดความชื้นข้าวเปลือก โดยติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดัง Figure 2 ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ในทางวิศวกรรมและนิยมใช้อย่างกว้างขวาง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1 ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำแข็งจะช่วยให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งเร็วขึ้น เป็นต้น และ 2 ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้จะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เป็นต้น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถือเป็นเทคโนโลยีทางวิศวกรรมที่สำคัญ และนิยมใช้มากในปัจจุบันเพราะสามารถประหยัดพลังงานได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อศึกษาลักษณะการนำความร้อนในการอบลดความชื้นข้าวเปลือกกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานในการ

อบลดความชื้นข้าวเปลือกต่อไป (2) เพื่อศึกษาออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรวมถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงที่จำเป็นอื่นๆ ในกระบวนการนำความร้อนกลับมาใช้อบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโล และ (3) วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์การใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถึงอุปกรณ์ปรับปรุง

วิธีดำเนินการวิจัย

บทความวิจัยนี้เป็นบทความวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้า⁷ ซึ่งผู้วิจัยได้นำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาช่วยในการออกแบบเพราะจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการไหลเวียนของอากาศร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในลักษณะนี้ ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่ารูปทรงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นสำคัญต่อพฤติกรรมของการไหลเวียนของอากาศภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมของการไหลเวียนของอากาศร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน งานวิจัยนี้จึงทำการหารูปทรงที่เหมาะสม โดยอาศัย CFD โดยจะพิจารณาจากลักษณะการกระจายความเร็ว การกระจายอุณหภูมิ และพฤติกรรมการไหลของอากาศในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเลือกใช้โครงสร้างที่ต่างกัน 3 รูปแบบคือ รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงหกเหลี่ยม และรูปทรงกระบอก เมื่อพิจารณาจากลักษณะการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจาก CFD พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทรงกระบอกมีลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่าแบบอื่น เพราะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 322.22 K ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือกลดลงเร็ว และเมื่อพิจารณาจากลักษณะการกระจายความเร็วของอากาศภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจาก CFD พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทรงกระบอกมีแนวโน้มดีกว่าแบบอื่นเพราะมีความเร็วเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.0419 m/s ซึ่งความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำๆ จะช่วยให้อากาศร้อนที่ไหลเวียนในห้องอบมีเวลาในการคลุกเคล้ากับข้าวเปลือกมากขึ้น Figure 3 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรูปทรงกระบอก และนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปติดตั้งดัง Figure 4

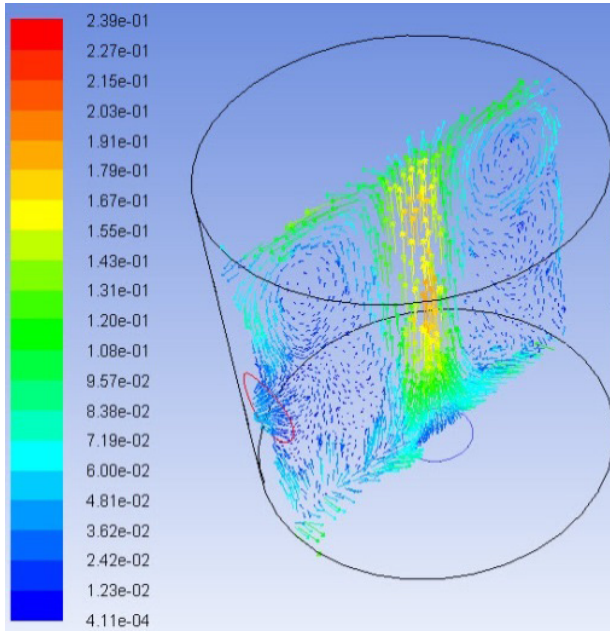


Figure 3 heat exchangers



Figure 4 Installation of heat exchangers

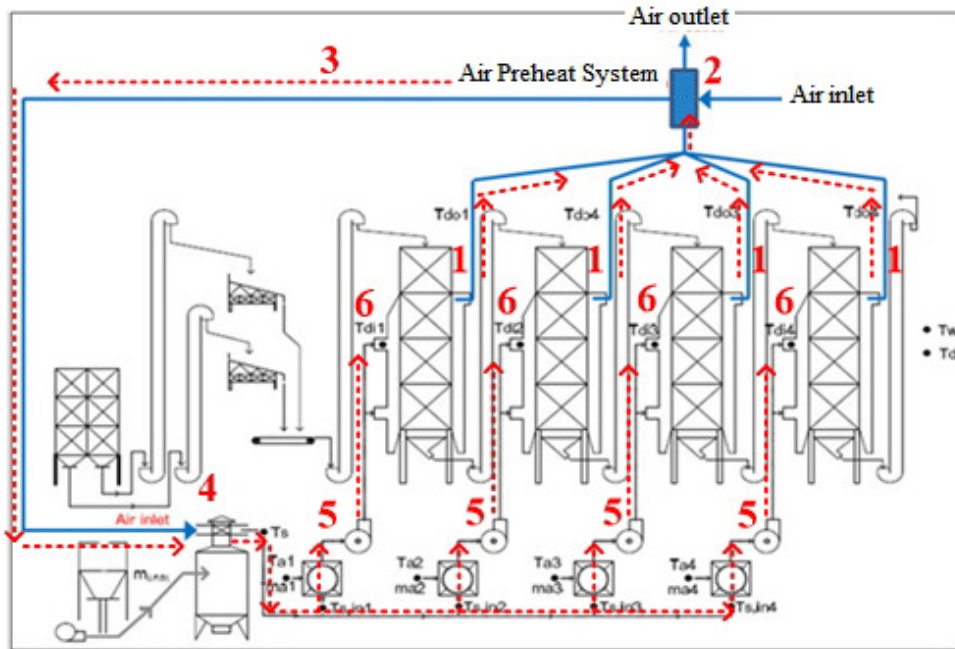


Figure 5 Process of heat exchangers

วิธีการอบลดความชื้นข้าวเปลือก

การอบลดความชื้นข้าวเปลือกสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้จำแนกออกเป็น 2 แบบคือ

1) การอบลดความชื้นแบบเดิม ซึ่งเป็นวิธีที่เจ้าของกิจการใช้ตั้งแต่เปิดกิจการ คือนำแกลบที่ได้จากการสีข้าวเปลือกมาเผาที่เตาเผาแกลบ และจะนำลมร้อนที่ได้จากการเผาแกลบไปอบลดความชื้นข้าวเปลือก ดัง Figure 1

2) การอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบใหม่ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สำหรับขั้นตอนของการเผาแกลบจะเหมือนกับ

การอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม ดัง Figure 1 แต่เพิ่มการนำอากาศร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งทั้งหมดจากกระบวนการอบลดความชื้นข้าวเปลือกกลับมาใช้ใหม่ Figure 5 อากาศร้อนที่ถูกปล่อยจากห้องอบลดความชื้นข้าวเปลือกทั้ง 4 ห้อง (1) จะไหลไปรวมกันที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น (2) จากนั้นอากาศร้อนทั้งหมดจะไหลผ่านท่อ (3) ไปยังด้านบนของเตาเผาแกลบ (4) เพื่อผสมกับอากาศร้อนที่ออกจากเตาเผาก่อนที่จะไหลออกไปและกระจาย (5) เข้าสู่ห้องอบลดความชื้นข้าวเปลือก (6) ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้

เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วจะใช้งานง่ายและไม่มีการจ่ายเพิ่ม เพราะเป็นการนำอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งจากการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมมาหมุนเวียนใช้ซ้ำนั่นเอง

เพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงและไม่มีความเสียหายต่อข้าวเปลือก ซึ่งผลของงานวิจัยจะยืนยันจาก (1) การวัดอุณหภูมิที่ออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนจะต้องเท่ากับหรือใกล้เคียงกับวิธีการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมเพราะอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากจะมีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก และ (2) การวัดปริมาณแลกเปลี่ยนเชื้อเพลิงของการอบลดความชื้นแบบใหม่จะต้องน้อยกว่าการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม

แลกเปลี่ยนเชื้อเพลิง

Figure 6 แลกเปลี่ยนเชื้อเพลิง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากการสีข้าวของโรงสีที่ผู้วิจัยร่วมทำงานวิจัยด้วย จากข้อมูลของเจ้าของโรงสีพบว่าปริมาณแลกเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ได้จากการสีข้าวประมาณ 4-6 ตันต่อวัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากจำนวนของแลกเปลี่ยนในแต่ละวันแล้วพบว่ามีความเพียงพอกับความต้องการสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้



Figure 6 Fuel husk

วิธีการทดลอง

เพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงและไม่มีความเสียหายต่อข้าวเปลือก ซึ่งผลของงานวิจัยจะยืนยันจากผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิและปริมาณการใช้แลกเปลี่ยนเชื้อเพลิงของการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมและการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบใหม่ งานวิจัยนี้จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบคือ 1) การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม และ 2) การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกใหม่ ในการทดสอบทั้ง 2 แบบจะทำการทดสอบแบบละ 3 ซ้ำจากนั้นหาค่าเฉลี่ยของผลที่ได้ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาของการทดลองดังนี้

1. ทดลองเก็บข้อมูลการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม ซึ่งจะทำการทดลองช่วง 24 กรกฎาคม 2561 ถึง 11 สิงหาคม 2561 ซึ่งจะทำการทดลอง 3 ครั้ง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 24.00 น. โดยทดลองครั้งละ 5 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนและปริมาณแลกเปลี่ยน
2. ทดลองเก็บข้อมูลการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบใหม่ ซึ่งจะทำการทดลองช่วง 15 สิงหาคม 2561 ถึง 7 กันยายน 2561 ซึ่งจะทำการทดลอง 3 ครั้ง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 24.00 น. โดยทดลองครั้งละ 5 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนและปริมาณแลกเปลี่ยน

วิธีการดำเนินงานด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับวิธีการดำเนินงานด้านเศรษฐศาสตร์ของงานวิจัยนี้แบ่งวิธีการดำเนินงานด้านเศรษฐศาสตร์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ปริมาณอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่

การวิเคราะห์ปริมาณอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับ ปริมาณของอากาศร้อนทั้งต่อวัน อุณหภูมิอากาศเย็นหลังจากรับความร้อน ปริมาณความร้อนที่ลดได้ต่อวัน และเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ต่อวัน (สำหรับระยะเวลาในการทดลอง ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ วิธีการทดลอง สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในด้านล่าง^๑)

ปริมาณของอากาศร้อนทั้งต่อวัน
 ปริมาณของอากาศร้อนทั้งต่อวัน

$$CMM_h/d = CMM_h \cdot h \cdot 60 \tag{1}$$

อุณหภูมิอากาศเย็นหลังจากรับความร้อน

$$T_f = T_o + (h_{HX} \cdot (CMM_h \cdot (T_f - T_o)) / CMM_c) \tag{2}$$

 ปริมาณความร้อนที่ลดได้ต่อวัน

$$Q = 72 \cdot CMM_c \cdot (T_f - T_o) \cdot h \tag{3}$$

เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ต่อวัน

$$Fuel = Q / (HL \cdot (h_f)) \tag{4}$$

เมื่อ

- CMM_h คือ อัตราการไหลของอากาศร้อนที่ปล่อยทิ้ง
- CMM_c คือ อัตราการไหลของอากาศแวดล้อมที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อน
- d คือ วัน
- h คือ การใช้งานต่อวัน
- HL คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน

- Q คือ ปริมาณความร้อนที่ลดได้ต่อวัน
- T₁ คือ อุณหภูมิอากาศร้อนที่ปล่อยทิ้ง
- T₀ คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อน
- T_f คือ อุณหภูมิอากาศเย็นหลังได้รับความร้อน
- h_f คือ ประสิทธิภาพเตาเผา
- h_{HX} คือ ประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาในการคืนทุนโดยจะพิจารณาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนและผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในด้านล่าง

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (5)$$

มูลค่าปัจจุบัน, NPV

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

เมื่อ

- R_t คือ ผลตอบแทนสุทธิในปีที่ t
- C_t คือ เงินลงทุนสุทธิของโครงการในปีที่ t
- r คือ IRR (อัตราส่วนลด)
- t คือ ปีโครงการ คือปีที่ 1, 2, 3.....n
- n คือ อายุของโครงการ

ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ

Figure 7 พบว่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยใกล้เคียงกันทั้งสองแบบคือประมาณ 32 °C แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิแวดล้อมใกล้เคียงกันและไม่มีผลกับการทดลองนี้

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศร้อนออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนตลอดการทดสอบ (T₂) พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 80 °C แสดงให้เห็นว่าการที่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่นี้ไม่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยน

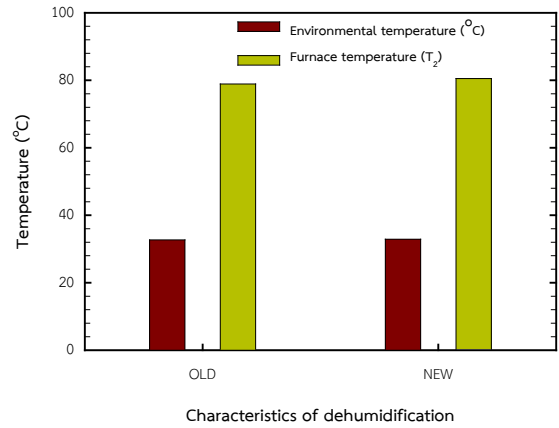


Figure 7 Comparison of the drying temperature of both types of paddy dehumidifier

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้แกลบ

Figure 8 พบว่าปริมาณแกลบเชื้อเพลิงที่ใช้พบว่าการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น ใช้ปริมาณแกลบเชื้อเพลิงรวม 5,416 กิโลกรัม แต่การอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมใช้ปริมาณแกลบเชื้อเพลิง 6,217 กิโลกรัม

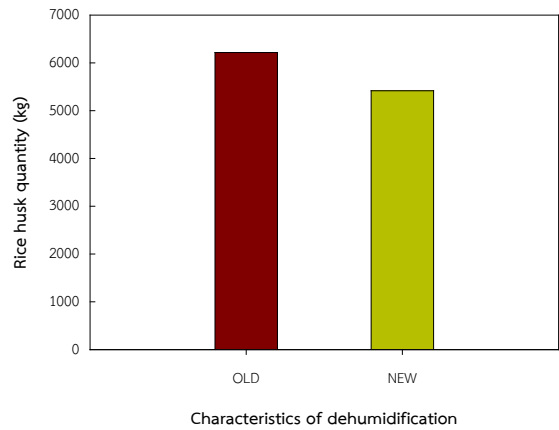


Figure 8 Total fuel husk throughout the test

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

Table 1 จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์กรณีการนำอากาศกลับมาใช้อุ่นอากาศ พบว่าการนำความร้อนทิ้งจากการอบลดความชื้นกลับมาใช้เพื่ออุ่นอากาศสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,837,080 เมกะจูล/ปี โดยการลงทุนเริ่มแรกประมาณ 600,00 บาท มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 237,260.87 บาท ซึ่งค่าดังกล่าวคือมูลค่ารายได้สุทธิในอนาคตเมื่อคิดลบเป็นปัจจุบันแล้วมูลค่าของเงินจำนวนนี้แสดงว่านอกจากการลงทุนครั้งนี้จะได้ผลตอบแทนนอกจากการใช้ทุนหรือ

อัตราดอกเบี้ย 10 % แล้วเจ้าของโรงสียังมีรายได้อีก 237,260.87 บาท ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน จากที่ได้จ่ายคืนเป็นค่าลงทุนและค่าดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นแล้ว และเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่คำนวณออกมาได้เป็นบวกหรือเกินศูนย์โครงการนี้จึงให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 17.32% เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบแทนนอกจากการใช้ทุนหรืออัตราดอกเบี้ย 10% จะเห็นได้ว่าค่า IRR ที่ได้สูงกว่าค่าเสียโอกาสของเงินทุนจึงเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เท่ากับ (PB) 6 ปี

Table 1 Economic analysis

Basic information		
Energy saving	12,247.20	MJ/day
Low calorific value of rice husk	14.40	MJ/kg
Number of work days (24 hours / day)	150	day/year
Air flow rate through heat exchanger	1,360,800	m ³ /day
Rice husk saving rate (Furnace efficiency 70%)	1,215.00	kg/day
Project life	10	year
Discount rate	10	%
Cost		
Air heat system price includes installation fees	600,000	baht
Maintenance fee (5% per year)	30,000	baht/year
Return of an investment		
Price husk	800	baht/ton
Analysis of returns		
Energy saving	1,837,080	MJ/year
Think of it as an economical cost.	145,800	baht/year
Investment	600,000	baht
Payback Period :PB	6	year
Net Present Value: NPV	237,260.87	baht
Internal Rate of Return :IRR	17.32	%

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการลดพลังงานในการอบลดความชื้นข้าวเปลือกในไซโลขนาด 300 ตัน โดยการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ประกอบด้วย การทดลอง 2 แบบ คือ 1) การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม และ 2) การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น มีอุณหภูมิอากาศร้อนออกจากเตาเผาแลกเปลี่ยนตลอดการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมคือ 80.4°C และ 80.2°C ตามลำดับ

2. การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น มีปริมาณแลกเปลี่ยนความร้อนรวมตลอดการทดสอบน้อยกว่าการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิมคือ 5,416 กิโลกรัม และ 6,217 กิโลกรัม ตามลำดับ หรือคิดเป็นประหยัดแลกเปลี่ยนได้ 12.88% เมื่อเปรียบเทียบกับลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเดิม และพบว่าปริมาณแลกเปลี่ยนความร้อนต่างกันโดยการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นใช้แลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่า 801 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 6,408 บาท (คิดที่การซื้อขายแลกเปลี่ยน กิโลกรัมละ 8 บาท)

3. อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 17.32% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุนที่ 10% จะเห็นว่าค่า IRR ที่ได้สูงกว่าค่าเสียโอกาสของเงินทุนจึงเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เท่ากับ (PB) 6 ปี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับรอบการทำความสะดวก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพราะอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนติดตั้งบริเวณที่มีฝุ่นจากโรงสีตลอดเวลา

2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดอื่นที่นอกเหนือ จากงานวิจัยนี้เนื่องจากขนาดของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตามสัญญาเลขที่ SKC2561REV052 และขอขอบคุณ คุณมานะ วิชางาม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ความรู้เรื่อง CFD

เอกสารอ้างอิง

- 1 สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555). สถานการณ์สินค้าการเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2555
- 2 สำนักสินค้าการเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547). คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. ISBN 974-436-343-6; 2547
- 3 สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว 2555 ได้จาก: <http://www.brrd.in.th/rkb/postharvest/>. 15 พฤษภาคม 2555.
- 4 สุพิชญ์ มีสุขเจ้าสำราญ. เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ. เจื่อนไขการอบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2552
- 5 Poomsa-ad, N. Optimal Design of Paddy Drying System in Rice Mill. Doctor's Thesis: King Mongkut, University of Technology Thonburi, Thailand. 2001.
- 6 ขุนพล สังข์อริยกุล. การประเมินสถานภาพเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกในประเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- 7 อมร ดอนเมือง, นิรุต์ อ่อนสูง และ สุริยา โชคเพิ่มพูน. การทำนายพฤติกรรมของอากาศในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของการอบข้าวเปลือกเมื่อเลือกใช้โครงสร้างที่ต่างกัน 3 รูปแบบ. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ การประชุมวิชาการระดับชาติราชชมงคลสกลนคร ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร. สกลนคร; 2541. หน้า A252-256.
- 8 คะเน็งนิจ เพ็ชรกลาง. การศึกษาโพรไฟล์การใช้พลังงานในโรงสีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533.

ผลของการปลูกร่วมกันสองพันธุ์ต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

Effect of two-mixed cultivars planting system on yield and yield component of sugarcane

เสวตฉัตร เศษโถ¹, จริยา นามวงษา^{1,2}, นันทวุฒิ จงรังกลาง^{1,2}, พัชริน ส่งศรี^{1,2,*}Sawettachat Set-tow¹, Jariya Namwongsa^{1,2}, Nuntawoot Jongrungklang^{1,2}, Patcharin Songsri^{1,2,*}

Received: 23 April 2019 ; Revised: 22 July 2019 ; Accepted: 17 September 2019

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของการปลูกอ้อยแบบร่วมพันธุ์ต่อการให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ปลูกภายใต้ระบบปลูกอ้อยข้ามแล้งโดยอาศัยน้ำฝน ปลูกทดสอบพันธุ์อ้อย 5 พันธุ์ ประกอบด้วย KK3, Kps01-12, Kku99-02, MPT02-458 และ UT13 ในระบบปลูกร่วมกัน 2 พันธุ์ และระบบปลูกแบบเดี่ยวรวมเป็น 15 กรรมวิธี วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างเดือนมกราคม 2558 ถึง มกราคม 2559 วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ตรวจวัดข้อมูลที่อายุ 12 เดือนได้แก่ ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล ค่าซี.ซี.เอส และองค์ประกอบผลผลิต ผลทดสอบพบว่า ทุกลักษณะที่ศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ยกเว้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ คู่พันธุ์ UT13 และ Kku99-02 เมื่อปลูกร่วมกัน สามารถให้ผลผลิตอ้อย (13.9 ตันต่อไร่) และผลผลิตน้ำตาลสูง (2.10 ตัน ซี.ซี.เอสต่อไร่) ส่วนพันธุ์ KK3 ให้ผลผลิตสูงในระบบปลูกแบบเดี่ยวเพียงระบบเดี่ยวไม่สามารถปลูกร่วมกับพันธุ์อื่นได้ นอกเหนือจากนี้ยังพบว่าคู่พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจะมีลักษณะจำนวนลำ ($r = 0.73$, $p < 0.01$) และความยาวลำ ($r = 0.64$, $p < 0.01$) สูงตามไปด้วย รวมทั้งพันธุ์ที่มีทรงกอแคบควรปลูกร่วมกับพันธุ์ที่มีทรงกอปานกลางหรือทรงกอกว้างจึงจะสามารถให้ผลผลิตอ้อยสูง

คำสำคัญ: ระบบปลูกอ้อย ร่วมพันธุ์ การปลูกปลายนฝน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต

Abstract

The objective of this experiment was to investigate the response of the mixed cultivars planting system to its yield and yield components of sugarcane grown under rainfed condition over the dry season. Five sugarcane cultivars consisting of KK3, Kps01-12, Kku99-02, MPT02-458, and UT13 were planted in the mixed-cultivar and mono-cultivar system. A total of 15 treatments were evaluated in RCBD with 3 replications at the Agronomy Research Station, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University during January 2015 to January 2016. The experimental design was RCBD with 3 replications, the data were recorded at 12 months after planting (MAP) were cane yield, sugar yield, C.C.S., and yield components. The results showed that all trait measurements were statistically different (at $p \leq 0.01$) except stalk diameter. The mixed cultivar between UT13 and Kku99-02 provided high yield (13.9 ton/rai) and sugar yields (2.10 ton C.C.S./rai) under the mixed cultivar planting system. However, KK3 only gave the best yield under the mono-cultivar system having high yields in a single planting system. It is not recommended for growing with other varieties. It was also found that the high yielding cultivars had a high associate with millable cane ($r = 0.73$, $p < 0.001$) and stalk length ($r = 0.64$, $p < 0.01$) as well. Cultivars that have narrow canopy should be planted with mixed cultivars that have had a moderate or wide canopy shape as it can provide high yield.

Keywords: sugarcane cropping systems, mixed cultivar, late rainy season, yield, yield component

¹ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น ประเทศไทย 40002

² ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

¹ Department of Agronomy Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand 40002

² Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Department of Agronomy Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

* Corresponding author: patcharinso@kku.ac.th

บทนำ

อ้อยเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกน้ำตาลทรายเป็นอันดับสองของโลก รองจากประเทศบราซิล สร้างมูลค่าการส่งออกน้ำตาลหลายล้านบาท¹ ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยมากกว่า 10 ล้านไร่ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ² แต่อย่างไรก็ตามระบบการผลิตอ้อยมักมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลผลิตตกต่ำ เช่น พันธุ์ ความแห้งแล้ง โรคระบาดและแมลง เป็นต้น

ระบบการผลิตอ้อยส่วนใหญ่นิยมปลูกเพียงสายพันธุ์เดียวในพื้นที่ปลูก ซึ่งการปลูกอ้อยสายพันธุ์เดียวทั้งแปลงอาจได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ เช่น ความแห้งแล้ง โรคระบาดและแมลง ที่คาดเดาได้ยากลำบาก การปลูกอ้อยหลายพันธุ์ร่วมกันในแปลง Mixed Cultivar หรือ Blend Cultivar จึงเป็นแนวคิดที่อาจลดความเสี่ยงดังกล่าว รวมทั้งยังคงรักษาผลผลิตไว้ได้ การศึกษาเรื่องความเหมาะสม หรือการเจริญเติบโตร่วมกันได้ของสายพันธุ์ที่จะนำมาปลูกร่วมกันนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากอ้อยในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันในรูปแบบการเจริญเติบโต เช่น ความสูง การแตกกอ ทรงใบ และลักษณะการสะสมน้ำตาล เป็นต้น ซึ่ง Singels and Smit³ กล่าวว่าในสภาพการปลูกอ้อยแบบพันธุ์เดียวจะมีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อลดระยะห่างระหว่างแถวอ้อยลง ส่งผลให้อัตราความหนาแน่นของลำ มวลชีวภาพ การแข่งขันผลิตใบเพื่อรับแสง และส่งผลทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าว บ่งชี้ถึงการแข่งขันของอ้อยในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ในปัจจุบันการศึกษาเรื่องการปลูกอ้อยหลายพันธุ์ร่วมกันนั้นเคยมีการศึกษาบ้างแล้ว Takaragawa *et al.*⁴ ได้อธิบายว่าการปลูกอ้อยแบบผสมทำให้จำนวนลำลดลงเนื่องจากเกิดการแข่งขันกันระหว่างสองสายพันธุ์ที่ปลูกร่วมกัน อย่างไรก็ตามการปลูกแบบผสมทำให้น้ำหนักลำรวมเพิ่มขึ้น และพบว่าผลผลิตของอ้อยที่มีการปลูกรวมพันธุ์มีความใกล้เคียงกับอ้อยแบบใช้พันธุ์เดียวในการปลูก ส่วนผลการศึกษาของ Spaul *et al.*⁵ ได้พบว่า การปลูกแบบผสมผสานสายพันธุ์กันระหว่างพันธุ์ที่มีระดับความอ่อนแอของโรคที่แตกต่างกันสามารถลดสัดส่วนการเกิดโรคในแปลงได้ และยังส่งผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากถึง 40% อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Wolfe⁶ ได้กล่าวไว้ถึงความเสี่ยงในระบบการปลูกพืชว่า ในกรณีของโรคที่เกิดจากเชื้อราในข้าว การปลูกข้าวเพียงพันธุ์เดียวนั้นอาจมีความเสี่ยงมากต่อการเข้าทำลายของเชื้อราที่เป็นเชื้อสาเหตุ

โรคในสภาพแปลงได้ทั่วทั้งแปลง ซึ่งวิธีแก้ปัญหาคือ การปลูกพืชที่ต้านทานโรค หลายๆพันธุ์ร่วมกันดังนั้น การศึกษาเรื่องนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการตอบสนองของการปลูกอ้อยแบบพันธุ์ผสม หรือปลูกหลายพันธุ์ร่วมกัน ต่อการให้ผลผลิต และน้ำตาลของอ้อยสองพันธุ์ที่ปลูกร่วมกัน ในระบบปลูกอ้อยข้ามแล้ง เพื่อเป็นข้อมูลและทางเลือกให้เกษตรกรเพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มผลผลิตซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษามาก่อน

วิธีการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกทดสอบพันธุ์อ้อย 5 พันธุ์ ประกอบด้วย KK3 (ผลผลิตสูง ทรงกอตั้งตรงและนิยมปลูกในประเทศไทย), Kps01-12 (โตเร็ว และทรงกอค่อนข้างกว้างมักจะหักล้มเมื่ออายุเก็บเกี่ยว), Kku99-02 (ขนาดลำใหญ่ และทรงกอค่อนข้างกว้าง), MPT02-458 (ผลผลิตสูง และทรงกอค่อนข้างตั้งตรง) และ UT13 (ขนาดลำเล็ก แตกกอดี ใบตั้ง และทรงกอค่อนข้างแคบ) ในระบบปลูกร่วมกัน 2 พันธุ์ และระบบปลูกแบบเดี่ยวรวมเป็น 15 กรรมวิธี (Table 1)

การปลูกและการดูแลแปลง

ปลูกทดสอบในสภาพไร่ที่แปลงทดลองหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ อ.เมือง จ.ขอนแก่น พื้นที่เป็นดินทราย คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีความเป็นกรด-ด่าง 6.68 ค่าการนำไฟฟ้า 0.06 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 0.39 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ดินอยู่ในระดับต่ำ (ต่ำกว่า 1.5%)⁷ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน 0.019 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 147.82 พีพีเอ็ม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 267.36 ppm

ดำเนินการปลูกทดสอบระหว่างวันที่ 29 มกราคม 2558 ถึง 29 มกราคม 2559 โดยใช้ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร และระยะห่างระหว่างต้น 0.5 เมตร ปลูกจำนวน 3 แถวต่อ 1 แปลงย่อย แต่ละแถวยาว 5 เมตร ปลูกแบบวางท่อนคู่ (2 พันธุ์ คู่กัน) (Figure 1) แต่ละท่อนมี 3 ซ้อตา ให้น้ำตามร่องอ้อยหลังปลูกเพื่อให้อ้อยงอกอย่างสม่ำเสมอ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 50 กก./ไร่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพร้อมปลูก และครั้งที่ 2 เมื่ออ้อยอายุ 5 เดือน กำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน ในช่วง 4 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นกำจัดวัชพืชโดยใช้สารพาราควอตฉีดพ่น ในอัตรา 400 มิลลิลิตร ต่อไร่ 60 ลิตร เมื่ออายุ 6 เดือน หลังปลูก

การบันทึกข้อมูล

ข้อมูลฟ้าอากาศ ข้อมูลทางสภาพอากาศรายวัน เช่น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณน้ำฝน ตลอดระยะเวลาช่วงเวลาที่มีการทดลองก่อนช่วงเก็บเกี่ยวโดยอ้างอิง จากอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อมูลพืช ตรวจวัดข้อมูลที่อายุ 12 เดือนได้แก่ ผลผลิตอ้อย ค่าซี.ซี.เอส. และ องค์ประกอบผลผลิต ประกอบไปด้วย จำนวนลำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ และความยาวลำ

ผลผลิตอ้อย โดยนับจำนวนลำทั้งหมด (ลำต่อไร่) จาก 2 แถวกลาง ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 24 ตารางเมตร และตัดอ้อยซึ่งน้ำหนักรวม เพื่อคำนวณผลผลิตอ้อยเป็นตัน/ไร่

ผลผลิตน้ำตาล คำนวณจาก (ผลผลิตอ้อย x ซี.ซี.เอส./100)

องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ลักษณะความยาวลำ (เซนติเมตร) วัดจากโคนจนถึงจุดหักธรรมชาติโดยใช้ตลับเมตร ลักษณะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) วัดด้วย

เวอร์เนียร์ที่ตำแหน่งโคน กลางและปลาย ทั้งสามลักษณะสุ่มวัด 8 กอ กอละ 2 ลำ (ไม่แยกพันธุ์) แล้วหาค่าเฉลี่ย ลักษณะจำนวนลำต่อกอ สุ่มนับจำนวน 8 กอ ต่อแปลงย่อย นับจำนวนลำที่เจริญเติบโตสมบูรณ์ของแต่ละกอ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยแต่ละแปลงย่อย

ค่าซีซีเอส สุ่มเก็บตัวอย่างจากแปลงย่อย แปลงละ 8 ลำ จากนั้นนำตัวอย่างส่งไปตรวจวัดคุณภาพน้ำตาลที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เพื่อนำมาคำนวณหาผลผลิตน้ำตาลต่อตันอ้อย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับ $p = 0.05$ และหาความสัมพันธ์ระหว่างการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต โดยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation)

Table 1 Mixed cultivar planting in each treatment.

Treatment No.	Mixed cultivar planting		
1	Kps01-12	VS	KKU99-02
2	Kps01-12	VS	KK3
3	KK3	VS	KKU99-02
4	KK3	VS	UT13
5	KKU99-02	VS	MPT02-458
6	KKU99-02	VS	UT13
7	MPT02-458	VS	Kps01-12
8	MPT02-458	VS	KK3
9	UT13	VS	Kps01-12
10	UT13	VS	MPT02-458
11		Kps01-12	
12		KK3	
13		KKU99-02	
14		MPT02-458	
15		UT13	



Figure 1 Mixed cultivar planting at the Agronomy field crop research station, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สภาพอากาศ

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูก 1,413.9 มิลลิเมตรต่อปี มีฝนตก 4 วันในช่วง 2 เดือนแรก (60 วันหลังปลูก) เป็นระยะที่อ้อยแตกกอ ระยะนี้มีปริมาณน้ำฝนน้อยทำให้อ้อยประสบกับความแห้งแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโต เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 3 (90 วันหลังปลูก) เริ่มมีปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน ในเดือนที่ 5 ย่างเข้าเดือนที่ 6 (150-180 วันหลังปลูก)

ตรงกับระยะย่างปล้อง ฝนทิ้งช่วงยาวนาน 25 วัน เมื่อเข้าเดือนที่ 6 (180 วันหลังปลูก) ฝนตกต่อเนื่องถึงเดือนที่ 9 (270 วันหลังปลูก)

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดฤดูปลูก เท่ากับ 28.27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 เท่ากับ 37.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 เท่ากับ 15.22 องศาเซลเซียส (Figure 2)

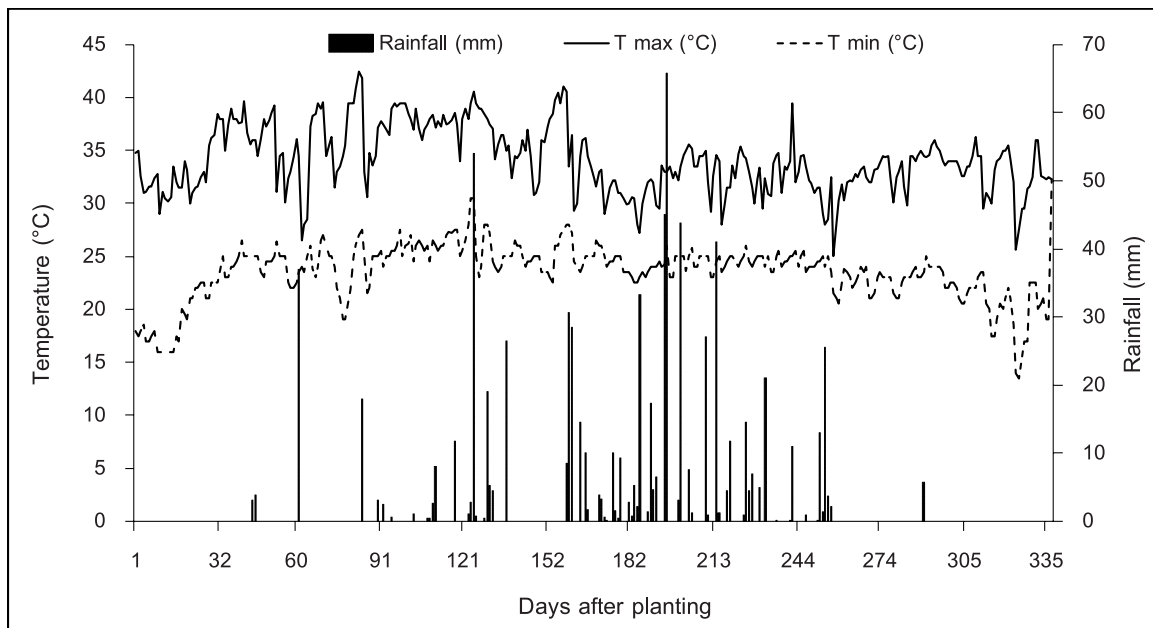


Figure 2 Rainfall, minimum and maximum temperature of plant cane during 2015-2016.

ผลผลิตอ้อย ค่าซี.ซี.เอส ผลผลิตน้ำตาล และองค์ประกอบผลผลิต

การประเมินการปลูกร่วมพันธุ์ของอ้อยทั้ง 10 คู่ผสม พบว่า ทุกลักษณะที่ตรวจวัดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.01$) ยกเว้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2, Table 3) สิ่งทดลองที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ พันธุ์ KK3 (ปลูกแบบพันธุ์เดี่ยว) และ คู่พันธุ์ K KU99-02 กับ UT84-13 (ปลูกแบบผสม) ส่วนคู่พันธุ์ที่ให้ค่าซี.ซี.เอสสูง ได้แก่ คู่พันธุ์ Kps01-12 กับ K KU99-02, Kps01-12 กับ KK3, KK3 กับ K KU99-02, KK3 กับ UT13, K KU99-02 กับ UT84-13, MPT02-458 กับ Kps01-12, MPT02-458 กับ KK3, UT13 กับ MPT02-458 และอีกสามพันธุ์ที่ปลูกแบบพันธุ์เดี่ยว คือ พันธุ์ Kps01-12, K KU99-02 และ MPT02-458 การให้ผลผลิตน้ำตาล พบว่า คู่พันธุ์ Kps01-12 กับ KK3, KK3 กับ K KU99-02, K KU99-02 กับ UT13, UT13 กับ MPT02-458 และอีกสองพันธุ์ที่ปลูกแบบพันธุ์เดี่ยวคือ KK3 และ K KU99-02 ให้ผลผลิตน้ำตาลในระดับสูง (Table 2) ลักษณะองค์ประกอบผลผลิต (จำนวนลำ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ และความยาวลำ) คู่พันธุ์ที่มีจำนวนลำต่อกอ และต่อไร่สูงได้แก่ คู่พันธุ์ K KU99-02 กับ UT13 และ พันธุ์ KK3 ที่ปลูกแบบพันธุ์เดี่ยวในขณะที่ลักษณะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนความยาวลำคู่พันธุ์ที่ให้ค่าสูงได้แก่ คู่พันธุ์ Kps01-12 กับ KK3, KK3 กับ K KU99-02, K KU99-02 กับ MPT02-458, K KU99-02 กับ UT13, MPT02-458 กับ Kps01-12 และอีกสามพันธุ์ที่ปลูกแบบพันธุ์เดี่ยวคือ KK3, K KU99-02 และ UT13 (Table 3)

ความสัมพันธ์ของผลผลิตอ้อยกับลักษณะต่าง ๆ

การปลูกทดสอบคู่พันธุ์ในสภาพดินทรายภายใต้เขตอาศัยน้ำฝน เมื่อเปรียบเทียบการปลูกอ้อยเพียงพันธุ์เดียวกับการปลูกแบบผสมพบว่า พันธุ์ KK3 และ คู่พันธุ์ K KU99-02 กับ UT13 ให้ผลผลิตอ้อยและผลผลิตน้ำตาลสูง (Table 2) อีกทั้งคู่พันธุ์ K KU99-02 กับ UT13 มีค่าซี.ซี.เอสสูงจึงส่งผลให้ผลผลิตน้ำตาลสูงตามไปด้วย ในขณะที่พันธุ์ KK3 สามารถให้ผลผลิตน้ำตาลสูงได้ แม้ว่าจะมีผลผลิตอ้อยสูงเพียงลักษณะเดียว ส่วนลักษณะขององค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนลำและความยาวลำ มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับกับผลผลิตอ้อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.73 ($p < 0.01$) และ $r = 0.64$ ($p < 0.01$) ตามลำดับ (Figure 3) ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นลักษณะที่ส่งเสริมให้ผลผลิตอ้อยสูงสอดคล้องกับ จุฑามาต และคณะ³ ที่รายงานว่าองค์ประกอบผลผลิต (จำนวนลำต่อไร่, น้ำหนักลำต้น, ความยาวลำ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ) เป็นลักษณะที่ส่งเสริมให้อ้อยมีผลผลิตสูง และสอดคล้องกับ อาทิตย์ และคณะ⁴ ที่วิเคราะห์ลักษณะองค์ประกอบผลผลิตในอ้อยปลูกของอ้อยพันธุ์กำแพงแสนชุดปี 2000 และ 2001 พบว่า ลักษณะความยาวลำและจำนวนลำต่อไร่ มีความสำคัญต่อผลผลิตมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ

Table 2 Cane yield, C.C.S. and sugar yield at 12 months after planting of 10 sugarcane cultivars under mixed and 5 mono-cultivar cropping system

Cultivars	Planting pattern	Cane yield (ton/rai)	C.C.S.	Sugar yield (ton C.C.S./rai)
Kps01-12	monculture	7.10 i	14.90 abc	1.03 e
	VS Kku99-02	12.40 ef	15.50 ab	1.90 bc
	VS KK3	13.00 cde	15.50 ab	2.10 a
KK3	monculture	14.50 a	14.10 bcd	2.03 ab
	VS Kku99-02	12.90 cde	15.70 a	2.03 ab
	VS UT13	12.70 def	14.80 abc	1.87 bc
Kku99-02	monculture	13.00 cde	16.10 a	2.08 a
	VS MPT02-458	11.20 gh	13.10 d	1.47 d
	VS UT13	13.90 ab	15.20 ab	2.10 a
MPT02-458	monculture	12.00 fg	15.30 ab	1.90 bc
	VS Kps01-12	11.00 h	15.60 ab	1.77 c
	VS KK3	12.30 ef	15.70 a	1.90 bc
UT13	monculture	13.60 bc	14.30 bcd	1.90 bc
	VS Kps01-12	7.80 i	13.50 cd	1.03 e
	VS MPT02-458	13.40 bcd	15.70 a	2.10 a
	Mean	12	15.11	1.8
	F-test	**	**	**
	C.V. (%)	4.25	5.6	5.7

** significant at 0.01 probability levels. Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD test at $p=0.05$

Table 3 Millable cane, stalk number/stool, stalk diameter (mm.), and stalk length (cm.) at 12 months after planting of 10 sugarcane cultivars under mixed and 5 mono-cultivar cropping system

Cultivars	Planting pattern	Millable cane (Stalk/rai)	Stalk number/stool	Stalk diameter (mm.)	Stalk length (cm.)
Kps01-12	monculture	5166 de	4.00 e	29.30	206 d
	VS Kku99-02	6187 d	4.00 e	31.30	220 cd
	VS KK3	7840 bc	5.00 b-e	29.90	261 a
KK3	monculture	9528 a	6.30 a	30.50	269 a
	VS Kku99-02	8355 b	5.00 b-e	29.80	261 a
	VS UT13	6684 cd	4.00 e	28.80	223 cd
Kku99-02	monculture	7248 d	4.60 cde	30.50	251 ab
	VS MPT02-458	4111 e	4.00 e	29.30	251 ab
	VS UT13	8867 ab	5.80 abc	30.30	262 a
MPT02-458	monculture	5800 d	4.00 e	30.30	237 bc
	VS Kps01-12	5746 d	4.70 cde	30.10	248 ab
	VS KK3	6086 d	4.30 de	30.60	208 d
UT13	monculture	7351 c	5.00 b-e	30.30	264 a
	VS Kps01-12	5191 de	4.00 e	29.90	209 d
	VS MPT02-458	8727 ab	5.20 bcd	30.30	235 bc
	Mean	6725.8	4.97	30.07	234.78
	F-test	**	**	ns	**
	C.V. (%)	14.15	13.49	4.13	6.07

** , ns = significant at 0.01 probability levels and not significant, respectively. Mean in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD test at $p=0.05$

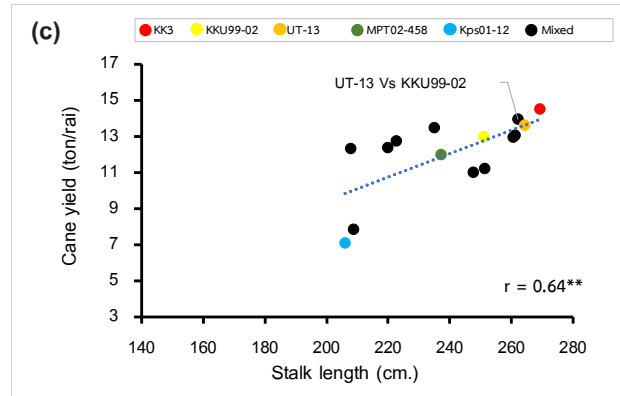
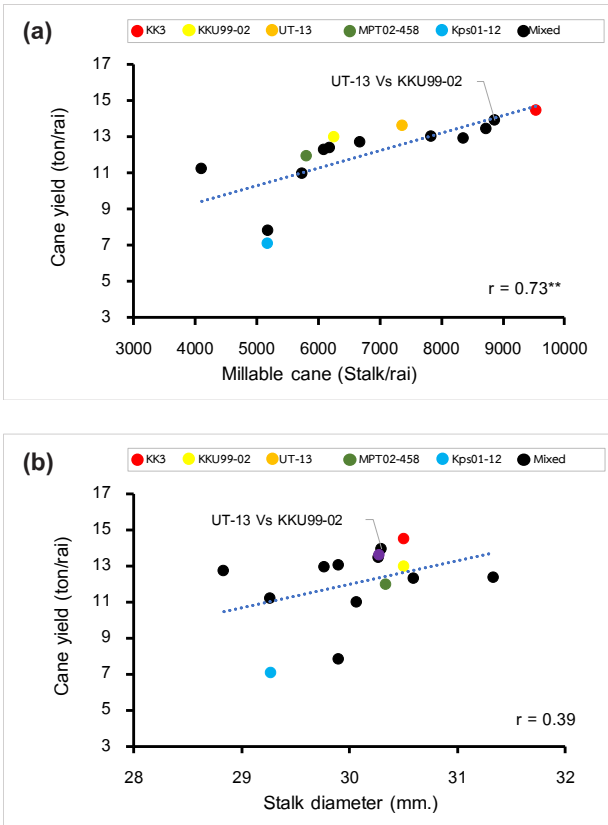


Figure 3 Relationship between cane yield and millable cane (a), stalk diameter (b) and stalk length (c) of 10 sugarcane cultivar pair and 5 sugarcane cultivars at 12 months under rainfed condition at Khon Kaen University during 2015/16. ** = significant at 0.01 probability levels

เมื่อพิจารณาผลผลิตอ้อยพบว่า พันธุ์ UT13 และ KKU99-02 เมื่อปลูกร่วมกันทั้งสองพันธุ์สามารถส่งเสริมและเกิดการแข่งขันพัฒนาจำนวนลำและความสูงของลำต้นให้สูงขึ้นได้เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกแบบพันธุ์เดียว (Table 2, Table 3, Figure 3) สอดคล้องกับ Kapur *et al.*¹⁰ ที่อธิบายว่าการปลูกผสมของอ้อยบางชนิดสามารถเพิ่มผลผลิตและเพิ่มความคงตัวของผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่ปลูกเพียงชนิดเดียวได้อีกทั้งการปลูกแบบผสมทำให้ลักษณะของทรงกอของทั้งสองพันธุ์เกิดการแข่งขันในแง่บวกส่งเสริมให้จำนวนลำ และเพิ่มการเจริญเติบโตของทรงพุ่มอ้อย⁴ ซึ่งโดยทั่วไปโครงสร้างของทรงกอขึ้นอยู่กับขนาดลำต้นและความสูง¹¹ คู่พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงมีความแตกต่างด้านทรงกอ โดยพันธุ์ KK3 และ UT13 มีทรงกอแคบ ส่วนพันธุ์ KKU99-02 มีทรงกอปานกลาง ดังนั้นการปลูกอ้อยแบบผสมให้ได้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องนำพันธุ์ที่มีทรงกอแคบปลูกผสมกับพันธุ์ที่มีทรงกอปานกลาง รวมทั้งพันธุ์ที่นำมาปลูกต้องมีความสามารถในการเจริญเติบโตร่วมกันได้จึงจะสามารถให้ผลผลิตที่สูงได้

สรุป

การปลูกอ้อยเพียงสายพันธุ์เดียวกับการปลูกผสมให้ผลผลิตอ้อยมีทั้งต่างกันและไม่แตกต่างกันความสามารถของการเข้าคู่กันได้และส่งเสริมในด้านผลผลิตเกิดจากชนิดพันธุ์ ซึ่งพันธุ์ KKU99-02 และ UT13 สามารถให้ผลผลิตอ้อย และผลผลิตน้ำตาลสูงเมื่อปลูกร่วมกัน ส่วนพันธุ์ KK3 ให้ผลผลิตสูงในระบบปลูกแบบเดี่ยวเพียงระบบเดียว ไม่สามารถปลูกร่วมกับพันธุ์อื่นได้ ในขณะที่ลักษณะขององค์ประกอบผลผลิตบางลักษณะ เช่น จำนวนลำและความยาวลำ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตอ้อย โดยเฉพาะคู่พันธุ์ KKU99-02 กับ UT13 มีจำนวนลำต่อไร่สูงกว่าการปลูกแบบเดี่ยวทั้งสองพันธุ์ร่วมกัน แต่ความยาวลำไม่แตกต่าง ซึ่งพันธุ์ที่มีทรงกอแคบควรปลูกผสมกับพันธุ์ที่มีทรงกอปานกลางจึงจะสามารถให้ผลผลิตอ้อยสูง

อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการทดสอบพันธุ์เพิ่มเติมจากการศึกษาครั้งนี้ โดยการติดตามผลเก็บข้อมูลความสามารถในการร่วมพันธุ์ในอ้อยต่อเพื่อยืนยันผลและทดสอบในหลายพื้นที่ ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ในการปรับปรุงผลผลิตอ้อย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 24 ต.ค.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www.oae.go.th/view/รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร/28911/TH-TH>.
2. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. พื้นที่การผลิตอ้อย. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย 2559/60 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ค. 2561]. เข้าถึงได้จาก www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf.
3. Singels A, Smit MA. Sugarcane response to row spacing-induced competition for light. *Field Crops Res* 2009; 113: 149-155.
4. Takaragawa H, Watanabe K, Thanankorn J, Nakabaru M, Kawamitsu Y. Crop diversity in sugarcane: effect of mixed cultivars on the growth and yield of sugarcane. *INT Sugar J* 2017; 29: 246-250.
5. Spaul V, Cadet P, Berry S. Effect of variety combinations on yield of sugarcane. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 2006; 80: 274-277.
6. Wolfe MS. Crop strength through diversity. *Nature* 2000; 406: 681-682.
7. ณรงค์ ศรีสุวรรณ. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของชุดดินที่พบในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 483. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2544.
8. จุฑามาศ เครื่องพาที, พัชริน สังศรี, นันทวุฒิ จงรังกลาง. การประเมินผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของพันธุ์อ้อยดีเด่นภายใต้สภาพอาศัยน้ำฝนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารเกษตรพระวรุณ* 2560; 1: 30-40.
9. อาทิตย์ แสงสายันท์, เรวัตติ เลิศฤทัยโยธิน, อภิวิชญ์ ทรงกระสินธุ์. การตรวจสอบผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยปลูกพันธุ์กำแพงแสนโดยใช้ค่า GE scores. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 2557; 3: 39-51.
10. Kapur R, Bhat SR, Tripathi BK. Performance of varietal mixtures in sugarcane. *Exp Agr* 1988; 24: 163-168.
11. Tominaga, J, S.Yabuta, Y.Fukuzawa, S.I. Kawasaki, T. Jaiphong, R. Suwa, and Y. Kawamitsu 2015. Effects of vertical gradient of leaf nitrogen content on canopy photosynthesis in tall and dwarf cultivars of sorghum. *PPS* 18: 336-343.

ความหลากหลายชนิดของหอยทากบก บริเวณภูเขาหินปูนในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู

Species diversity of land snails in limestone hills in Loei and Nong Bua Lamphu Provinces

ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ¹, ชัญญชิตา สายวันดี², วัชรพงษ์ ไสสว่าง², ศรัณย์ กองมณี², ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ³
 Chanidaporn Tumpeesuwan¹, Chananchida Saiwandee², Watcharapong Saisawang², Saran Kongmanee²,
 Sakboworn Tumpeesuwan³

Received: 18 April 2019 ; Revised: 27 August 2019 ; Accepted: 20 September 2019

บทคัดย่อ

ภูเขาหินปูน เป็นบริเวณที่นักวิจัยนิยมศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก ไม่เพียงเป็นแหล่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่สำคัญต่อการสร้างเปลือกของหอยทากบก ภูเขาหินปูนยังเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งอาศัยย่อยที่หลากหลายสำหรับการอาศัยของหอยทากบก การศึกษาในครั้งนี้เลือกพื้นที่ภูเขาหินปูน 8 แห่ง ในจังหวัดเลย และหนองบัวลำภู เป็นพื้นที่ศึกษา โดยใช้วิธีการค้นหาโดยตรง (direct searching) พบหอยทากบกจำนวน 657 ตัวอย่าง 22 ชนิด ภูผาล้อมพบจำนวนชนิดหอยทากบกมากที่สุด คือ 16 ชนิด และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดสูงสุด เท่ากับ 2.263 และพบว่าวัดถ้ำวังทอง และวัดถ้ำมหาสมบัติพบจำนวนชนิดหอยทากบกน้อยที่สุด คือ 3 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 0.955 และ 1.011 ตามลำดับ ภูผาล้อมกับถ้ำผายามีค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดหอยทากบกสูงที่สุดเท่ากับ 0.769 ถ้ำผาสวรรค์กับวัดถ้ำวังทอง และวัดถ้ำผาสวรรค์กับวัดถ้ำมหาสมบัติมีค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดหอยทากบกต่ำที่สุดเท่ากับ 0.267

คำสำคัญ: ความหลากหลายชนิด หอยทากบก ภูเขาหินปูน จังหวัดเลย จังหวัดหนองบัวลำภู

Abstract

Limestone hills are a popular places that researchers use to study species diversity of land snails. Limestone hills provide not only a source of calcium carbonate that is important for shell formation, but also provides various types of microhabitat for the snails. In this study, eight localities of limestone hills in Loei and Nong Bua Lamphu Provinces were selected as the study area. In total, 657 specimens 22 species were found. Phu Pha Lom had the highest number of land snail species, where 16 species were found in this study, and the species diversity index is the highest at 2.263. Tham Pha Ya and Tha Maha Sombat had the lowest number of land snails species, with only 3 species, and the species diversity index was 0.955 and 1.011, respectively. The similarity index is the highest between Phu Pha Lom and Tham Pha Ya $S_s = 0.769$, whereas it is lowest between Wat Tham Pha Sawan and Wat Tham Wang Thong; and Wat Tham Pha Sawan and Wat Tham Maha Sombat $S_s = 0.267$.

Keywords: diversity land snails limestone hill Loei Province Nong Bua Lamphu Provinces

^{1,3} อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{1,3} Lecturer Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150 Thailand

² student Department of biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150 Thailand

บทนำ

ภูเขาหินปูนมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นเอกลักษณ์โดดเด่น ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นภูเขาที่มียอดตตะปุมตะป้า ไม่ราบเรียบ มีชอกหลืบ โปรง โกงถ้ำ และหลุมยุบ ที่เกิดจากการที่น้ำฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ๆ ไหลไปตามรอยแตกของหิน และทำปฏิกิริยาทางเคมีกัดกร่อนหินปูนที่เป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตละลายไปกับน้ำด้วย จึงเกิดลักษณะธรณีสัณฐานและถิ่นอาศัยย่อยที่มีความหลากหลายสูงมาก (Figure 1) ในประเทศมาเลเซียพบว่า 80% ของจำนวนชนิดหอยทากบกที่พบในมาเลเซียเป็นชนิดที่เป็นสัตว์ถิ่นเดียว (endemic species) ที่เจอเฉพาะในบริเวณภูเขาหินปูนบางลูกเท่านั้น เนื่องจากมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำ^{1,2} เช่นเดียวกับในประเทศไทยมีการรายงานและมีการค้นพบชนิดใหม่ของหอยทากจำพวกจำนวน 100 ชนิด พบว่ามีถึง 82 ชนิดที่พบเฉพาะในพื้นที่ภูเขาหินปูน³ นอกจากนี้ยังมีสัตว์และพืชอีกหลายกลุ่มที่มีความจำเพาะ พบดำรงชีวิตอยู่ได้เฉพาะในบริเวณภูเขาหินปูนเท่านั้น เช่น ผีเสื้อ ปลาข้างควา สัตว์ฟันแทะ ต๊กแก ฯลฯ^{4, 5, 6, 7, 8, 9} สำหรับสัตว์กลุ่มหอยทากบก ในประเทศไทยมีการค้นพบหอยทากบกชนิดใหม่หลายชนิดจากบริเวณภูเขาหินปูนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ เช่นบริเวณภูผาล้อมจังหวัดเลยพบชนิดใหม่ 4 ชนิด ได้แก่ หอยกลมภูพานเมืองเลย *Phuphania costata* Tumpeesuwan & Tumpeesuwan, 2014¹⁰; หอยนักล่าจิวเมืองเลย *Sinoennia loeiensis* Tanmuangpak & Tumpeesuwan 2015¹¹; หอยแก้วน้อย *Sesara triodon* Tanmuangpak & Tumpeesuwan 2016¹²; หอยพิศวงเขาหินปูน *Aenigmatoconcha clivicola* Tumpeesuwan & Tumpeesuwan, 2017¹³; ในบริเวณภูเขาหินปูนโดโลไมต์จังหวัดลำพูนพบหอยท้อลำพูน *Pearsonia lamphunensis* Tumpeesuwan & Tumpeesuwan, 2015¹⁴; ในบริเวณถ้ำช้างเผือก จังหวัดชุมพรพบหอยพิศวงคุณมนตรี *Aenigmatoconcha sumonthai* Tumpeesuwan & Tumpeesuwan, 2018¹⁵; และในบริเวณสวนหินผางาม จังหวัดพหอยเม็ดกระดุมผางาม *Landauria strobiloides* Tumpeesuwan & Tumpeesuwan, 2019¹⁶ จากจำนวนหอยทากบกชนิดใหม่ที่เพิ่งค้นพบโดยคณะผู้วิจัยทั้ง 7 ชนิด มีถึง 5 ชนิดที่พบจากภูเขาหินปูนในจังหวัดเลย แสดงให้เห็นว่ายังเป็นบริเวณที่ยังคงมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีการศึกษาทางวิชาการน้อย และเป็นพื้นที่ป่าที่มีอัตราการทำลายป่าธรรมชาติสูง

จังหวัดเลยตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการศึกษาความหลากหลายชนิดหอยทากบกเฉพาะในพื้นที่ภูเขาหินปูนจากเพียงบางบริเวณ เช่น

วนอุทยานภูผาล้อม^{17, 18} วนอุทยานผางาม^{19, 20} ที่ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้แปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 20 x 20 เมตร ซึ่งเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างหอยทากบกเพื่อศึกษาความหลากหลายที่เป็นมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ^{21, 22, 23} ใช้เวลาและแรงงานในการเก็บตัวอย่างอย่างมาก (นักวิจัย 2 คนต่อ 1 ชั่วโมงต่อแปลง^{21, 22, 23} หรือ นักวิจัย 4 คนต่อ 30 นาทีต่อแปลง^{24, 25}) ดังนั้นในสภาวะที่สภาพพื้นที่ทางธรรมชาติถูกรุกรานและทำลายอย่างรวดเร็วโดยการพัฒนา ขณะที่งบประมาณในการวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานด้านความหลากหลายทางชีวภาพได้รับการสนับสนุนน้อยลง และไม่ต่อเนื่อง คณะผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้วิธีการเก็บตัวอย่างและการสำรวจแบบเก็บโดยตรง (direct searching) แม้จะนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศและตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการในระดับนานาชาติไม่ได้ แต่มีความจำเป็นต้องใช้เพื่อให้ได้ข้อมูลความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในหลายพื้นที่ในสภาวะที่ถูกจำกัดด้วยงบประมาณและเวลาที่ต้องแข่งกับสภาพพื้นที่ทางธรรมชาติที่เสื่อมโทรมและลดน้อยลง ในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการสำรวจโดยตรง (direct searching)^{27, 30} และตีแปลงสำรวจแบบ (line transect) ขนาด 5x2 เมตร^{26, 27, 31} เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานด้านความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในพื้นที่ภูเขาหินปูนในจังหวัดเลย สำหรับการวางแผนจัดการด้านการอนุรักษ์ และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เก็บตัวอย่างหอยทากบกในพื้นที่เขาหินปูน 8 แห่งในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู (Figure 2) โดยใช้วิธีการค้นหาโดยตรง (direct searching)^{27, 30} โดยวัดถ้ำผาสวรรค์ เก็บตัวอย่างเปรียบเทียบกัน 2 ปี คือ ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2561 เก็บตัวอย่างหอยทากบกอย่างละเอียดในพื้นที่สำรวจ โดยเก็บตัวอย่างบนพื้นดิน ลำต้นของต้นไม้ และหาในบริเวณที่หอยซ่อนตัวอยู่เช่น ขอนไม้ผุ เปลือก พูพอนของต้นไม้ใหญ่ ใต้ใบไม้ และในกองซากใบไม้ทับถม เป็นต้น และตีแปลงสำรวจแบบ line transect ขนาด 5x2 เมตร จำนวน 10 แปลง^{26, 27, 31} โดยเลือกพื้นที่ในการตีแปลงให้ครอบคลุมพื้นที่ถิ่นอาศัยของหอยทากบก สำหรับแปลงตัวอย่างขนาด 5x2 เมตร ใช้ผู้เก็บตัวอย่าง 2 คน เก็บตัวอย่างเปลือกหอยและหอยที่มีชีวิตทุกตัวที่เจอเป็นเวลา 5 นาที ต่อ 1 แปลงสำรวจ^{26, 27, 31} ตัวอย่างหอยที่เก็บได้ถ้ายังมีชีวิตจะเก็บใส่กล่องพลาสติกและทำการการุณยฆาตด้วยวิธี suffocation แล้วรักษาสภาพใน 70% เอทานอล ตัวอย่างเปลือกหอยและตัวอย่างดองจะลงทะเบียนและเก็บรักษาเป็นตัวอย่างอ้างอิง (reference collection) ของภาควิชา

ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำแนกชนิดของหอยทากบกโดยทำการตรวจสอบกับเอกสารวิจัยเกี่ยวกับหอยทากบกจากพื้นที่ใกล้เคียง^{10-14, 16-20, 24-31} และตรวจสอบกับรูปถ่ายตัวอย่างต้นแบบ (type specimens) และตัวอย่างอ้างอิง (reference collection) จาก Natural History Museum (London) และ Raffle Museum of Biodiversity Research (Singapore)

วิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายชนิด (species diversity index) โดยใช้ Shannon-Wiener Index³² : $H = -\sum (pi)(\ln pi)$ และดัชนีความเด่น (dominance species index)³² : $C = \sum(pi)^2$ วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดของหอยทากบกที่พบในพื้นที่สำรวจตัวอย่างทั้ง 9 แห่ง โดยใช้ Sorensen's similarity coefficient³² : $S_s = 2a / 2a+b+c$ ทำ cluster analysis แสดงผลเป็นเดนไดรแกรม PC-ORD 5.10

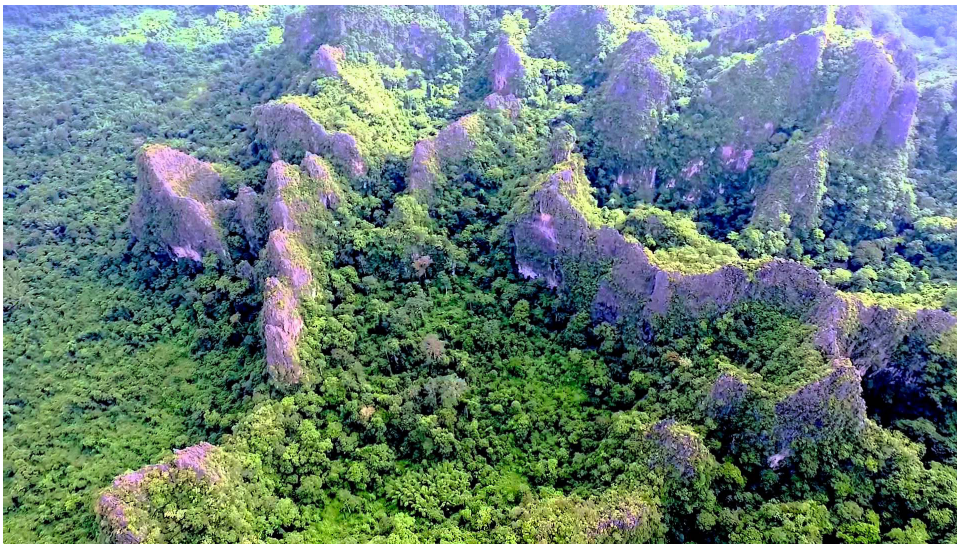


Figure 1 Karst topography provides many habitat types for land snails (<http://laurenleeclimbing.com>)

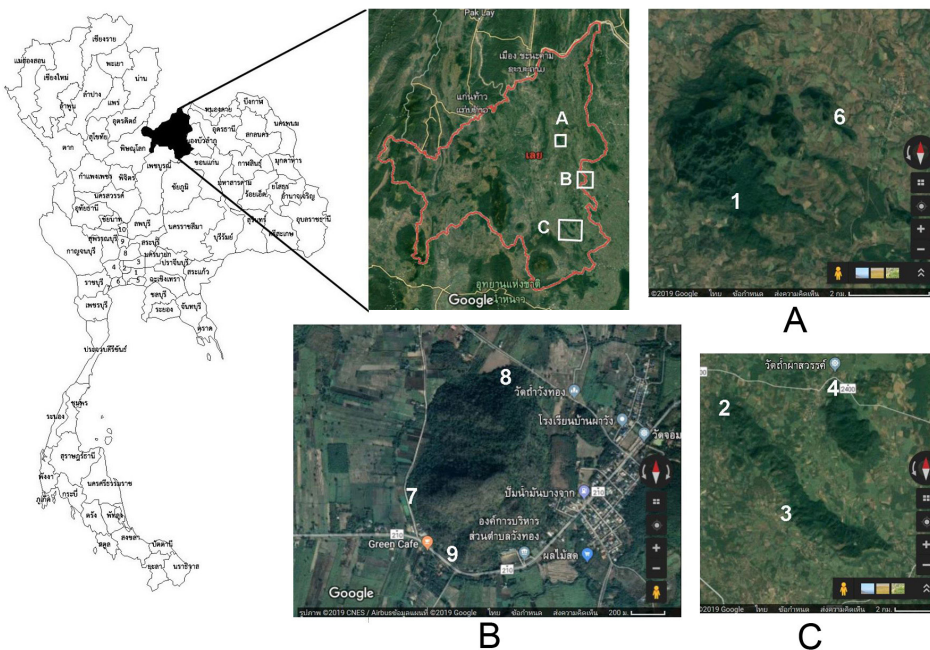


Figure 2 Map of study area. Loei Province; 1 = Phu Pha Lom, 2 = Tham Maholan, 3 = Wat Tham Had Thep Nimit, 4 = Wat Tham Pha Sawan (2017), 5 = Wat Tham Pha Sawan (2018 same locality with locality 4), 6 = Tham Pha Ya and Nong Bua Lamphu Province; 7 = Tham Pha Wang, 8 = Wat Tham Wang Thong, 9 = Wat Tham Maha Sombat

Table 2 Collected specimens of land snails collected by direct searching method in 8 limestone hills in Loei Province and Nong Bua Lamphu Province (Kongmani, 2019 = 34; Saisawang, 2018 = 35; Saiwandee, 2018 = 36) 1 = Phu Pha Lom, 2 = Wat Tham Maholan, 3 = Wat Tham Had Thep Nimit, 4 = Wat Tham Pha Sawan (2017), 5 = Wat Tham Pha Sawan (2018), 6 = Tham Pha Ya, 7 = Tham Pha Wang, 8 = Wat Tham Wang Thong, 9 = Wat Tham Maha Sombat (continue)

species	Number of specimens collected from each locality								
	1 ³⁴	2 ³⁵	3 ³⁶	4 ³⁴	5 ³⁴	6 ³⁴	7 ³⁴	8 ³⁴	9 ³⁴
15. <i>Landouria</i> sp.1	0	8	0	1	10	0	0	0	0
16. <i>Landouria</i> sp.2	0	0	0	0	4	0	0	0	0
17. <i>Haploptychius</i> sp.	10	0	0	0	0	1	0	0	0
18. <i>Plectopylis</i> sp.	23	0	0	0	0	0	0	0	0
19. <i>Trochomorpha</i> sp.	3	0	0	0	1	0	0	0	0
20. <i>Phuphania costata</i>	9	0	0	2	2	2	0	0	0
21. <i>Prosopeas</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22. <i>Semperula</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Total species	16	6	6	9	12	10	6	3	3
Total specimens	162	102	120	47	82	93	24	21	6
Species diversity index	2.263	1.350	1.062	1.670	1.938	1.696	1.435	0.955	1.011
Dominance index	0.1549	0.31	0.409	0.210	0.205	0.226	0.646	0.428	0.389

Table 3 Sorensen's similarity coefficient (Ss) of land snails species collected by direct searching method between 8 limestone hills in Loei Province and Nong Bua Lamphu Province (1 = Phu Pha Lom, 2 = Wat Tham Maholan, 3 = Wat Tham Had Thep Nimit, 4 = Wat Tham Pha Sawan (2017), 5 = Wat Tham Pha Sawan (2018), 6 = Tham Pha Ya, 7 = Tham Pha Wang, 8 = Wat Tham Wang Thong, 9 = Wat Tham Maha Sombat)

Plot	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.364	0.455	0.560	0.571	0.769	0.455	0.316	0.316
2		1	0.333	0.400	0.556	0.375	0.667	0.444	0.444
3			1	0.533	0.333	0.625	0.667	0.667	0.444
4				1	0.609	0.546	0.533	0.500	0.333
5					1	0.455	0.556	0.267	0.267
6						1	0.500	0.462	0.462
7							1	0.667	0.444
8								1	0.333
9									1

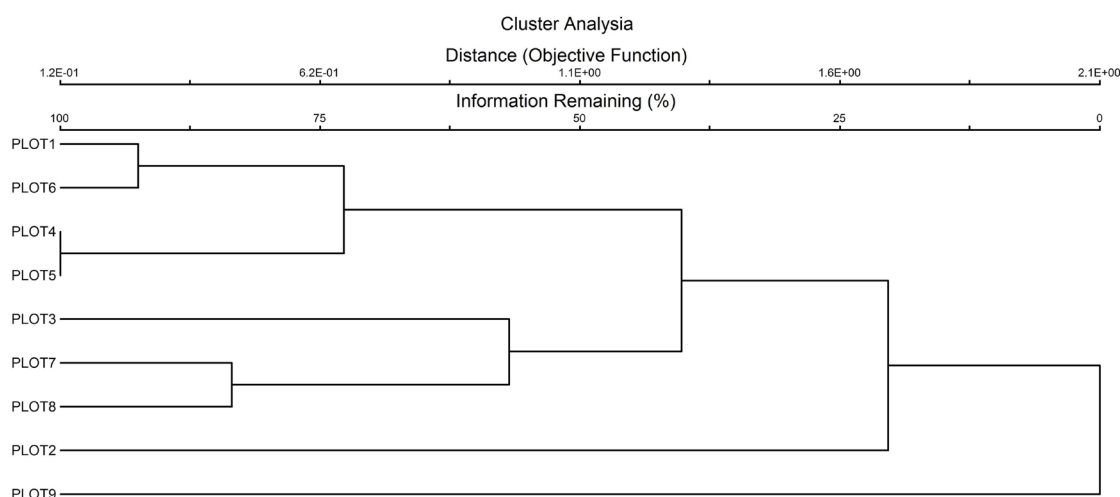


Figure 3 Dendrogram shows similarity between plots of the study areas.

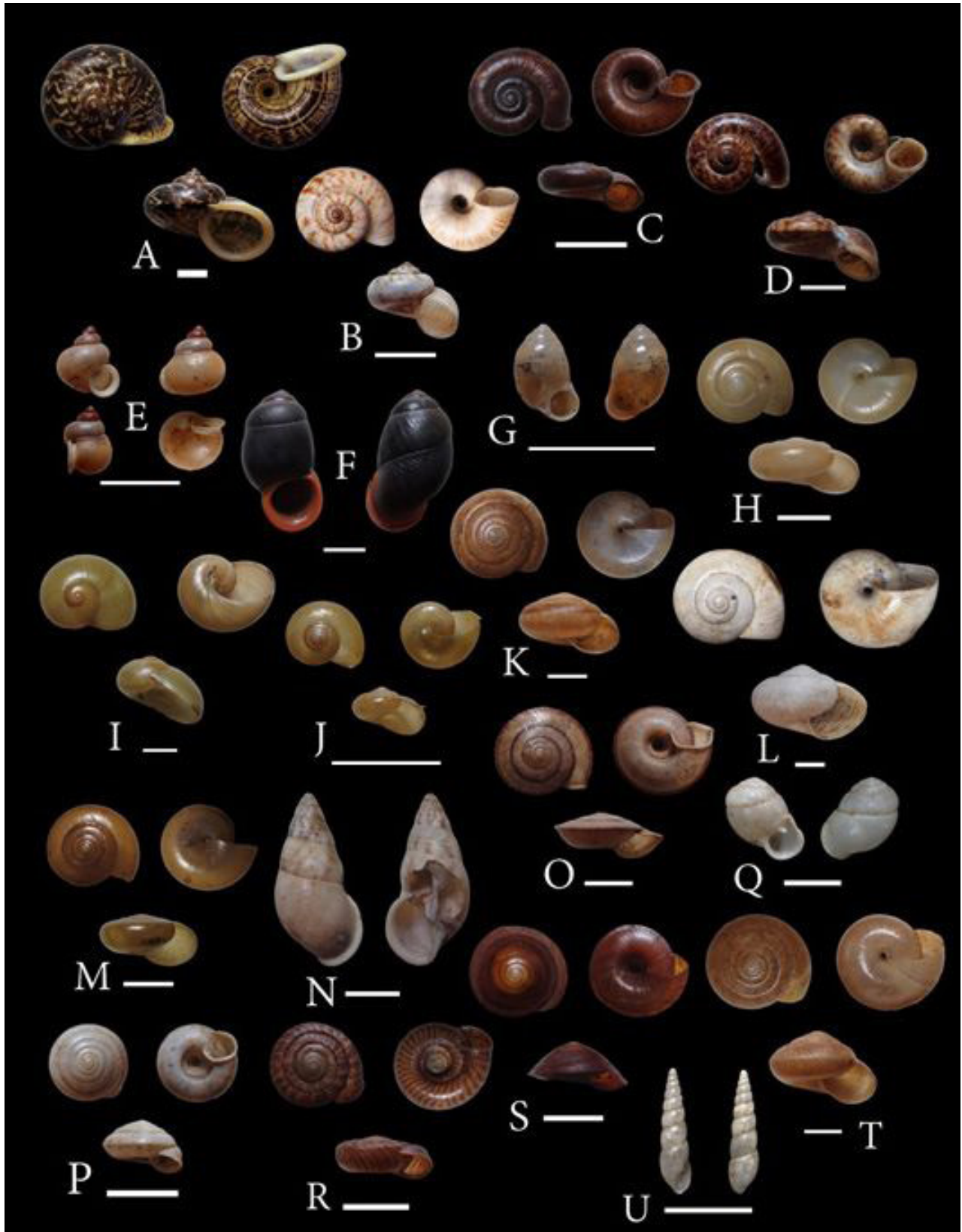


Figure 4 A = *Cyclophorus* sp., B = *Cyclotus* sp.1, C = *Cyclotus* sp.2, D = *Rhiostoma housei*, E = *Dioryx* sp., F = *Pollicaria myersii*, G = *Pupina* sp., H = *Aenigmatoconcha clivicola*, I = *Megaustenia siamensis*, J = *Durgella* sp., K = *Cryptozona siamensis*, L = *Hemiplecta distincta*, M = *Sarika* sp., N = *Amphidromus* (*Syndromus*) sp., O = *Landouria* sp.1, P = *Landouria* sp.2, Q = *Haploptychius* sp., R = *Plectopylis* sp., S = *Trochomorpha* sp., T = *Phuphania costata*, U = *Prosopeas* sp. (Scale bars = 1 cm)

สรุปผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ผลจากการศึกษาความหลากหลายชนิดของหอยทากบกด้วยการเก็บตัวอย่าง ด้วยวิธีการค้นหาโดยตรง จากภูเขาหินปูน 8 แห่งในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู ได้แก่ ภูผาล้อม วัดถ้ำมหาโพธิ์ วัดถ้ำหาดเทพนิมิต วัดถ้ำผาสุวรรณ วัดถ้ำผาผาง วัดถ้ำวังทอง และวัดถ้ำมหาสมบัติ พบจำนวนตัวอย่างหอยทากบกทั้งหมด 657 ตัวอย่าง 22 ชนิด จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่พบจำนวนชนิดหอยทากบกมากที่สุด และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดสูงสุด คือ ภูผาล้อม (16 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 2.263) ขณะที่พื้นที่ที่พบจำนวนชนิดหอยทากบกน้อยที่สุด คือ วัดถ้ำวังทอง และวัดถ้ำมหาสมบัติ (3 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 0.955 และ 1.011 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับลักษณะทางธรณีสัณฐานของบริเวณที่เป็นพื้นที่เก็บตัวอย่าง ภูผาล้อมเป็นบริเวณด้านในแอ่งกระทะของภูเขาหินปูนที่เกิดจากหลุมยุบทำให้ขอบทั้งสี่ด้านเปรียบเสมือนกำแพงปกป้องความหลากหลายทางชีวภาพด้านในของพื้นที่ทำให้ปลอดภัยจากการรบกวน (disturbance) จากภายนอก เช่น การเกิดไฟป่า การใช้สารเคมีฆ่าแมลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความอยู่รอดของหอยทากบก¹⁷ ขณะที่พื้นที่เก็บตัวอย่างที่ถ้ำวังทอง เป็นพื้นที่ติดกับไร่อ้อย ซึ่งหอยทากบกอาจได้รับผลกระทบจากสารเคมีจากการเกษตร และการจุดไฟเผาอ้อย ทำให้หอยทากบกมีความหลากหลายชนิดต่ำ และพื้นที่วัดถ้ำมหาสมบัติเป็นบริเวณศาสนสถานที่มีการกำจัดไม้พื้นล่างจนโล่งเตียน และมักกวาดเศษซากใบไม้ตามพื้นอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการอาศัยของหอยทากบก สอดคล้องกับผลการศึกษาจากภูเขาหินปูน 3 แห่งในจังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งพบว่าภูวังที่เป็นที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง และล้อมรอบด้วยสวนป่าสัก และทุ่งนา มีความหลากหลายชนิดของหอยทากบกต่ำเพียง 7 ชนิด และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเพียง 0.675 ขณะที่ภูเขาคี 2 แห่ง พบหอยทากบก 13 และ 14 ชนิด มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเป็น 1.760 และ 2.290 ตามลำดับ²⁵

ค่าดัชนีความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) ของชนิดของหอยทากบกระหว่างภูเขาหินปูน 8 แห่ง พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.267-0.769 (Table 3 และ Figure 3) โดยพบว่าพื้นที่ภูผาล้อมกับถ้ำผาผางมีค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดหอย ทากบกสูงที่สุดเท่ากับ 0.769 อาจจะเป็นเพราะทั้งสองบริเวณอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในอดีตยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่โดยมนุษย์ ทั้งสองจัดเป็นผืนป่าเดียวกัน แต่ในปัจจุบันถูกตัดขาดจากกันด้วยพื้นที่ทางการเกษตร วัดถ้ำผาสุวรรณกับวัดถ้ำวังทอง และวัดถ้ำผาสุวรรณกับวัดถ้ำมหาสมบัติค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิด

หอยทากบกต่ำที่สุดเท่ากับ 0.267 อาจเนื่องจากบริเวณวัดถ้ำวังทองใกล้พื้นที่การเกษตรและวัดถ้ำมหาสมบัติมีการตัดหญ้า ไม้พื้นล่าง กวาดใบไม้ข้างทางเดิน ดังที่กล่าวไปแล้ว อีกทั้งพื้นที่ทั้งสองอยู่ห่างไกลจากวัดถ้ำผาสุวรรณมากกว่า 25 กิโลเมตร จึงทำให้มีความคล้ายคลึงของชนิดต่ำที่สุด

จากการทดสอบการเก็บตัวอย่างสองวิธีเปรียบเทียบจากพื้นที่วัดถ้ำมหาโพธิ์ วิธีการเก็บตัวอย่างด้วยการตีแปลง Line transect ขนาด 5x2 เมตร จำนวน 10 แปลง (Table 1) พบหอยทากบก จำนวน 7 ชนิด พบว่ามีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (H) เท่ากับ 1.36 มีค่าดัชนีความเด่น (C) เท่ากับ 0.38 ส่วนการค้นหาโดยตรงพบหอยทากบก จำนวน 6 ชนิด มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด 1.35 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีความหลากหลายชนิดจากทั้งสองวิธีการศึกษาพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในสถานการณ์ที่ต้องการความรวดเร็วในการสำรวจเพื่อหาจำนวนชนิดของหอยทากบกในแต่ละพื้นที่ควรเก็บตัวอย่างโดยวิธีการค้นหาโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกกว่าการตีแปลงเก็บตัวอย่างแบบ line transect

จากการเปรียบเทียบการเก็บตัวอย่างโดยวิธีค้นหาโดยตรงที่ถ้ำผาสุวรรณในปี พ.ศ. 2560³⁶ และ พ.ศ. 2561³⁴ พบว่ามีจำนวนชนิดเพิ่มมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2560 พบหอยทากบก 9 ชนิด มีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 1.670 และในปี พ.ศ. 2561 พบหอยทากบก 12 ชนิด มีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 1.938 โดยพบว่าชนิดหอยที่พบเพิ่มขึ้น ได้แก่ *Cyclotus* sp.2, *Landauria* sp.2, *Pupina* sp. ซึ่งเป็นหอยที่มีขนาดเล็กมาก และมีถิ่นอาศัยย่อยที่จำเพาะเจาะจง ทำให้การค้นหาต้องใช้เวลามากและความละเอียดมากขึ้น อีกทั้งในปี พ.ศ. 2561 ลักษณะถิ่นอาศัยมีความชื้นสูงกว่าในปี พ.ศ. 2560 เป็นสาเหตุให้พบจำนวนชนิดหอยเพิ่มมากขึ้น

จากการสำรวจหอยทากบกจากภูเขาหินปูน 8 พื้นที่จากจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภูในครั้งนี้โดยวิธีการค้นหาโดยตรงพบว่า หอยทากสยาม *Cryptozonia siamensis* พบได้ในทุกแปลงเก็บตัวอย่าง ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่า หอยทากสยามมีความสามารถในการอยู่รอด และทนทานต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี และสามารถมีการกระจายไปตามพื้นที่ที่มีการทำการเกษตร และกิจกรรมที่มีการปลูกต้นไม้ที่นำกล้าไม้มาจากแหล่งอื่น^{24, 25, 27} หอยเม็ดมะค่า *Pollicaria myersii* พบกระจายในเกือบทุกพื้นที่การศึกษา ยกเว้นไม่พบที่บริเวณวัดถ้ำมหาสมบัติ เนื่องจากหอยเม็ดมะค่ามีการกระจายอยู่ตามพื้นที่ป่าดิบแล้งที่มีต้นไม้ขนาดใหญ่ ในส่วนบริเวณที่ไม่พบอาจเนื่องมาจากการปรับพื้นที่บริเวณวัด เช่น การกวาดเศษซากใบไม้ เป็นต้น พบตัวอย่างของหอยทากกล้วยตาก หรือหอยทากลิ้นหมา *Semperula* sp. เพียง 1 ตัวอย่าง จากบริเวณวัดถ้ำหาด

เทพนิมิต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสูงมากกว่าบริเวณอื่น ๆ หากลึ้นหมาจึงสามารถอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ยังพบหอยข้าวสาร *Prosopoeas* sp. พบ 1 ตัวอย่างจากวัดถ้ำผาสวรรค์ หอยข้าวสารไม่ค่อยพบในป่าธรรมชาติ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีต้นไม้ที่นำมาปลูกเพื่อประดับตกแต่งจึงอาจเป็นไปได้ว่าติดมากับดินที่มากับต้นไม้ และหอยข้าวสารมีขนาดเล็กมากพบเพียงตัวอย่างเดียว หอยเกลียวเชือกแบน *Plectopylis* sp. พบจากบริเวณภูผาล้อมที่เดียว จำนวน 23 ตัวอย่าง อาจเนื่องมาจากหอยเกลียวเชือกเปลือกแบนมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมจึงพบเฉพาะบริเวณตอนในของภูผาล้อม ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าธรรมชาติ มีความอุดมสมบูรณ์สูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนิสิตในที่ปรึกษาระดับปริญญาตรี โท และเอก ที่ช่วยเก็บตัวอย่างภาคสนาม ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วนอุทยานภูผาล้อมที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนางสาวเบญจวรรณ นาทก ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Schilthuisen, M. The evolution and conservation of limestone biotas in Malaysia, with special reference to land snails. Pages 358–362 in Leigh M, ed. Borneo 2000: Environment, Conservation, and Land. Proceedings of the Sixth Biennial Borneo Research Conference. Kuching (Malaysia): Borneo Research Bureau, Universiti Malaysia Sarawak, 2000.
- Schilthuisen M, Vermeulen JJ, Davison GWH, & Gittenberger E. Population structure in a snail species from isolated Malaysian limestone hills, inferred from ribosomal DNA sequences. *Malacologia*, 1999; 41: 283–296.
- Panha, S. and Burch, JB. An introduction to microsnails of Thailand. *Malacological Review*, 2005; 37/38: 1-155.
- Clements R, Sodhi NS, Schilthuisen M & Ng. PKL Limestone karsts of Southeast Asia: Imperiled arks of biodiversity. *BioScience*, 2006; 56(9): 733–742.
- Kottelat M. Two species of cavefish from northern Thailand in the genera *Nemacheilus* and *Homalotera* (Osteichthyes: Homalopteridae). *Records of the*

- Australian Museum, 1988; 40: 225–231.
- Vidthayanon C & Jaruthania K. *Schistura kaysonei*, (Teleostei: Balitoridae) a new cave fish from Khammouan karst, Laos PDR. *Aqua*, 2002; 6(11): 17–20.
- Hill JE. A new family, genus, and species of bat (Mammalia: Chiroptera) from Thailand. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology*, 1974; 27: 301-336.
- Latinne A, Waengsothorn S, Herbreteau V, Michaux JR. Thai limestone karsts: an impending biodiversity crisis. *Proceedings of the 1st Environment Asia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity”*. Bangkok, Thailand. pp. 2011; 176–187.
- Pauwels OSG, Sumontha M, Latinne A & Grismer LL. *Cyrtodactylus sanook* (Squamata: Gekkonidae), a new cave-dwelling gecko from Chumphon Province, Southern Thailand. *Zootaxa*, 2013; 3635(3): 275–285.
- Tumpeesuwam C & Tumpeesuwan S. *Phuphania costata*, a new species of dyakiid land snails (Pulmonata: Dyakiidae) from Phu Pha Lom limestone area, Loei Province, northeastern Thailand. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2014; 62: 352–357.
- Tanmuangpak K, Dumrongrojwattana P, Tumpeesuwam C & Tumpeesuwan S. *Sinoennea loeiensis*, a new species of diapherid microsnail (Pulmonata: Streptaxoidea: Diapheridae) from Phu Pha Lom Limestone Hill, Loei Province, Northeastern Thailand, *Raffles Bulletin of Zoology*, 2015; 63: 293–300.
- Tanmuangpak K, Tumpeesuwam C & Tumpeesuwan S. A new species of *Sesara* Albers, 1860 from northeastern Thailand (Stylommatophora; Helicarionidae), *Molluscan Research*, 2016; 37(1): 1–7.
- Tumpeesuwan C & Tumpeesuwan S. Discovery of an overlooked Helicarionid land snail (Helicarionidae: Durgellinae) from northeastern Thailand, with description of a new genus and new species, and a note on radula morphology and genital system. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2017; 65: 174–181.

14. Tumpeesuwan S & Tumpeesuwan, C. First record and description of a new species of the land snail genus *Pearsonia* Kobelt, 1902 (Cyclophoridae: Pterocyclinae) from Thailand, with a note on radula morphology. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2015; 63: 287–292.
15. Tumpeesuwan, C. & Tumpeesuwan, S. Aenigmatoncha sumonthai, a new helicarionid land snail from Chumphon Province, Southern Thailand (Helicarionidae: Durgellinae). *Raffles Bulletin of Zoology*, 2018; 66: 170-176.
16. Tumpeesuwan, C. & Tumpeesuwan, S. Verification of genus *Landouria* Godwin-Austen, 1918 from Thailand (Gastropoda: Stylommatophora: Camaenidae) with description of new species and genital system. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2019; 67: 298-305.
17. กิตติ ดันเมืองปัก, ชนิดาพร ตุ่มปี่สุวรรณ และ ศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในเขตนอุทยานภูผาล้อม อำเภอมือง จังหวัดเลย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, (ฉบับพิเศษ 2555); 15-26.
18. Tanmuangpak K. Species diversity, abundance, distribution and habitat relationship of land snails in Phu Pha Lom Limestone area, Loei Province. Unpublished Ph. D. Thesis, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 2016; 318 pp.
19. วิวัตร หลักคำพันธ์. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกที่พบบริเวณสวนหินผางาม อำเภอหนองหิน จังหวัดเลย. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557
20. กิตติ ดันเมืองปัก, วรุฒิ ตาดี, ฤทธิชัย สุขเจริญ และ ประยูร ชุ่มมาก. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในถ้ำหินปูน เขตวนอุทยานผางาม จังหวัดเลย. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ธันวาคม 2560: 2560; 1195-1204.
21. De Winter, A.J., and E.Gittenberger. The landsnail fauna of a square kilometer patch of rainforest in southwestern Cameroon: high species richness, low abundance and seasonal fluctuations. *Malacologia*, 1998; 40(1-2), 231-250.
22. Schilthuisen, M. and Rutjes, H. A. Land snail diversity in square kilometer of tropical rainforest in Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Molluscan Studies*, 2001; 67:417-423.
23. Cameron, R. A. D., Mylonas, M., Triantis, K., Parmakelis, A., and Vardinoyannis, K. Land snail diversity in a square kilometer of Cretan Maquis: Modest species richness, high density and local homogeneity. *Journal of Molluscan Studies*, 2003; 69:93-99.
24. ศิริชัย ศรีหาคทา ชนิดาพร ตุ่มปี่สุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. ความหลากหลายชนิดความชุกชุมและถิ่นอาศัยของหอยทากบกในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร บนภูโน จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553; 29(4), 359-371.
25. ชนิดาพร ตุ่มปี่สุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. ความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาคินปุณ และภูเขาคินทราย ในจังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2553ข; 15(12): 10-19.
26. ชนิดาพร ตุ่มปี่สุวรรณ วิษณุ เหล่ากาสิ จริญญา สีดาวงค์ และศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. ความหลากหลายชนิด และความชุกชุมของหอยทากบกในบริเวณภูป้อ จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553; 274-280.
27. ชนิดาพร ตุ่มปี่สุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. การศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูทอกน้อย จังหวัดหนองคาย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553ก; 29(3): 298-307.
28. พรรณทิวา แนวหล้า. มอร์โฟเมตริกของเปลือกหอยทากบกบางชนิดที่พบบริเวณสวนหินผางาม อำเภอหนองหิน จังหวัดเลย. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2545.
29. สุกุล รสจันทร์. การศึกษาแรดูลาของหอยทากบกบางชนิดที่พบบริเวณสวนหินผางาม จังหวัดเลย. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2545.
30. ชนิดาพร วรจักร และศักดิ์บวร ตุ่มปี่สุวรรณ. หอยทากบกในเขตจังหวัดกาฬสินธุ์. วารสาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2545; 21(2): 11-188.

31. ปฏิพล จำลอง ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลายชนิดและความชุ่มชื้นของหอยทากบกบริเวณภูเขาหินทรายและภูเขาไฟจังหวัดสุรินทร์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2556; 18 1:67-81.
32. Krebs, C, J. Ecological methodology. 2nded. Addition Wesley Longman, Inc. 1999.
33. Odum, E, P. Fundamental of Ecology. 2nd London. W. B. Saunders Comp. 1971.
34. ศรีณย์ กองมณี. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในจังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561.
35. วัชรพงษ์ ไสสว่าง. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกบริเวณวัดถ้ำมโหฬาร จังหวัดเลย. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560.
36. ชัญญูชิตา สายวันดี. ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในวัดถ้ำหาดนิมิตและวัดถ้ำผาสวรรค์ จังหวัดเลย. ปัญหาพิเศษ, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560.

การเปรียบเทียบกิจกรรมต้านเชื้อราระหว่างส่วนใสปราศจากเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง แบคทีเรีย *Xenorhabdus stockiae* PB09 ในระดับฟลาสก์และระดับถังหมัก

Comparison Between Antifungal Activities of *Xenorhabdus stockiae* PB09 Cell-free Supernatants Derived from Shake-Flask Cultivation and Fermentation

ประภัสสร บุษหมั่น^{1*}, จิรายุ สาอุตม์¹, ปวีณา รัตนเสนา²

Prapassorn Bussaman¹, Chirayu Sa-uth¹, Paweena Rattanasena²

Received: 22 April 2019 ; Revised: 30 August 2019 ; Accepted: 10 October 2019

บทคัดย่อ

สารเมตาโบไลต์หลายชนิดจากแบคทีเรีย *Xenorhabdus* spp. ซึ่งเป็นแบคทีเรียร่วมอาศัยในไส้เดือนฝอยศัตรูแมลง มีรายงานว่าสามารถต้านเชื้อราก่อโรคพืชได้หลากหลาย โดยเฉพาะเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. ซึ่งเป็นหนึ่งในเชื้อราก่อโรคพืชที่สร้างความเสียหายมากที่สุดต่อพืชผลไม้เมืองร้อนจำนวนมาก โดยเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรกโนส งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกิจกรรมต้านเชื้อราของส่วนใสปราศจากเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Xenorhabdus stockiae* PB09 ในระดับฟลาสก์และระดับถังหมักเพื่อยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธีอาหารพิษ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าส่วนใสปราศจากเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงทั้งในระดับฟลาสก์และระดับถังหมักสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ โดยกิจกรรมต้านเชื้อราของส่วนใสปราศจากเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *X. stockiae* PB09 ในระดับฟลาสก์และระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยงและมีค่าสูงสุดที่ 72 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้การหมักในระดับถังหมักยังส่งผลต่อระดับของกิจกรรมการต้านเชื้อราของส่วนใสปราศจากเซลล์จากแบคทีเรีย *X. stockiae* PB09 สูงกว่าการเพาะเลี้ยงในระดับฟลาสก์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าส่วนใสปราศจากเซลล์ของแบคทีเรีย *X. stockiae* PB09 สามารถนำมาใช้ในการควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ และการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในระดับถังหมักให้ผลดีกว่าการเพาะเลี้ยงในระดับฟลาสก์โดยเพิ่มประสิทธิภาพของส่วนใสปราศจากเซลล์ในระยะเวลาที่สั้นลงถึง 24 ชั่วโมง

คำสำคัญ: *Xenorhabdus stockiae* กิจกรรมต้านเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*

Abstract

A variety of metabolites from the entomopathogenic bacterium *Xenorhabdus* spp. have been reported to have antifungal activities, especially against *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc., which is one of the most damaging pathogens targeting many tropical fruit plants by causing anthracnose disease. This study aimed to evaluate and compare the antifungal activities of *Xenorhabdus stockiae* PB09 cell-free supernatants derived from cultivations in shake-flask and

¹ หน่วยวิจัยการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150, ประเทศไทย

² สาขาสาธารณสุขชุมชน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000, ประเทศไทย

¹ Biocontrol Research Unit, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand

² Community Public Health Sub-Department, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Phranakhon Si Ayutthaya University, Ayutthaya 13000, Thailand

* Corresponding author: Prapassorn Bussaman, Biocontrol Research Unit, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand

fermenter scales for controlling *C. gloeosporioides* mycelial growth by using poisoned food technique on agar media. The results showed that cell-free supernatants of both shake flask-scale and fermenter-scale productions could inhibit the growth of *C. gloeosporioides*. Antifungal activities of *X. stockiae* PB09 cell-free supernatants derived from cultivations by shake-flasks and 5L-fermenters increased over time and reached their peaks at 72 and 48 h, respectively. Fermentation also resulted in the levels of antifungal activities of *X. stockiae* PB09 cell-free supernatant being higher than that obtained by shake-flask cultivation. This study demonstrated that cell-free supernatant of *X. stockiae* PB09 could be used to control the growth of *C. gloeosporioides* and the large scale production using fermenter was superior to shake-flask cultivation by giving more effective cell-free supernatant in a shorter period of time for up to 24 h.

Keywords: *Xenorhabdus stockiae*, antifungal activity, *Colletotrichum gloeosporioides*

Introduction

Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Sacc. has been found to cause anthracnose disease which is very devastating to several fruit plants and responsible for serious economic losses.¹ Several chemical fungicides have been used for controlling this fungal pathogen, but they have resulted in the development of resistance and adverse effects on the farmers, consumers, environment and ecosystem.² Therefore, it is necessary to develop an alternative approach for effective control of anthracnose disease. The bacterium *Xenorhabdus* spp. has been reported to produce several antimicrobial compounds that are known to have suppressive effects on a variety of plant pathogens.^{3,4,5}

Antimicrobial substances from *Xenorhabdus* spp. have been found to differ qualitatively depending on the strains and species of bacteria⁴ and their culture conditions.^{6,7} Shake flasks have been widely used to study the basic processing conditions, which allowing the experiments to be carried out with minimal costs and materials.^{8,9} However, shake flasks have several limitations when comparing to fermenters because they have completely different systems of geometry, mixing and gas regimes.¹⁰ Therefore, scaling-up from shake flasks to fermenters is used to produce large quantities of the final products.

The objective of this study was to evaluate the *in vitro* inhibitory effects of cell-free supernatants of *X. stockiae* PB09 derived from shake-flask and fermenter cultivations on *C. gloeosporioides*, a causative agent of

mango anthracnose disease.

Materials and methods

Xenorhabdus stockiae PB09

Xenorhabdus stockiae PB09 was isolated from the infective juveniles (IJ) of *Steinernema siamkayai* Stock, Somsook and Reid nematode obtained from the Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives Thailand by following the methods described by Kaya and Stock (1997).¹¹ Seed culture of *X. stockiae* PB09 was prepared by inoculating a loop of phase I colonies growing on a nutrient bromothymol blue triphenyltetrazolium chloride agar (NBTA) plate into 250 mL-flask containing 100 mL nutrient broth (NB) and cultivated at 28°C on a rotary shaker at 200 rpm for 16-24 h in the dark until the optical density (600 nm) was approximately 2.0.

Cultivation by using shake-flask technique

Tryptic soy broth (TSB, g/L) (17 tryptone, 3 soytone, 2.5 glucose, 5 NaCl and 2.5 K₂HPO₄) was used for *X. stockiae* PB09 cultivation using shake-flask technique. The pH of the medium was adjusted to 7.5 by using 2.0 mol/L NaOH and 2.0 mol/L HCl. The seed culture of *X. stockiae* PB09 (10% v/v) was transferred to this medium (total volume of 100 mL each) in 250 mL-flasks and incubated in the dark at 28°C on a rotary shaker at 200 rpm for 24, 48, 72 and 96 h. A sample (5 mL) was removed every day, then centrifuged (10,000 rpm, 20 min, 4°C) and filtered using 0.22 µm-syringe filters to obtain cell-free supernatant,

which was stored at 4°C until required. The experiments were repeated in triplicates.

Fermentation by using 5L-fermenters

Batch cultivation of *X. stockiae* PB09 was carried out in 5L-fermenters (B. Braun Biotech, Germany) with working volume of 3L. The cultivation temperature was 28°C with agitation speed of 200 rpm and the aeration rate of 2.5 l/min. The seed culture of *X. stockiae* PB09 at 10% v/v was transferred to 3L sterile medium (TSB) in the 5L-fermenters. The pH profile was adjusted to a set pH with 2.0 mol/L NaOH and 2.0 mol/L HCl. The fermenters were incubated according to the cultivation conditions for 72 h. Sample (20 mL) was taken every day, then centrifuged (10,000 rpm, 20 min, 4°C), filtered using 0.22 µm-syringe filter to obtain cell-free supernatant, and stored at 4°C until required.

Assay of antifungal activity

C. gloeosporioides was isolated from the upper surface of infected mango and cultured using potato dextrose agar (PDA) medium at 25°C. Cell-free supernatants of *X. stockiae* PB09 were *in vitro* tested for their efficacy against *C. gloeosporioides* mycelia growth by using the poisoned food technique on agar media.^{3,12} Carbendazim was used as positive control and caused the highest mycelia growth inhibition (100%) (data not shown).

Measurement of cell growth

The growth of bacterial cells was measured by optical density (OD) of the cultures at 600 nm with a spectrophotometer. The dry cell weight (DCW) was determined from a calibration curve as described by Wang et al. (2010).¹³

Measurement of glucose concentration

The glucose concentration was measured by the 3,5-dinitrosalicylic acid spectrometric method.¹⁴

Statistical analysis

The data of percentages of mycelial growth inhibition were analyzed by one-way ANOVA. Significance

differences between the treatments were compared using the LSD test at $P < 0.05$.

Results

Antifungal activities of *X. stockiae* PB09 grown by shake-flask technique

Figure 1 shows the dry cell weight (DCW, g/L) and antifungal activity (%) of *X. stockiae* PB09 cultivated in shake-flasks for 0, 24, 48, 72 and 96 hours. The maximum dry cell weight was found when the bacteria were cultured for 72 h. An increase of bacterial growth led to simultaneous increase of its antifungal activity, which reached its peak at 72 h. All the concentrations of *X. stockiae* cell-free supernatant from 0.25 to 1.50% v/v were found to have significant differences ($P < 0.05$ as compared by LSD test) in the levels of antifungal activities against the mycelial growth of *C. gloeosporioides* and the highest activities ($67.63 \pm 1.16\%$) were found in the 72h cell-free supernatant at the concentration of 1.50% v/v. Moreover, their activities increased continually from 24 to 72 h of cultivation, and then began to drop at 96 h.

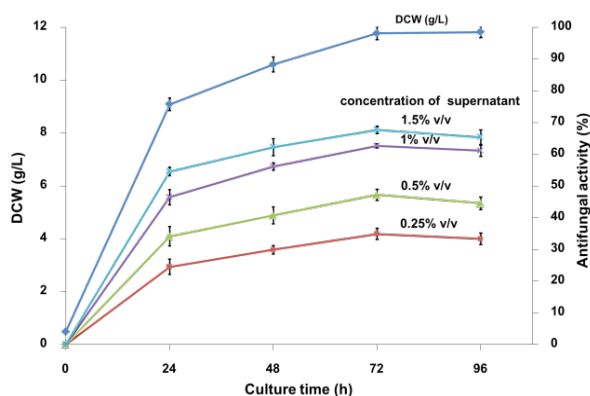


Figure 1 Time profiles of dry cell weight and antifungal activity of *X. stockiae* PB09 grown by using shake-flasks for 96 h and applied at different concentrations (0.25 to 1.50%v/v)

Antifungal activities of *X. stockiae* PB09 grown by using 5L-fermenters

Figure 2 shows the antifungal activities of *X. stockiae* PB09 cell-free supernatants grown by using 5L-fermenters for different cultivation periods. Similar to the results of shake-flask setting, all the concentrations of cell-free

supernatant (0.25 to 1.50% v/v) grown by using 5L-fermenters had significantly different levels of antifungal activities ($P < 0.05$ as compared by LSD test) against the mycelial growth of *C. gloeosporioides*, and their levels of activities were rather higher than that grown by shake-flasks. In addition, the maximum antifungal activities ($89.60 \pm 1.33\%$) were also found when applying with 1.50% v/v cell-free supernatant grown in the 5L-fermenter for 48 h. However, the antifungal activities began to drop at 72 h of fermentation. When comparing between shake-flask cultivation and 5L-fermentation, the antifungal activities of cell-free supernatant from shake-flask cultivation reached its peak at 72 h, while that from 5L-fermentation reached a peak at 48 h with higher antifungal activities.

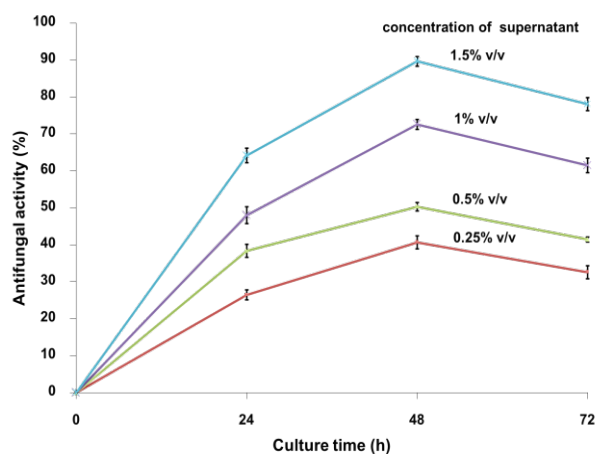


Figure 2 Antifungal activities of cell-free supernatant of *X. stockiae* PB09 grown by using 5L-fermenters for 72 h and applied at different concentrations (0.25 to 1.50% v/v)

Time profile of *X. stockiae* PB09 growth and its antifungal activity during fermentation

To investigate the antifungal activities of *X. stockiae* PB09 cell-free supernatant grown by using the 5L-fermenter, the bacterium was cultured in 5L-fermenter for 72 h during which dry cell weight (DCW, g/L), residual glucose concentration (g/L), and antifungal activity (%) were measured (Figure 3). The results showed that *X. stockiae* PB09 greatly consumed the glucose during the first 24 h which resulted in its sharply exponential growth. An increase of bacterial growth led to simultaneous increase

of its antifungal activity, which reached its peak at 48 h when used at the concentration of 1.5% v/v. However, *X. stockiae* PB09 entered the stationary phase after 48 h of fermentation which was similar to the results in Figure 2.

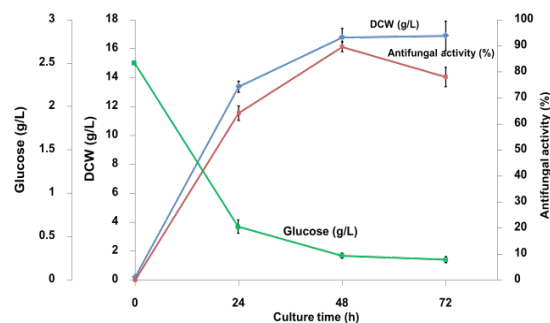


Figure 3 Time profiles of dry cell weight, glucose concentration and antifungal activity of *X. stockiae* PB09 grown by using 5L-fermenters.

Discussion

In this study, cell-free supernatants of *X. stockiae* PB09 cultivated by fermenters and shake flasks were shown to have maximum antifungal activities against *C. gloeosporioides* at 48 and 72h, respectively. The time profile of *X. stockiae* PB09 grown in the fermenter suggested that it entered the stationary phase at 48 h post inoculation. Remarkably, high levels of antifungal activity and cell growth in 5-L fermenter scale could be achieved faster than that in the shake-flask scale. This may be due to the addition of different neutralizing agents into various voluminal bioreactive systems of the fermenter. Similar results were obtained in the study of Wang and Zhang (2007)⁵ and Wang et al. (2010)¹³ that reported the aeration and agitation on fermenter had great influences on cell growth and the production of antibiotic by *X. nematophila* YL001. Isaacson and Webster (2002)⁵ reported that the level of antimicrobial activity of *Xenorhabdus* sp. RIO followed a pattern similar to that of the growth curve to enter its stationary phase, whereby its antibacterial activity reached a maximum level at 48 h, while the maximum antifungal activity reached at 72 h. Furthermore, previous report showed that the cell-free supernatants of stationary-phase cultures of *X. szentirmaii* and *X. budapestensis* at 6.25, 25 and 50 ppm doses could

inhibit the growth of *Phytophthora nicotianae* colonies at approximately 56.2, 77.1 and 84.0%, respectively.¹⁵

The cell-free supernatant of *X. stockiae* PB09 culture exhibited an inhibitory effect on *C. gloeosporioides*, a causative agent of mango anthracnose disease. Previous studies have reported the variation in antimicrobial activities of different *Xenorhabdus* spp. and strains against plant pathogenic fungi and oomycetes.^{3,4,5,12,15,16} For example, the cell-free supernatants (10% v/v) of *X. bovienii* YL002¹² and *X. nematophila* TB³ grown by using 5L-fermenters for 72 h were shown to have high inhibitory effects (>90%) on mycelial growth of *Botrytis cinerea*, *Phytophthora capsici*, *Bipolaris maydis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Dothiorella gregaria* and *Sclerotinia sclerotiorum*, but exhibited low inhibitory effect (<15%) on *Colletotrichum lagenarium*.

Although the mode of action of *X. stockiae* PB09 on fungi is unknown, in a previous study, Isaacson and Webster (2002)⁵ found that the antimicrobial activity from *Xenorhabdus* sp. RIO was due to its exo- and endo-chitinases as well as other proteinaceous and some small molecule compounds. Furthermore, *X. nematophila* var. *pekingensis* has been known to produce Xenocoumacin 1 which was highly active against *P. infestans*, *P. boehmeriae*, *P. melonis*, *P. capsici*, *B. cinerea* and *Alternaria alternata*.¹⁶ Moreover, compounds, such as xenorhabdins¹⁷, xenocoumacin¹⁸, indole compounds¹⁹ and nematophin (which have particularly high antifungal activities)²⁰ from other *Xenorhabdus* spp. have been shown to have antibacterial and antifungal activities. To the best of our knowledge, this study is the first to describe the influences of method and period of cultivation on the antifungal activities of *X. stockiae* PB09 and this information may be useful for the future development of *X. stockiae* PB09 as products for biological control of fungal anthracnose disease.

Conclusions

The results in this study demonstrated that cell-free supernatants of *X. stockiae* PB09 had high antifungal activities for controlling *C. gloeosporioides*, a causative agent of fungal anthracnose disease. *X. stockiae* PB09 cultivation by fermentation was superior to shake-flask cultivation by giving more effective cell-free supernatant in shorter time for up to 24 h. Further studies are will be needed to determine the optimum conditions for cultivation of *X. stockiae* PB09, particularly in a large scale settings.

References

1. Peraza-Sanchez SR, Chan-Che EO, Ruiz-Sanchez E. Screening of Yucatecan plant extracts to control *Colletotrichum gloeosporioides* and isolation of a New Pimarene from *Acacia pennatula*. J Agric Food Chem 2005;53:2429-32.
2. Brent KJ, Hollomon DW. Fungicide resistance: the assessment of risk. Brussels: Global Crop Protection Federation; 1998.
3. Fang XL, Zhang M, Tang Q, Wang Y, Zhang X. Inhibitory effect of *Xenorhabdus nematophila* TB on plant pathogens *Phytophthora capsici* and *Botrytis cinerea* *in vitro* and *in planta*. Sci Rep 2014;4:1-7.
4. Chen G, Dunphy GB, Webster JM. Antifungal activity of 2 *Xenorhabdus* species and *Photobacterium luminescens*, bacteria associated with the nematodes *Steinernema* species and *Heterorhabditis megidis*. Biol Control 1994;4:157-62.
5. Isaacson PJ, Webster JM. Antimicrobial activity of *Xenorhabdus* sp. RIO (Enterobacteriaceae), symbiont of the entomopathogenic nematode, *Steinernema riobrave* (Rhabditida: Steinernematidae). J Invert Path 2002;79(3):146-53.
6. Wang YH, Zhang X. Influence of agitation and aeration on growth and antibiotic production by *Xenorhabdus nematophila*. World J Microb Biot 2007;23(2):221-27.

7. Guo S, Zhang S, Fang X, Liu Q, Gao J, Bilal M, Wang Y, Zhang X. Regulation of antimicrobial activity and xenocoumacins biosynthesis by pH in *Xenorhabdus nematophila*. *Microb Cell Fact* 2017;16:203-17.
8. Buchs J, Maier U, Milbradt C, Zoels B. Power consumption in shaking flasks on rotary shaking machines: I. Power consumption measurement in unbaffled flasks at low liquid viscosity. *Biotechnol Bioeng* 2000;68:589–93.
9. Buchs J, Maier U, Milbradt C, Zoels B. Power consumption in shaking flasks on rotary shaking machines: II. Nondimensional description of specific power consumption and flow regimes in unbaffled flasks at elevated liquid viscosity. *Biotechnol Bioeng* 2000;68:594–601.
10. ten Hoopen HJG, van Gulik WM, Schlatmann JE, Moreno PR, Vinke JL, Heijnen JJ, Verpoorte R. Ajmalicine production by cell cultures of *Catharanthus roseus*: from shake flask to bioreactor. *Plant Cell Tiss Org* 1994;38(2-3):85-91.
11. Kaya HK, Stock SP. Techniques in insect nematology. In: Lacey LA (ed) *Manual of techniques in insect pathology*. California: Academic Press Inc.; 1997.
12. Fang XL, Li ZZ, Wang YH, Zhang X. *In vitro* and *in vivo* antimicrobial activity of *Xenorhabdus bovienii* YL002 against *Phytophthora capsici* and *Botrytis cinerea*. *J Appl Microbiol* 2011;111:145-54.
13. Wang YH, Fang XL, Li YP, Zhang X. Effects of constant and shifting dissolved oxygen concentration on the growth and antibiotic activity of *Xenorhabdus nematophila*. *Bioresour Technol* 2010;101(19):7529-36.
14. Miller GL. Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem* 1960;31:426–28.
15. Boszormenyi E, Ersek T, Fodor A, Fodor AM, Foldes LS, Hevesi M, et al. Isolation and activity of *Xenorhabdus* antimicrobial compounds against the plant pathogens *Erwinia amylovora* and *Phytophthora nicotianae*. *J Appl Microbiol* 2009;107(3):746-59.
16. Yang X, Qiu D, Yang H, Liu Z, Zeng H, Yuan J. Antifungal activity of xenocoumacin 1 from *Xenorhabdus nematophilus* var. *pekingensis* against *Phytophthora infestans*. *World J Microbiol Biotechnol* 2011;27(3):523-28.
17. McInerney BV, Gregson RP, Lacey MJ, Akhurst RJ, Lyons GR, Rhodes SH, et al. Biologically active metabolites from *Xenorhabdus* spp. Part 1. Dithiopyrrolone derivatives with antibiotic activity. *J Nat Prod* 1991a;54:774-84.
18. McInerney BV, Taylor WC, Lacey MJ, Akhurst RJ, Gregson RP. Biologically active metabolites from *Xenorhabdus* spp., Part 2. Benzopyran-1-one derivatives with gastroprotective activity. *J Nat Prod* 1991b;54:785-95.
19. Li J, Chen G, Webster JM, Czyzewska E. Antimicrobial Metabolites from a Bacterial Symbiont. *J Nat Prod* 1995;58(7):1081-86.
20. Li J, Chen G, Webster JM. Nematophin, a novel antimicrobial substance produced by *Xenorhabdus nematophilus* (Enterobacteriaceae). *Can J Microbiol* 1997;43(8):770-73.

การตรวจแยกแล็กติกแอซิดแบคทีเรียที่มีศักยภาพเป็นโพรไบโอติกจากอาหารหมัก Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potential from fermented foods

ปาริชาติ พุ่มขจร¹, พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ²

Parichat Phumkhachorn¹, Pongsak Rattanachaiunsopon²

Received: 28 June 2019 ; Revised: 30 July 2019 ; Accepted: 2 September 2019

บทคัดย่อ

แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) หลายสายพันธุ์มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก ซึ่งสามารถส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่มีคุณสมบัติโพรไบโอติก จากการนำ LAB จำนวน 10 ไอโซเลตที่แยกได้จากอาหารหมักต่าง ๆ ได้แก่ แหนม ปลาส้ม และผักดอง มาทดสอบการทนกรด และเกลือน้ำดี ซึ่งจัดเป็นคุณสมบัติหลักของโพรไบโอติก พบว่า LAB รหัส F1 ซึ่งแยกได้จากปลาส้มสามารถทนกรดที่ pH เท่ากับ 2 และทนเกลือน้ำดีที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2% ได้ดีที่สุด นอกจากนี้จากการศึกษา ยังพบว่า LAB ดังกล่าวสามารถยับยั้งการเจริญ *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ได้ เมื่อนำ LAB รหัส F1 ไปตรวจสอบสายพันธุ์ด้วยวิธี 16S rDNA sequence analysis พบว่าลำดับเบสของ 16S rDNA ของ LAB ดังกล่าวคล้ายกับลำดับเบสของ 16S rDNA ของ *Lactobacillus plantarum* strain JCM 1149 (accession number NR_115605.1) ด้วยเปอร์เซ็นต์ความคล้ายเท่ากับ 99% LAB ที่มีคุณสมบัติของโพรไบโอติกที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปศึกษาต่อเพื่อใช้ประโยชน์ในอนาคต

คำสำคัญ: แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย โพรไบโอติก อาหารหมัก

Abstract

Many strains of lactic acid bacteria (LAB) have probiotic properties that can promote consumers' health. This study aims to find LAB having probiotic properties. Ten isolates of LAB isolated from fermented foods including Nham, Pla Som and fermented vegetables were tested for their tolerance to acid and to bile salt, considered to be major probiotic properties. It was found that LAB F1, isolated from Pla Som, was the most tolerant isolate to acid at pH 2 and to bile salt at the concentration of 2%. Furthermore, the study showed that the LAB isolate had antimicrobial ability against *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43895 and *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. When LAB F1 was identified using 16S rDNA sequence analysis, it was found that its 16S rDNA sequence showed 99% homology to that of *Lactobacillus plantarum* strain JCM 1149 (accession number NR_115605.1). LAB with probiotic properties obtained from this study can be further characterized in order to utilize it in the future.

Keywords: Lactic acid bacteria, Probiotics, Fermented foods

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34190

² ศาสตราจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Assistant Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand. E-mail: scpariph@gmail.com

² Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand. E-mail: rattanachaiunsopon@yahoo.com

บทนำ

โพรไบโอติก (probiotics) คือ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่เมื่อคน หรือ สัตว์รับเข้าสู่ร่างกายแล้วมีประโยชน์ต่อสุขภาพ¹ จุลินทรีย์เหล่านี้มักพบในทางเดินอาหารของคน และสัตว์ นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในอาหาร คุณสมบัติที่สำคัญที่นิยมใช้ในการจัดจำแนกว่าจุลินทรีย์ใดเป็นโพรไบโอติก ได้แก่ ความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค ความสามารถในการทนต่อสภาวะในทางเดินอาหาร เช่น สภาวะความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร และสภาวะการมีน้ำดีในลำไส้เล็ก ความสามารถในการคงอยู่ในทางเดินอาหาร ความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโต และความสามารถในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นต้น^{1,2} ถึงแม้ว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจุลินทรีย์เหล่านี้มักอยู่ในกลุ่มของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) โดยเฉพาะ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium*^{3,4}

ในปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติโพรไบโอติกมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมอาหารทางการแพทย์ และทางด้านการแพทย์ ตัวอย่างของการนำโพรไบโอติกมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การผลิตอาหารเสริมโพรไบโอติก เพื่อให้อาหารดังกล่าวมีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค^{5,6} ส่วนตัวอย่างของการนำโพรไบโอติกมาใช้ในทางการแพทย์ เช่น การนำโพรไบโอติกไปเสริมในอาหารเลี้ยงสัตว์ ไม่ว่าจะเป็น ไก่ วัว หรือปลา เพื่อให้สัตว์มีอัตราการเจริญที่สูง และมีภูมิต้านทานโรคที่ดี⁷ นอกจากนี้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพยังทำให้มีการปรับปรุงสายพันธุ์ของโพรไบโอติกเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในทางการแพทย์ เช่น นำมาใช้ในการนำวัคซีนเข้าสู่ร่างกายคน และสัตว์^{8,9}

จากประโยชน์ของโพรไบโอติกที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแยกแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย จากอาหาร และทดสอบความสามารถในการเป็นโพรไบโอติกของแบคทีเรียดังกล่าว โพรไบโอติกที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปศึกษาต่อเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ทาง การแพทย์ หรือทางด้านการแพทย์ในอนาคต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. การแยกแล็กติกแอซิดแบคทีเรียจากอาหารหมัก

การศึกษานี้ใช้อาหารหมัก 3 ชนิด ได้แก่ แหนม ปลาส้ม และผักดอง ชนิดละ 1 ตัวอย่างในการแยก แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ซึ่งใช้ขั้นตอนตามวิธีของ Phupaboon *et al.*¹⁰ โดยชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในสารละลาย 0.85% (w/v) NaCl ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำเฉพาะส่วนน้ำมาเจือ

จางที่ ระดับความเจือจาง 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} และ 10^{-6} นำทุกความเจือจางมาทำการ spread plate บนอาหาร MRS agar ที่เติม 1% (w/v) CaCO_3 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการคัดเลือกเฉพาะโคโลนีเดี่ยว ๆ (single colony) ที่เจริญบนอาหาร MRS agar ไปเพาะเลี้ยงใน MRS broth ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่คัดเลือกไว้ไปตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเซลล์ โดยการย้อมสีแกรม และทดสอบการสร้างเอนไซม์อะเลส

การเก็บรักษาแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ในรูป glycerol stock culture ทำโดยนำ culture ของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียที่เลี้ยงใน MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาตร 600 ไมโครลิตร มาเติม glycerol ปริมาตร 400 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

2. การตรวจสอบความสามารถในการทนกรดของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย

การตรวจสอบความสามารถในการทนกรดของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ทำโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Melia *et al.*¹¹ ซึ่งมีขั้นตอนการทำดังนี้ เลี้ยงแล็กติกแอซิดแบคทีเรียในอาหาร MRS broth ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อ 20 ไมโครลิตร ลงในอาหาร MRS broth ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่ปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 (ชุดทดลอง) ส่วนชุดควบคุมใช้อาหาร MRS broth ที่มีค่า pH เท่ากับ 7 วิเคราะห์ความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นที่ 0 ชั่วโมง และหลังจากบ่มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของ culture ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 600 นาโนเมตร

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (% survival) คำนวณได้จาก (ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดลอง/ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม) x 100

3. การตรวจสอบความสามารถในการทนเกลือของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย

การตรวจสอบความสามารถในการทนเกลือของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ทำโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Melia *et al.*¹¹ ซึ่งมีขั้นตอนการทำดังนี้ เลี้ยงแล็กติกแอซิดแบคทีเรียในอาหาร MRS broth ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อ 20 ไมโครลิตร ลงในอาหาร MRS broth ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่เติม Ox bile powder ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 2%

(w/v) (ชุดทดลอง) วิเคราะห์ความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นที่ 0 ชั่วโมง และหลังจากบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของ culture ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 600 นาโนเมตร ชุดควบคุมของการทดลองนี้ให้ทำทุกอย่างเหมือนกับชุดทดลอง เพียงแต่ในชุดควบคุมไม่มีการเติมเกลือไนโตรเจนใน MRS broth เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (% survival) คำนวณได้จาก (ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดลอง/ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม) x 100

4. การตรวจสอบความสามารถของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจสอบความสามารถของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคทำโดยเลี้ยงแล็กติกแอซิดแบคทีเรียในอาหาร MRS broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำ culture ที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่ากับ 5,000 xg เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใส (supernatant) ที่ได้ไปทดสอบต่อไป

การตรวจสอบความสามารถของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคมียุทธวิธีดังนี้ นำจุลินทรีย์ทดสอบ ซึ่งได้แก่ *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ที่เลี้ยงไว้ในอาหาร nutrient broth (NB) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาป้าย (swab) บนจานอาหาร nutrient agar (NA) นำ paper disc ที่ปลอดเชื้อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร) มาวางบนผิวหน้าของอาหาร NA หยดส่วนใสที่เตรียมไว้แล้วปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่น paper disc culture นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลโดยให้เครื่องหมาย + เมื่อพบ inhibition zone เกิดขึ้นรอบแผ่น paper disc และให้เครื่องหมาย - เมื่อไม่พบ inhibition zone เกิดขึ้นรอบแผ่น paper disc การทดสอบนี้ใช้อาหาร MRS broth ที่ปลอดเชื้อเป็น control

5. การศึกษาจัดจำแนกชนิดของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย โดยวิธี 16S rDNA sequence analysis

การศึกษาจัดจำแนกชนิดของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย โดยวิธี 16S rDNA sequence analysis ทำโดยสกัด genomic DNA ของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป Genomic DNA Extraction Kit Mini (RBC Bioscience, Taipei, Taiwan) โดยทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (Real

Biotech Corporation, Taiwan) นำ genomic DNA ที่ได้มาใช้เป็นแม่แบบ (template) เพื่อทำ PCR (polymerase chain reaction) โดยใช้ primers 2 ชนิด ได้แก่ FD1 (5' AGAGTTTGATCCTGGCTCAG 3') และ RP2 (5' ACGGCTACCTGTTCAGACTT 3')¹⁰ สภาวะที่ใช้ในการทำ PCR คือ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที 1 รอบ, 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที, 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที 30 รอบ และ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที 1 รอบ นำ PCR product ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยเครื่อง automated DNA sequencer (BioDesign Co., Ltd., Prathumthani, Thailand) แล้วนำลำดับเบสที่ได้ไปเปรียบเทียบกับลำดับเบสของ 16S rDNA ในฐานข้อมูล GENBANK โดยใช้โปรแกรม BLASTN (Basic Local Alignment Search Tools) เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงหรือความเหมือน (% homology) ระหว่างลำดับเบสของ 16S rDNA ของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย กับลำดับเบสของ 16S rDNA ของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ในฐานข้อมูล GENBANK

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

1. การแยกแล็กติกแอซิดแบคทีเรียจากอาหารหมัก

การทดลองนี้คัดเลือกแล็กติกแอซิดแบคทีเรียที่แยกได้จากอาหารหมักแบบสุ่มจากลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันจำนวน 10 ไอโซเลต (isolate) โดยได้จากหมัก 4 ไอโซเลต (N1-N4) ปลายส้ม 3 ไอโซเลต (F1-F3) และผักดอง 3 ไอโซเลต (V1-V3) เมื่อนำแบคทีเรียทั้งหมดไปตรวจสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา ได้แก่ การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเซลล์โดยการย้อมสีแกรม (Gram's stain) และการทดสอบการสร้างเอนไซม์คะตะเลส (Catalase test) พบว่าแล็กติกแอซิดแบคทีเรียทั้งหมดเป็นแบคทีเรียแกรมบวก ไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลสเซลล์ แบคทีเรียที่แยกได้จากหมักและผักดองมีลักษณะกลม (coccus) ส่วนแบคทีเรียที่แยกได้จากปลายส้มมีลักษณะเป็นแท่ง (bacillus) (Table 1)

Table 1 Morphology of lactic acid bacteria (LAB) isolated from fermented foods

Isolate	Source	Morphology
N1	ແຫນມ	coccus
N2	ແຫນມ	coccus
N3	ແຫນມ	coccus
N4	ແຫນມ	coccus
F1	ປລາສັມ	bacillus
F2	ປລາສັມ	bacillus
F3	ປລາສັມ	bacillus
V1	ຝັກດອງ	coccus
V2	ຝັກດອງ	coccus
V3	ຝັກດອງ	coccus

ແລັກຕິກແອຊິດແບคที่เรียกที่สามารถนำไปใช้เป็น โพรไบโอติกได้จำเป็นต้องมีคุณสมบัติของการเป็นโพรไบโอติกที่สำคัญคือ ความสามารถในการทนต่อสภาวะในทางเดินอาหาร เช่น สภาวะที่เป็นกรดและมีเอนไซม์ย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหาร และสภาวะที่มีเกลือ น้ำดี และเอนไซม์ที่หลั่งจากตับอ่อน (pancreatic juice) ในลำไส้เล็ก^{12,13} เนื่องจากแบคทีเรียทุกชนิดที่จะนำไปใช้เป็นโพรไบโอติกจำเป็นต้องมีคุณสมบัติเหล่านี้ มีเช่นนั้นแบคทีเรียก็จะถูกทำลายโดยสภาวะต่าง ๆ ดังกล่าวในระบบทางเดินอาหาร¹⁴ นอกจากนี้แลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียกที่สามารถนำไปใช้เป็นโพรไบโอติกได้ยังอาจมีคุณสมบัติของการเป็นโพรไบโอติกอื่น ๆ อีก เช่น ความสามารถในการยับยั้งการเจริญจุลินทรีย์ก่อโรค¹⁵ ความสามารถในการยึดเกาะผนังลำไส้¹⁶ ความสามารถในการแข่งขันกับเชื้อก่อโรคในการยึดเกาะผนังลำไส้¹⁶ ความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโต¹⁷ และความสามารถในการส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน¹⁸ เป็นต้น

ในการศึกษานี้ได้นำแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียกที่คัดเลือกได้ทั้ง 10 ไอโซเลตไปทดสอบความสามารถในการทนกรด และเกลือ น้ำดี จากนั้นนำไอโซเลตที่ทนกรดและเกลือ น้ำดีได้ดีที่สุดไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งได้แก่ *E. coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *S. aureus* ATCC 25923

2. การตรวจสอบความสามารถในการทนกรดของแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียก

โดยปกติกระเพาะอาหารของคนมีสภาวะเป็นกรด โดยมี pH ประมาณ 2 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่มีชื่อว่า pepsin ดังนั้นแลັกຕິคແອຊິດ

แบคทีเรียที่จะใช้เป็นโพรไบโอติกได้จึงจำเป็นต้องสามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดที่ pH 2 ได้ มีเช่นนั้นแล้วแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียก ก็จะถูกทำลายที่กระเพาะอาหาร และไม่สามารถทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติกได้⁹

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความสามารถของแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียกทั้ง 10 ไอโซเลต ในการทนกรดที่ pH 2 ซึ่งได้ผลดังแสดงใน Table 2

Table 2 Acid tolerance of lactic acid bacteria isolated from fermented foods

Isolate	OD ₆₀₀		% survival
	pH7 (control)	pH2	
N1	1.66	1.36	81.93
N2	1.61	1.03	63.98
N3	1.54	0.76	49.35
N4	1.57	0.89	56.69
F1	1.36	1.11	81.62
F2	1.39	0.82	58.99
F3	1.35	1.04	77.04
V1	1.47	0.77	52.38
V2	1.44	0.63	43.75
V3	1.45	0.72	49.66

ในการทดลองนี้ได้จัดระดับการทนกรด (level of acid tolerance) ออกเป็น 3 ระดับโดยใช้เกณฑ์ คือ

ระดับสูง (high) มีค่า % survival มากกว่า 80%

ระดับปานกลาง (moderate) มีค่า % survival ในช่วง 50%-80%

ระดับต่ำ (poor) มีค่า % survival น้อยกว่า 50%-

จาก Table 2 พบว่าแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียกที่สามารถทนกรดที่ pH 2 ในระดับสูง คือ N1 และ F1 ในระดับปานกลาง คือ N2, N4, F2, F3 และ V1 และในระดับต่ำ คือ N3, V2 และ V3

3. การตรวจสอบความสามารถในการทนเกลือ น้ำดีของแลັกຕິคແອຊິດແບคที่เรียก

การย่อยไขมันที่เกิดขึ้นในลำไส้เล็กของคนจำเป็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างเอนไซม์ lipase และเกลือ น้ำดี โดยในลำไส้เล็กของคนปกติมักมีเกลือ น้ำดีที่ความเข้มข้นประมาณ 0.2% ถึง 2%²⁰ ด้วยเหตุที่เกลือ น้ำดีสามารถยับยั้ง

การเจริญของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ได้ ดังนั้นแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่จะใช้เป็นโพรไบโอติกได้จึงจำเป็นต้องสามารถทนต่อเกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 0.2% ถึง 2% ได้ มิเช่นนั้นแล้วแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ก็จะถูกทำลายที่ลำไส้เล็ก และไม่สามารถทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติกได้ ในการทดลองนี้เลือกใช้เกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 2% เพื่อให้มั่นใจว่า แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่ได้จากการทดลองนี้สามารถทนต่อความเข้มข้นของเกลือน้ำดีที่พบในลำไส้เล็กได้

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความสามารถของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียทั้ง 10 ไอโซเลต (isolate) ในการทนเกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 2% ซึ่งได้ผลดังแสดงใน Table 3

Table 3 Bile salt tolerance of lactic acid bacteria isolated from fermented foods

Isolate	OD ₆₀₀		%
	0% bile salt (control)	2% bile salt	
N1	1.64	1.06	64.63
N2	1.62	0.77	47.53
N3	1.56	1.03	66.03
N4	1.60	1.32	82.50
F1	1.33	1.14	85.71
F2	1.41	0.54	38.30
F3	1.36	0.67	49.26
V1	1.45	0.98	67.59
V2	1.50	0.83	55.33
V3	1.55	1.21	78.06

ในการทดลองนี้ได้จัดระดับการทนเกลือน้ำดี (level of bile salt tolerance) ออกเป็น 3 ระดับโดยใช้เกณฑ์ คือ

ระดับสูง (high) มีค่า % survival มากกว่า 80%

ระดับปานกลาง (moderate) มีค่า % survival ในช่วง 50%-80%

ระดับต่ำ (poor) มีค่า % survival น้อยกว่า 50%

จาก Table 3 พบว่าแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่สามารถทนเกลือน้ำดีที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 2% ในระดับสูง คือ N4 และ F1 ในระดับปานกลาง คือ N1, N3, V1, V2 และ V3 และในระดับต่ำ คือ N2, F2 และ F3

จากการทดสอบความสามารถในการทนกรด และเกลือ น้ำดีของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย พบว่า F1 เป็นแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ที่สามารถทนกรด และเกลือน้ำดีในระดับสูง

ดังนั้นจึงได้คัดเลือกแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย F1 ไปใช้ในการทดลองต่อไป

4. การตรวจสอบความสามารถของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค

เมื่อนำแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย F1 มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญได้ทั้ง *E. coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *S. aureus* ATCC 25923 (Figure 1)

แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย หลายสายพันธุ์มีความสามารถในการสร้างสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยสารดังกล่าวอาจเป็น กรดอินทรีย์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือแบคทีริโอซิน²¹ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าสารใดเป็นสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย F1 สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *S. aureus* ATCC 25923 ได้

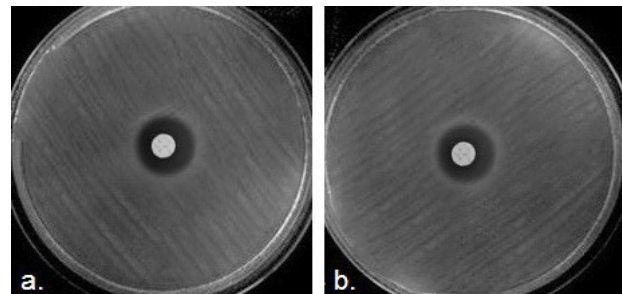


Figure 1 Inhibition zones caused by the inhibition of *E. coli* O157:H7 ATCC 43895 (a) and *S. aureus* ATCC 25923 (b) by lactic acid bacteria F1

5. การจัดจำแนกชนิดของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย โดยวิธี 16S rDNA sequence analysis

เมื่อนำ genomic DNA ของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย F1 มาใช้เป็น template ในการทำ PCR เพื่อเพิ่มจำนวน 16S rDNA แล้วนำ PCR product ที่ได้ไปตรวจหาลำดับเบส พบว่ามีลำดับเบสจำนวน 1,435 bp (Figure 2) เมื่อนำลำดับเบสดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับลำดับเบสของ 16S rDNA ที่อยู่ในฐานข้อมูล GENBANK พบว่าลำดับเบสของ PCR product ที่ได้มีความคล้ายคลึงกับลำดับเบสของ 16S rDNA ของ *Lactobacillus plantarum* strain JCM 1149 (accession number NR115605.1) ด้วยเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึง (% homology) เท่ากับ 99% ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย F1 มีความเป็นไปได้ที่จะเป็น *Lactobacillus plantarum*

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า *Lactobacillus plantarum* หลายสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติโปรไบโอติก ตัวอย่างเช่น *L. plantarum* WCFS1¹⁸ ซึ่งมีความสามารถในการทนต่อสภาวะในทางเดินอาหาร และส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย *L. plantarum* U32²² ซึ่งช่วยส่งเสริมกระบวนการหมักในกระเพาะอาหารส่วนต้น (rumen fermentation) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง *L. plantarum* ZLP001²³ ซึ่งช่วยป้องกันสุกรจากการติดเชื้อ *E. coli* โดยช่วยป้องกันไม่ให้แบคทีเรียดังกล่าวยึดเกาะที่ผนังลำไส้ และ *L. plantarum* A7²⁴ ซึ่งสามารถยับยั้งการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง (Caco-2 cell)

```

tgcaagtcga acgaactctg cgtatagatt ggtgcttgca
tcattgattta catttgagtg agtggcgaac tggtagtaaa
cacgtgggaa acctgcccag aagcggggga taacacctgg
aaacagatgc taataccgca taacaacttg gaccgcatgg
tcggagcttg aaagatggct tcggctatca ctttgggatg
gtcccgcggc gtattagcta gatggtgggg taacggctca
ccatggcaat gatacgtagc cgacctgaga gggtaatcgg
ccacattggg actgagacac ggcccaaaact cctacgggag
gcagcagtag gaaatcttcc acaatggagc aaagtctgat
ggagcaacgc cgcgtgagtg aagaaggggt tcggctcgtg
aaactctggt gttaaagaag aacatattctg agagtaactg
ttcagggtatt gacgggtatt aaccagaaaag ccacggctaa
ctacgtgcca gcagcccgcg taatacgtag gtggcaagcg
gtgtccggat ttattggcgg taaagcgagc gcagggcgggt
ttttaagtct gatgtgaaag ccttcggctc aaccgaagaa
gtgcatcggg aactgggaaa cttgagtgca gaagaggaca
gtggaaactcc atgtgtagcg gtgaaatgct tagatataatg
gaagaacacc agtggcgaag gcggctgtct ggtctgtaac
tgacgctgag gctcgaagat atgggtagca aacaggatta
gataccctgg tagtccatac cgtaaaacgat gaatgctaag
tgttggaggg ttctccocct tcagtgtgct agctaaccga
ttaagcattc cgcctgggga gtacggccgc aaggctgaaa
ctcaaaggaa ttgacggggt cccgcacaag cggtgaggca
tgtggtttaa ttcgaagcta cgcgaagaac cttaccaggt
cttgacatac tatgcaaatc taagagatta gacgttccca
tcggggacat ggatacaggt ggtgcatggt tgcgtcagc
tcgtgtcgtg agatgttggg ttaagtcccg caacgagcgc
aacccttatt atcagttgcc agcattaaat tgggcaactc
ggtgagactg ccggtgacaa accggaggaa ggtggggatg
tcgcaaatc atcatgcccc ttatgacctg ggctacacac
gtgctacaat ggatggtaca acgagttgag aactcgcgag
agtaagctaa tctcttaaag ccatctctcag ttcggattgt
aggctgcaac tgcctacat gaagtcggaa tcgctagtaa
tcgcggatca gcatgcccgc gtgaatacgt tcccgggccc
tgtacacacc gcccgtcaca ccatgagagt ttgtaacacc
caaagtcggg agggtaacct tttaggaacc agccg

```

Figure 2 Nucleotide sequence of 16S rDNA of lactic acid bacteria F1

สรุปและเสนอแนะ

Lactobacillus plantarum F1 เป็นแล็กติกแอซิดแบคทีเรียที่แยกได้จากปลาสด มีความสามารถในการทนกรดที่ pH 2 และทนเกลือที่ความเข้มข้น 2% ได้ดี โดยมี % survival ในสภาวะดังกล่าวสูงกว่า 80% นอกจากนี้ *Lactobacillus plantarum* F1 ยังสามารถยับยั้ง *E. coli* O157:H7 ATCC 43895 และ *S. aureus* ATCC 25923 ได้ หากทำการศึกษาต่อเพื่อตรวจสอบกลไกการยับยั้งเชื้อก่อโรคของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียดังกล่าว รวมทั้งการศึกษาคุณสมบัติอื่นที่เกี่ยวข้อง

กับความเป็นโปรไบโอติกของแล็กติกแอซิดแบคทีเรียดังกล่าว เช่น ความสามารถในการยึดเกาะกับเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ ความสามารถในการทนต่อสภาวะต่าง ๆ ที่พบได้ในกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก ก็จะมีประโยชน์ต่อการนำ *Lactobacillus plantarum* F1 ไปประยุกต์ใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Singh K, Kallali B, Kumar A, Thaker V. Probiotics: A review, Asian Pac J Trop Biomed 2011;1(2):S287-S290.
- Kechagia M, Basoulis D, Konstantopoulou S, Dimitriadi D, Gyftopoulou K, Skarmoutsou N, Fakiri EM. Health benefits of probiotics: a review, ISRN Nutrition 2013;2013:481651.
- Zukiewicz-Sobczak W, Wroblewska P, Adamczuk P, Silny W. Probiotic lactic acid bacteria and their potential in the prevention and treatment of allergic diseases, Cent Eur J Immunol 2014;39(1):104-108.
- Ljungh A, Wadstrom T. Lactic acid bacteria as probiotics, Curr Issues Intest Microbiol 2006;7(2):73-89.
- Parvez S, Malik KA, Ah KS, Kim HY. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health, J Appl Microbiol 2006;100(6):1171-1185.
- El Hage R, Hernandez-Sanabria E, Van de Wiele T. Emerging trends in smart probiotics: functional consideration for the development of novel health and industrial applications, Front Microbiol 2017;8:1889.
- Gaggia F, Mattarelli P, Biavati B. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production, Int J Food Microbiol 2010;141(Suppl 1):S15-S28.
- Zimmermann P, Curtis N, 2018. The influence of probiotics on vaccine responses - A systemic review, Vaccine 2018;36(2):207-213.
- Lei W, Shih PC, Liu SJ, Lin CY, Yeh TL. Effect of probiotics and prebiotics on immune response to influenza vaccination in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, Nutrients 2017;9(11):1175.
- Phupaboon S, Pudpai N, Punyauppa-path S, Phumkhachorn P, Rattanachai-kunsopon P. Isolation of lactic acid bacteria from fermented foods to be

- developed as DNA delivery vehicles, J Sci Technol UBU 2016;18(1):21-29.
11. Melia S, Yuherman Y, Jaswandi J, Purwati E. Selection of buffalo milk lactic acid bacteria with probiotic potential, Asian J Pharm Clin Res 2018;11(6):186-189.
 12. Hassanzadazar H, Ehsani A, Mardani K, Hesari J. Investigation of antibacterial, acid and bile tolerance properties of lactobacilli isolated from Koozeh cheese, Vet Res Forum 2012;3(3):181-185.
 13. Vizoso Pinto MG, Franz CM, Schillinger U, Holzapfel WH. *Lactobacillus* spp. with *in vitro* probiotic properties from human faeces and traditional fermented products, Int J Food Microbiol 2006;109(3):205-214.
 14. Shi LH, Balakrishnan K, Thiagarajah K, Mohd Ismail NI, Yin OS. Beneficial Properties of Probiotics, Trop Life Sci Res 2016;27(2):73-90.
 15. Lin X, Chen X, Tu , Chen H. Effect of probiotic lactobacilli on the growth of Streptococcus Mutans and multispecies biofilms isolated from children with active caries, Med Sci Monit 2017;23:4175.
 16. Wang J, Zeng Y, Wang S, Liu H, Zhang D, Zhang W, Wang Y, Ji H. Swine-derived probiotic *Lactobacillus plantarum* inhibits growth and adhesion of enterotoxigenic *Escherichia coli* and mediates host defense, Front Microbiol 2018;9:1364.
 17. Suo C, Yin Y, Wang X, Lou X, Song D, Wang X, Gu Q. Effects of *Lactobacillus plantarum* ZJ316 on pig growth and pork quality, BMC Vet Res 2012;8:89.
 18. van den Nieuwboer M, van Hemert S, Claassen E, de Vos WM. *Lactobacillus plantarum* WCFS1 and its host interaction: a dozen years after the genome, Microb Biotechnol 2016;9:452-465.
 19. Merrell DS, Camilli A. Acid tolerance of gastrointestinal pathogens, Curr Opin Microbiol 2002;5(1):51-55.
 20. Kristoffersen SM, Ravnum S, Tourasse NJ, Okstad OA, Kolsto AB, Davies W. Low concentrations of bile salts induce stress responses and reduce motility in *Bacillus cereus* ATCC 14579. J Bacteriol. 2007;189(14):5302-5313.
 21. Cotter PD, Ross RP, Hill C. Bacteriocins-a viable alternatives to antibiotics. Nat Rev Microbiol 2013;11(2):95-105.
 22. Astuti WD, Wiryawan KG, Wina E, Widyastuti Y, Suharti S, Ridwan R. Effects of selected *Lactobacillus plantarum* as probiotic on *in vitro* ruminal fermentation and microbial population, Pak J Nutr 2018;17(3):131-139.
 23. Wang J, Ji H, Wang S, Liu H, Zhang W, Zhang D, Wang Y. Probiotic *Lactobacillus plantarum* promotes intestinal barrier function by strengthening the epithelium and modulating gut microbiota, Front Microbiol 2018;9:1953.
 24. Sadeghi-Aliabadi H, Mohammadi F, Fazeli H, Mirlohi M. Effects of *Lactobacillus plantarum* A7 with probiotic potential on colon cancer and normal cells proliferation in comparison with a commercial strain, Iran J Basic Med Sci 2014;17(10):815-819.

ประสิทธิภาพของเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการควบคุมเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. สาเหตุโรคใบจุดในมะม่วง

Efficacy of *Streptomyces* sp. Isolate SRF1 to Control the Fungus *Pestalotiopsis* spp., Causal Agent of Mango Leaf Spot

อภิเดช แสงดี^{1*}, นัฐนนท์ แจ่มสูงเนิน², ขนิษฐา สมตระกูล³, ประภาศ กาวีชา⁴

Aphidech Sangdee^{1*}, Nattanon Jaesungnoen², Khanitta Somtrakoon³, Praphat Kawicha⁴

Received: 16 August 2019 ; Revised: 7 October 2019 ; Accepted: 24 October 2019

บทคัดย่อ

เชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. เป็นสาเหตุของโรคใบจุดในมะม่วง ซึ่งก่อความเสียหายต่อผลไม้และพืชเศรษฐกิจหลายชนิด โดยเฉพาะมะม่วง ยิ่งไปกว่านั้นเชื้อราชนิดนี้ยังทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ที่แยกได้จากโรคใบจุดในมะม่วง จำนวน 10 ไอโซเลต ด้วยวิธีเลี้ยงเชื้อร่วมกัน (dual culture method) พบว่า เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ทั้ง 10 ไอโซเลต อยู่ในช่วง 73.37-91.51 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเมื่อนำน้ำเลี้ยงของเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS ที่มีอาร์จินีนมาทดสอบการยับยั้งการเจริญของเส้นใยราด้วยวิธี agar well diffusion พบว่า น้ำเลี้ยงของ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยราได้ เมื่อนำน้ำเลี้ยงเชื้อมาทดสอบการยับยั้งการเจริญของเส้นใยราและการงอกของสปอร์รา พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยราและการงอกของสปอร์ราได้ เมื่อนำเส้นใยและสปอร์ของเชื้อราที่สัมผัสกับน้ำเลี้ยงเชื้อมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า ลักษณะเส้นใยมีความผิดปกติ และ germ tube สั้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และน้ำเลี้ยงเชื้อยังสามารถลดขนาดแผลและความรุนแรงของโรคบนใบและผลที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยเชื้อสาเหตุโรคด้วย

คำสำคัญ: โรคใบจุดในมะม่วง *Pestalotiopsis* spp. *Streptomyces* sp.

Abstract

Pestalotiopsis spp. is a causal agent of leaf spot of many fruits and economic crops, especially mango. In addition, this fungal pathogen causes production yield losses. The purpose of this study was to evaluate the antifungal efficacy of *Streptomyces* sp. SRF1 against 10 isolates of *Pestalotiopsis* spp. isolated from mango leaf spot disease using dual culture method. The results showed that *Streptomyces* sp. SRF1 could inhibit the mycelial growth of all tested isolates of *Pestalotiopsis* spp. in the range 73.37-91.51%. The culture filtrate of *Streptomyces* sp. SRF1 in AGMS medium

^{1,3} รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² นิสิตปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ อาจารย์, คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

^{1,3} Assoc. Prof., Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

² Bachelor Degree, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

⁴ Lecturer, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Muang District, Sakon Nakhon Province 47000, Thailand

* Corresponding author; Aphidech Sangdee, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand, aphidech.s@msu.ac.th

containing arginine was also used to determine the antifungal activity by agar well diffusion assay. The results revealed that the culture filtrate from arginine media had antifungal activity. Moreover, the culture filtrates were used to evaluate the inhibition of fungal mycelial growth and spore germination. The results revealed that the culture filtrate also inhibited fungal mycelial growth and spore germination. In addition, abnormal mycelial and short germ tubes of spore were observed when compared with the control treatment. The culture filtrate effectively reduced the size of the disease lesion and disease severity on mango leaf and fruits after inoculation with the plant pathogenic fungi.

Keywords : mango leaf spot, *Pestalotiopsis* spp., *Streptomyces* sp.

บทนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงมักประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคและแมลงทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา เช่น เชื้อรา *Pestalotiopsis mangiferae* (syn. *Pestalotia mangiferae*), *Botryodiplodia theobromae* และ *Macrophoma mangiferae*¹ ซึ่งสามารถเข้าทำลายพืชได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของมะม่วงตลอดฤดูกาลปลูก

โดยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. จัดอยู่ในวงศ์ Amphisphaeriaceae มีหลายสปีชีส์ที่เป็นสาเหตุของโรคในพืช เช่น เชื้อรา *Pestalotia longisetula* เป็นสาเหตุโรคเน่าในสตอร์เบอร์รี *P. fici* เป็นสาเหตุโรคผลเน่าและใบไหม้ในมะกอก² *P. uvicola* และ *P. clavispora* เป็นสาเหตุของโรคใบจุดสีเทาในมะม่วง⁴ เป็นต้น โดยในการป้องกันกำจัดเชื้อสาเหตุโรคชนิดนี้เกษตรกรนิยมการใช้สารเคมี เนื่องจากได้ผลเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ อีกทั้งยังตกค้างในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย⁵ ปัจจุบันได้มีการนำวิธีการทางชีววิธี (biocontrol) ที่ใช้เชื้อปฏิปักษ์มาควบคุมโรค ซึ่งวิธีการทางชีววิธีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเกษตรกร ตัวอย่างเช่น การนำสารสกัดจากเชื้อราในสกุล *Chaetomium* spp. มาควบคุมเชื้อ *Pestalotia* spp. พบว่าสารสกัดจากเชื้อราปฏิปักษ์สามารถช่วยลดและยับยั้งการเจริญและการงอกของสปอร์ของเชื้อ *Pestalotia* spp. ได้⁶ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. และ *Streptomyces* spp. ในการควบคุมและยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้อีกด้วย^{5,7,8} ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงได้มีการนำเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Bipolaris maydis*⁹ มาทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. สาเหตุโรคใบจุดในมะม่วงทั้งในสภาพ *in vitro* และ *in vivo*

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดจากใบมะม่วง

แยกเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคในใบมะม่วง โดยเลือกเก็บใบมะม่วงที่มีลักษณะอาการของโรคเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ นำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ แล้วนำไปวางบนอาหาร Water Agar (WA) จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-4 วัน เพื่อให้เส้นใยของเชื้อราโรคพืชเจริญ เมื่อสังเกตเห็นว่ามีเส้นใยเจริญออกมาจากชิ้นของใบมะม่วง นำเส้นใยไปวางบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน แล้วระบุชนิดเบื้องต้นของเชื้อราด้วยการสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ เส้นใย โคลไนด์ และสปอร์ของเชื้อรา

2. การยืนยันผลการระบุชนิดด้วยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วน internal transcribed spacers of nuclear ribosomal DNA repeats (ITS)

นำเส้นใยของเชื้อราทั้ง 10 ไอโซเลต ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน มาสกัด ดีเอ็นเอด้วยวิธี Phenol: Chloroform Extraction และตรวจสอบจีโนมิกดีเอ็นเอบน agarose gel ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำดีเอ็นเอที่สกัดได้มาเพิ่มปริมาณยีนในส่วน ITS ด้วยไพรเมอร์ ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') และ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')¹⁰ ตามวิธีการของ Jaihan et al.¹¹ จากนั้นตรวจสอบขนาดของผลผลิตพีซีอาร์บน agarose gel ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้ไปหาลำดับนิวคลีโอไทด์โดยใช้บริการจากบริษัท Macrogen ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี จากนั้นนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับลำดับ นิวคลีโอไทด์ที่มีรายงานมาก่อนในฐานข้อมูล GenBank และสร้างสายวิวัฒนาการด้วยโปรแกรม MEGA 4¹² โดยใช้วิธี Neighbor – Joining ใช้โมเดล Kimura 2-parameter (1,000 bootstrap replications) ในการวิเคราะห์

3. การทดสอบความสามารถการก่อโรคของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ในใบและผลมะม่วง

นำใบและผลมะม่วงดิบที่ไม่มีรอยแผล มาอย่างละ 10 ตัวอย่าง ล้างให้สะอาดด้วยน้ำ แล้วนำไปแช่ในแอลกอฮอล์ 70% และน้ำกลั่นที่หนึ่งมาเชื้อแล้วเป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นใช้เข็ม (needle) เจาะหรือทำให้เกิดแผล แล้วจึงหยดสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร จำนวน 10 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำไปใส่ไว้ในกล่องขึ้นที่สะอาด แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน สังเกตอาการของโรคที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

4. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ด้วยวิธีเลี้ยงเชื้อร่วมกัน

นำเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ที่แยกได้จากดินในแปลงนาข้าวที่เคยมีรายงานมาก่อนว่ามีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืช⁹ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ด้วยการนำเชื้อ *Streptomyces* ไอโซเลต SRF 1 มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โดยวิธีการขีดเชื้อลงบนผิวอาหารครึ่งจานอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน แล้วใช้ cork borer ขนาด 0.9 เซนติเมตร เจาะเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. อายุ 7 วัน วางด้านตรงข้ามกับเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 สำหรับชุดควบคุม (control) นำเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ไปวางไว้ที่ฝั่งใดฝั่งหนึ่งของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน สังเกตและบันทึกผล จากนั้นวัดรัศมีการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ในจานทดสอบและจานควบคุม นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโต จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ การยับยั้งการเจริญของเชื้อ} = [(A-B) / A] \times 100$$

A = ค่าเฉลี่ยของรัศมีการเจริญของเชื้อรา
บนจานอาหารชุดควบคุม

B = ค่าเฉลี่ยของรัศมีการเจริญของเชื้อรา
บนอาหารที่ทดสอบกับเชื้อปฏิปักษ์
Streptomyces sp. ไอโซเลต SRF 1

5. การทดสอบประสิทธิภาพน้ำเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในอาหาร AGMS ที่มีอาร์จินีนที่ระยะ 7, 14, 21 และ 28 วัน ในการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. โดยวิธี agar well diffusion

ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยเริ่มต้นด้วยการใช้ cork borer เจาะอาหาร PDA จำนวน 5 หลุม จากนั้นหยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จำนวน 4 หลุม และใส่อาหารเหลว AGMS จำนวน 1 หลุม ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นจึงใช้ cork borer เจาะเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ไปไว้ตรงกลางจานอาหาร ส่วนชุดควบคุมวางเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ไว้ตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง แล้วสังเกตการเจริญ เป็นเวลา 4 วัน

6. การศึกษาความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. เมื่อทดสอบด้วยน้ำเลี้ยงจากเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS เป็นเวลา 21 วัน

ใช้ cork borer เจาะเส้นใยของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. อายุ 7 วัน ที่เลี้ยงไว้บนอาหาร PDA นำไปวางไว้ตรงกลางของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำกระจกปิดสไลด์ (cover slip) จุ่มลงในแอลกอฮอล์แล้วรองจนแห้ง นำไปวางทับบนชั้นวุ้นที่มีเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. จากนั้นเทน้ำเลี้ยงของเชื้อ *Streptomyces* SRF1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS ที่ระยะเวลา 21 วัน ลงไป 20 มิลลิลิตร สำหรับชุดควบคุม (control) เทเฉพาะอาหารเหลว AGMS ลงไปเท่านั้น จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จึงใช้ปากคีบค่อยๆ ดึงกระจกปิดสไลด์ออก แล้ววางลงบนสไลด์ที่หยดด้วย lactophenol cotton blue ไว้แล้ว จากนั้นจึงนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (compound microscope) เพื่อตรวจดูความผิดปกติของเส้นใยที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

7. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในการยับยั้งการออกสปอร์เชื้อรา *Pestalotiopsis* spp.

ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยเริ่มต้นด้วยการหยดน้ำเลี้ยงจากเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่เลี้ยงในอาหาร AGMS เป็นเวลา 21 วัน ลงบนอาหาร PDA ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วเกลี่ย (spread) ให้น้ำเลี้ยงกระจายทั่วจานอาหารเพาะ

เลี้ยง เมื่อผิวหน้าอาหารแห้งแล้วจึงหยดสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. แต่ละไอโซเลต ที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงไปบนจานอาหาร แล้วเกลี่ยให้สารแขวนลอยสปอร์กระจายให้ทั่วจานเพาะเลี้ยง จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำไปตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า สังเกตการงอกของสปอร์เปรียบเทียบกับการงอกของสปอร์ปกติในชุดควบคุม

8. การศึกษาประสิทธิภาพน้ำเลี้ยงเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการควบคุมการเกิดโรคในมะม่วง

ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยในขั้นตอนนี้เป็นกรนำน้ำเลี้ยงของเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มาทดสอบกับเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. จำนวน 10 ไอโซเลต ในการควบคุมการเกิดโรคในมะม่วง โดยเริ่มจากการนำใบและผลดิบของมะม่วงที่ไม่มีรอยแผลมา ล้างให้สะอาด แล้วนำไปแช่แอลกอฮอล์ 70% และน้ำกลั่นที่หนึ่งฆ่าเชื้อแล้วเป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นใช้เข็มเจาะหรือทำให้เกิดแผลจำนวน 4 จุด (1 จุดเป็นจุดควบคุมที่หยดน้ำกลั่น และ 3 จุดที่เหลือเป็นจุดที่หยดสารแขวนลอยสปอร์เชื้อทดสอบลงไป) โดยกำหนดการทดลองเป็น 3 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 ใส่เฉพาะสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ลงไปปริมาตร 10 ไมโครลิตร

กรรมวิธีที่ 2 หยดน้ำเลี้ยงจากเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ก่อน 1 วัน แล้วจึงหยดสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ลงไปปริมาตร 10 ไมโครลิตร

กรรมวิธีที่ 3 หยดสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ก่อน 1 วัน แล้วจึงหยดน้ำเลี้ยงจากเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่ระยะเวลา 21 วัน ลงไปปริมาตร 50 ไมโครลิตร

หลังจากปลูกเชื้อแล้ว นำไปเก็บไว้ในกล่องขึ้นที่สะอาด บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงสังเกตลักษณะอาการและวัดขนาดของแผลที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับการปลูกเชื้อ *Pestalotiopsis* spp.

9. การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในการผลิตเอ็กซ์ทราเซลล์ไลติกเอนไซม์บางชนิด

นำเชื้อแบคทีเรียปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต

SRF 1 มาชิตตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Starch Agar, Carboxy methyl cellulose (CMC) Agar และ Lignin Agar เป็นเส้นตรง จากนั้นนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบเวลาจึงหยดสารละลายไอโอดีนลงในจานอาหาร Starch Agar จนท่วม ส่วนจานอาหาร CMC ทำการเท 0.2 % congo-red จนท่วมและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบกำหนดเทสีทิ้ง แล้วล้างสีออกด้วย 1 M NaCl เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงสังเกตโซนใสและทำการวัดบริเวณโซนใสบันทึกผลการทดลอง ส่วนจานอาหาร Lignin Agar บันทึกผลการทดลองเมื่อบ่มเชื้อครบเวลา 7 วัน

10. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี One Way Anova และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษา

1. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดจากใบมะม่วง การทดสอบการเกิดโรคบนใบและผลของมะม่วง และการระบุชนิดด้วยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ใน ส่วน internal transcribed spacers of nuclear ribosomal DNA repeats (ITS)

จากการแยกเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดจากใบมะม่วงที่มีอาการของโรค สามารถแยกเชื้อราได้จำนวน 10 ไอโซเลต โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 มี 4 ไอโซเลต ได้แก่ ไอโซเลต PT1, PT2, PT3 และ PT4 มีลักษณะโคโลนีเป็นสีเขียวมืดเมื่อเจริญเต็มที่จะเป็นสีดำ (Figure 1) และเมื่อนำสปอร์มาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า มีลักษณะของสปอร์เรียวยาว รูปร่างคล้ายกระสวย ภายในเซลล์สปอร์มีผนังกัน 4 ผนัง มี 5 ช่อง ส่วนปลายของสปอร์มีริยาร์ค 2-4 เส้น (Figure 1B) สำหรับกลุ่มที่ 2 มี 6 ไอโซเลต ได้แก่ ไอโซเลต PT5, PT6, PT7, PT8, PT9 และ PT10 มีลักษณะโคโลนีสีขาว (Figure 1) สปอร์มีลักษณะคล้ายกลุ่มที่ 1 แต่มีลักษณะที่สั้นกว่า และเห็นช่องภายในสปอร์ 3 ช่องตรงกลางชัดเจน (Figure 1D) เมื่อนำสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราที่แยกได้ มาปลูกเชื้อ (inoculation) ลงไปบนผลและใบของมะม่วง พบว่า ภายใน 7 วัน เชื้อราทั้ง 10 ไอโซเลต สามารถก่อโรคได้ทั้งบนใบและผลของมะม่วง และมีอาการเหมือนอาการเริ่มต้นที่นำมาแยกเชื้อ โดยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ไอโซเลต PT9 แสดงลักษณะของโรครุนแรงที่สุด ในระยะแรกเกิดจุดสีน้ำตาลเล็กๆ จากนั้นแผลขยายขนาดขึ้น มีรูปร่างกลมสีน้ำตาลดำ มีลักษณะเป็นมัน

ความยาวของแผลประมาณ 15-30 มิลลิเมตร

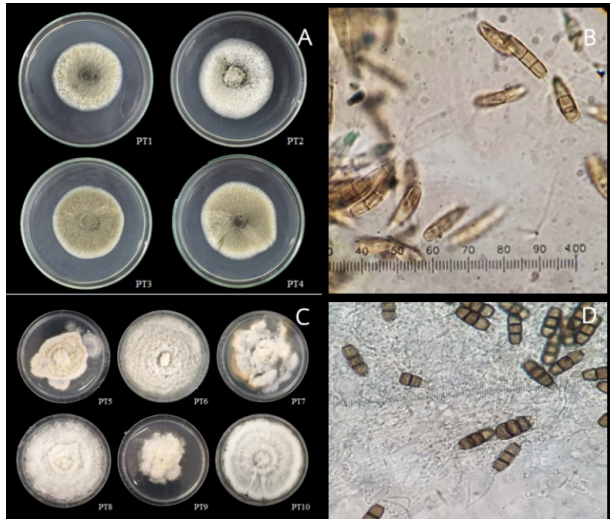


Figure 1 Colony (A and C) and spore (B and D) morphology of *Pestalotiopsis* spp. group 1 (A and B) and group 2 (C and D).

และเมื่อระบุชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคทั้ง 10 ไอโซเลต ด้วยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ พบว่าเชื้อราทั้งหมดมีลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วน ITS เหมือนกับเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. มากที่สุด(Figure 2) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความเหมือนอยู่ในช่วง 95-100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความสามารถในการทำให้เกิดโรค และข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์จึงสามารถยืนยันและระบุชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดบนมะม่วงได้เป็นเชื้อ *Pestalotiopsis* spp.

2. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. โดยเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 โดยวิธีเลี้ยงเชื้อร่วมกัน

เมื่อนำเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA หลังจากเลี้ยงเชื้อร่วมกันเป็นเวลา 7 วัน พบว่า เชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces*

sp. ไอโซเลต SRF 1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ได้ทั้ง 2 กลุ่ม โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเส้นใยเชื้อราด้วยเชื้อปฏิปักษ์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับไอโซเลตของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. (Table 1) และยังพบว่าเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ไอโซเลต PT7 ได้สูงสุด 91.51 เปอร์เซ็นต์ และไอโซเลต PT1 ต่ำสุด 73.37 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) และเมื่อนำข้อมูลการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราทั้ง 10 ไอโซเลต มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) และจากผลการทดลองการยับยั้งเชื้อทั้ง 10 ไอโซเลต จึงยืนยันได้ว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ได้จริง

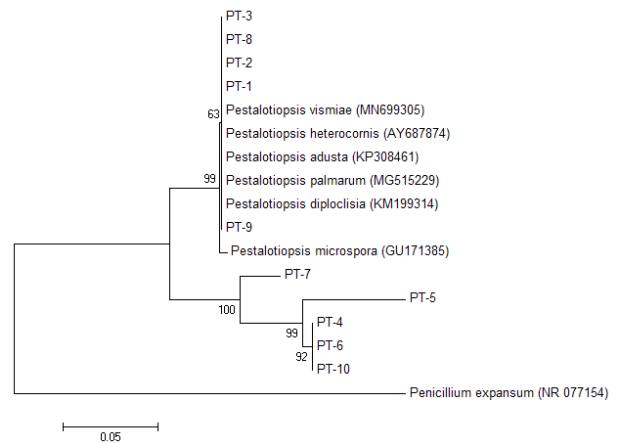


Figure 2 Phylogenetic relationships of 10 isolate of *Pestalotiopsis* and the 6 related *Pestalotiopsis* species and one out group (*Penicillium expansum*) based on partial ITS gene sequences. Neighbor Joining (NJ) tree was constructed using Mega 4. Percentages expressed above the branches are frequencies with which a given branch appeared in 1000 bootstrap replications when using the NJ method (branches corresponding to partitions reproduced in <50 % were collapsed)

Table 1 Inhibitory effects of *Streptomyces* sp. isolate SRF 1 on mycelial growth of ten plant pathogenic *Pestalotiopsis* spp. by dual culture method.

Isolate of <i>Pestalotiopsis</i> spp.	Percentage of mycelial growth reduction (%)*
PT1	73.37±1.04 ^c
PT2	88.96±1.46 ^{ab}
PT3	81.49±4.81 ^{abc}
PT4	81.71±0.96 ^{abc}
PT5	79.91±6.71 ^{bc}
PT6	83.59±3.35 ^{abc}
PT7	91.51±2.61 ^a
PT8	84.11±0.90 ^{abc}
PT9	81.43±3.79 ^{abc}
PT10	89.72±1.55 ^{ab}

* Different lower case letters denote significant differences ($P < 0.05$) between the different isolates of *Pestalotiopsis* spp. in the same column.

3. การทดสอบประสิทธิภาพน้ำเลี้ยงเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในอาหาร AGMS ที่ระยะ 7, 14, 21 และ 28 วัน ในการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. โดยวิธี Agar well diffusion

จากการนำน้ำเลี้ยงจากเชื้อปฏิภักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มาทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. โดยวิธี agar well diffusion พบว่าน้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ทั้ง 10 ไอโซเลต เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. เจริญบนอาหาร PDA เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำเลี้ยงเชื้อสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราไอโซเลต PT4 ได้ดีที่สุด ขณะที่สามารถยับยั้งเชื้อราไอโซเลต PT9 ได้น้อยที่สุด และนอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 21 และ 28 วัน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยราได้ดีกว่าน้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความยาวเส้นใยในแต่ละไอโซเลต (Table 2 และ Figure 3) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 21 และ 28 วัน มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำเลี้ยงที่ระยะ 21 วัน มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอยู่ในช่วง 16.00-58.00 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่น้ำเลี้ยงที่ระยะ 28 วัน มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอยู่ในช่วง 20.91-60.78 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

Table 2 Inhibitory effects of the culture filtrate of *Streptomyces* sp. isolate SRF 1 on mycelial growth of ten plant pathogenic *Pestalotiopsis* spp. by agar well diffusion method.

Isolate of <i>Pestalotiopsis</i> spp.	Percentage of mycelial growth reduction (%) by culture filtrate from different time point*			
	7 Days	14 Days	21 Days	28 Days
PT1	32.84±6.57 ^{B, abc}	37.65±6.41 ^{B, ab}	45.51±5.61 ^{AB, abc}	58.38±2.96 ^{A, a}
PT2	15.29±7.58 ^{B, de}	16.67±10.14 ^{B, cd}	38.86±5.66 ^{AB, d}	48.95±6.05 ^{A, ab}
PT3	12.64±3.23 ^{B, e}	18.66±2.08 ^{B, bcd}	42.50±3.82 ^{A, abc}	47.92±2.08 ^{A, ab}
PT4	47.00±4.36 ^{B, a}	41.72±6.69 ^{AB, a}	58.00±4.16 ^{A, a}	60.78±1.68 ^{A, a}
PT5	7.02±7.02 ^{B, e}	17.19±9.22 ^{AB, cd}	29.12±9.57 ^{AB, cde}	35.61±2.95 ^{A, bc}
PT6	36.53±2.27 ^{C, ab}	39.20±0.44 ^{BC, a}	47.16±1.93 ^{AB, abc}	51.11±3.87 ^{A, a}
PT7	18.82±5.03 ^{B, cde}	44.60±6.91 ^{A, a}	53.95±4.29 ^{A, ab}	55.18±5.15 ^{A, a}
PT8	10.67±5.81 ^{A, de}	19.67±2.60 ^{A, bcd}	22.33±3.84 ^{A, de}	25.00±5.13 ^{A, cd}
PT9	7.67±3.93 ^{A, e}	9.33±2.33 ^{A, d}	16.00±4.58 ^{A, e}	20.91±5.84 ^{A, d}
PT10	27.14±5.88 ^{B, bcd}	32.34±4.10 ^{AB, abc}	40.37±8.12 ^{AB, abc}	48.42±4.83 ^{A, ab}

* Different capital letters denote significant differences ($P < 0.05$) between the times in the same row.

* Different lower case letters denote significant differences ($P < 0.05$) between the different isolates of *Pestalotiopsis* spp. in the same column.

4. การศึกษาความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. เมื่อทดสอบด้วยน้ำเลี้ยงจากเชื้อปฏิชีวนะ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS ที่ระยะเวลา 21 วัน

จากการนำน้ำเลี้ยงของเชื้อปฏิชีวนะ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS ที่ระยะเวลา 21 วัน มาทดสอบกับเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ทั้ง 10 ไอโซเลต พบว่า เส้นใยที่สัมผัสกับน้ำเลี้ยงจากอาหารเหลว AGMS มีการเจริญได้น้อย เมื่อนำเส้นใยมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า เส้นใยมีลักษณะที่ผิดปกติ ไม่มีการแตกแขนงของเส้นใย เส้นใยมีลักษณะโป่งพอง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยในชุดควบคุม (Figure 3)

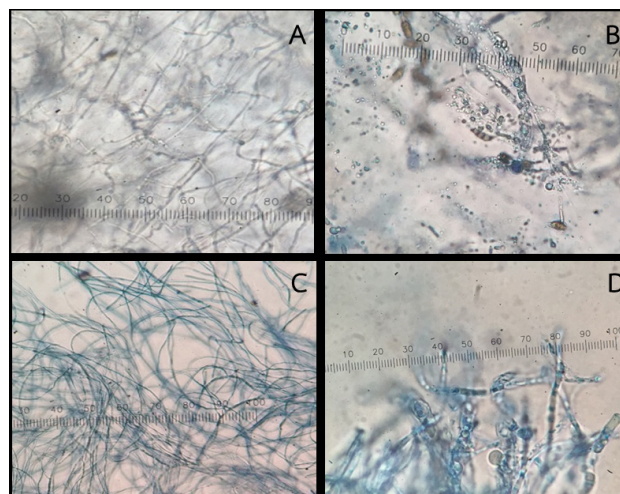


Figure 3 Effects of culture filtrate of *Streptomyces* sp. isolate SRF1 on fungal mycelia of *Pestalotiopsis* spp. isolate PT5 (A and B) and PT6 (C and D) under bright field microscopy (1,000X); control treatment (A and C) and tested treatment (B and D).

5. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการยับยั้งการงอกสปอร์เชื้อรา *Pestalotiopsis* spp.

จากการทดสอบประสิทธิภาพน้ำเลี้ยงจากเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่ระยะเวลา 21 วัน ในอาหารเหลว AGMS ในการยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ทั้ง 10 ไอโซเลต พบว่า น้ำเลี้ยงจากเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ได้ทั้ง 10 ไอโซเลต และเมื่อนำผลการยับยั้งการงอกของสปอร์ไปทดสอบ

ทางสถิติ พบว่า น้ำเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces* ไอโซเลต SRF 1 มีความสามารถในการยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ทั้ง 10 ไอโซเลต ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการยับยั้ง พบว่า ไอโซเลต PT1 ถูกยับยั้งได้สูงที่สุด คือ 74.15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไอโซเลต PT5 ถูกยับยั้งได้ต่ำสุด คือ 52.13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Table 3) นอกจากนี้ลักษณะของสปอร์ที่ตรวจพบในชุดทดสอบมีลักษณะของ germ tube ที่สั้น โป่งพอง ผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Table 3 Effects of 21 days old culture filtrate of *Streptomyces* sp. isolate SRF1 on the fungus *Pestalotiopsis* spp. spore germination

Isolate of <i>Pestalotiopsis</i> spp.	Percentage of inhibition of spore germination (%)
Control	00.00±0.00 ^e
PT1	74.15±4.71 ^d
PT2	64.91±9.30 ^{abcd}
PT3	68.65±2.16 ^{bcd}
PT4	69.63±2.07 ^{cd}
PT5	52.13±10.44 ^a
PT6	56.30±9.68 ^{ab}
PT7	64.56±5.96 ^{abcd}
PT8	54.08±6.32 ^a
PT9	59.31±7.65 ^{abc}
PT10	60.14±7.74 ^{abc}

* Different lower case letters denote significant differences ($P < 0.05$) between the different isolates of *Pestalotiopsis* spp. in the same column.

6. ประสิทธิภาพของน้ำเลี้ยงจากเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการควบคุมการเกิดโรคบนใบและผลมะม่วง

จากการทดสอบการใช้น้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว AGMS เป็นระยะเวลา 21 วัน ในการควบคุมการเกิดโรคบนใบและผลของมะม่วงที่เกิดจากเชื้อราทั้ง 10 ไอโซเลต พบว่า ผลการทดสอบกับเชื้อราทั้ง 10 ไอโซเลต เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ กรรมวิธีที่หยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 1 วัน ก่อนการใส่สารแขวน

ลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. สามารถควบคุมการเกิดโรคในพืชได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ก่อนการหยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ขณะที่ชุดควบคุมแสดงอาการของโรคอย่างชัดเจน (Figure 4) โดยเมื่อเปรียบเทียบขนาดของแผล พบว่าในชุดควบคุม และกรรมวิธีที่ใส่สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ก่อนการหยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มีขนาดของแผลใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยของแผลบนผลและใบ เท่ากับ 20-30 และ 5-10 มิลลิเมตร

ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่หยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 1 วัน ก่อนการใส่สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ขนาดของแผลบนผลและใบเฉลี่ยเท่ากับ 5-10 และน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำขนาดของแผลจากกรรมวิธีที่หยดน้ำเลี้ยงของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 1 วัน

ก่อนการใส่สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. มาเปรียบเทียบกับ พบว่าน้ำเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถควบคุมการเกิดโรคของเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ไอโซเลต PT7 ได้ดีที่สุด (แผลขนาดเล็กที่สุด) รองลงมาคือ PT8, PT9 และ PT10 ตามลำดับ



Figure 4 Effect of culture filtrate of *Streptomyces* sp. isolate SRF1 on mango leaf (A) and fruits (B).

1 = Plants were inoculated with *Pestalotiopsis* sp. isolate PT7

2 = Plants were treated with 10 mL culture filtrate for 1 day before being inoculated with 10 mL conidial suspension of *Pestalotiopsis* sp. isolate PT7

3 = Plants were inoculated with 10 mL of conidial suspension of *Pestalotiopsis* spp. isolate PT7 for 1 day before being treated with 10 mL of culture filtrate

7. การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในการผลิตเอ็กซ์ตราเซลลูโลติกเอนไซม์บางชนิด

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 ในการผลิตเอ็กซ์ตราเซลลูโลติกเอนไซม์บางชนิด พบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF 1 สามารถผลิตเอนไซม์ ที่มีคุณสมบัติในการย่อยเซลลูโลสในอาหาร CMC agar ได้ และสามารถผลิตเอนไซม์ในการย่อยลิกนินในอาหาร Lignin agar ได้ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเอนไซม์ในการย่อยแป้งในอาหาร Starch agar ได้ โดยมีบริเวณใส (clear zone) เท่ากับ 34.17, 10.33 และ 46.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

สรุปและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้แยกเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ที่มีความสามารถทำให้เกิดโรคบนผลและใบมะม่วงจำนวน 10 ไอโซเลต โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ที่มีลักษณะโคโลนีสีเขียวดำและสีขาว เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรค แสดงให้เห็นว่า ไอโซเลต PT9 ก่อโรครุนแรงที่สุด และเมื่อนำเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มาทดสอบประสิทธิภาพ

การยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. จำนวน 10 ไอโซเลต ด้วยวิธีเลี้ยงเชื้อร่วมกัน แสดงให้เห็นว่า เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยรา *Pestalotiopsis* spp. ได้ทั้ง 10 ไอโซเลต โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งในช่วง 73.37-91.51 ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ได้จริง แต่อาจมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่แตกต่างกันบ้างขึ้นอยู่กับไอโซเลตของเชื้อราที่นำมาทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sangdee *et al.*⁹ ที่พบว่า เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และเชื้อรา *Bipolaris maydis* ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และ 99.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ เกวลิน คุณาศักดากุล และชัยพร ชัดสงคราม¹³ พบว่า เชื้อแอกติโนไมซีท เอนโดไฟต์สกุล *Streptomyces* sp. ไอโซเลต DIM4, DIM12, DIM15, DIM16, DIM20 และ DIM25 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยรา *Pestalotiopsis* sp. ที่แยกได้จากโรคผลเน่าของลำไย ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุด 88.50 เปอร์เซ็นต์ โดยกลไกที่เชื้อ *Streptomyces* spp. ใช้ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคอาจเนื่องมาจากเชื้อ *Streptomyces* spp.

สามารถสร้างสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ออกมาทำลายผนังเซลล์ของเชื้อรา โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 สามารถผลิตเอ็กซ์ตราเซลลูโลติกเอนไซม์ที่อาจมีคุณสมบัติในการย่อยผนังเซลล์ได้หลายชนิดจึงทำให้น้ำเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มีผลทำให้การเจริญและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. เปลี่ยนแปลงไป มีการแตกหักของเส้นใยเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาค้นคว้าของ Matsumoto¹⁴ ที่พบว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. สามารถผลิตเอนไซม์โคติเนส เพื่อใช้ในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคได้

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. โดยใช้ น้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ที่เลี้ยงในอาหาร AGMA ที่เติมอาร์จินิน มาทดสอบการยับยั้ง แสดงให้เห็นว่า น้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 21 และ 28 วัน สามารถยับยั้งเชื้อรา *Pestalotiopsis* spp. ได้ดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจมาจาก ในช่วงระยะเวลา 21-28 วัน เป็นช่วงที่เชื้อ *Streptomyces* sp. SRF1 สามารถผลิตและหลั่งสารทุติยภูมิออกมาได้มากและมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ น้ำเลี้ยงที่ระยะเวลา 21 วัน แทน 28 วัน ได้ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการเลี้ยงเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Trejo-Estrada *et al.*¹⁵, Ouhdouch *et al.*¹⁶ และ Alam *et al.*¹⁷ ที่พบว่า เชื้อ *Streptomyces* spp. สามารถผลิตไฮโดรไลติกเอนไซม์ที่ผลิตและปลดปล่อยออกมานอกเซลล์ (extracellular hydrolytic enzymes) และสารประกอบที่ยับยั้งเชื้อราได้

เมื่อศึกษาการยับยั้งการงอกสปอร์ของเชื้อรา โดยใช้ น้ำเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 ระยะเวลา 21 วัน แสดงให้เห็นว่า น้ำเลี้ยงเชื้อสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ราได้ในช่วง 52.13-74.15 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าผลการใช้น้ำเลี้ยงในการยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรายังมีความสอดคล้องกันกับผลการทดสอบการยับยั้งเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชอีกด้วย และเมื่อนำน้ำเลี้ยงไปทดสอบกับการป้องกันโรคบนผลและใบมะม่วง แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีที่ใส่น้ำเลี้ยงลงไปก่อน 1 วัน สามารถชะลอการเกิดอาการของโรคได้ทั้งบนใบและผลมะม่วงได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ใส่สารแขวนลอยสปอร์เชื้อราลงไปก่อน 1 วัน ทั้งนี้กลไกในการชะลอการเกิดโรคอาจมาจากการงอกของสปอร์ของเชื้อราถูกยับยั้งโดยเอ็กซ์ตราเซลลูโลติกเอนไซม์ที่เชื้อแบคทีเรียปฏิสัมพันธ์ผลิตขึ้นและปลดปล่อยออกมาในน้ำเลี้ยงเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Palaniyandi *et al.*¹⁸ ที่พบว่า เชื้อ *Streptomyces phae-*

opureus สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *C. coccodes* โดยใช้การหลั่งเอนไซม์โปรติเอส (extracellular proteases) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SRF1 มีศักยภาพที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อ *Pestalotiopsis* spp. ได้ เช่น การนำผลมะม่วงมาแช่ในน้ำเลี้ยงก่อนนำไปวางขาย อาจสามารถยืดระยะเวลาของการเกิดโรคบนผลได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Okigbo R N, Osuinde M I. Fungal leaf spot diseases of mango (*Mangifera indica* L.) in Southeastern Nigeria and biological control with *Bacillus subtilis*. *Plant Protect Sci* 2003;39(2):70-7
- Mouden N, Benkirane R, Touhami AO, Douira A. Pathogenic capacity of *Pestalotia longisetula* Guba reported for the first time on strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) in Morocco. *Int J Pure Appl Biosci* 2014;2(4):132-41
- Chliyah M, Rhimini Y, Selmaoui K, Touhami AO, Filali-Maltouf A, Modafar CE, Moukhli A, Oukabli A, Benkirane R, Douira A. First report of *Pestalotia fici* causing leaf chlorosis and fruit rot on olive (*Olea europaea* L.) in Morocco. *Int J Recent Sci Res* 2014;5:136-41
- Ismail AM, Cirvilleri G, Polizzi G. Characterisation and pathogenicity of *Pestalotiopsis uvicola* and *Pestalotiopsis clavispora* causing grey leaf spot of mango (*Mangifera indica* L.) in Italy. *Eur J Plant Pathol* 2013;135(4): 619-25
- Ara I, Rizwana H, Al-Othman M R, Bakir MA. Antagonism of actinomycete against *Pestalotiopsis mangiferae*, causal agent of mango brown rot in post-harvest storage. *Afr J Microbiol Res* 2012;6: 1782-9
- Phong NH, Wattanachai P, Kasem S, Luu NT. Antimicrobial substances from *Chaetomium* spp. against *Pestalotia* spp. causing grey blight disease of tea. *J Agri Tech* 2014;10(4): 863-74

7. Pallavi RV, Nepolean P, Balamurugan A, Jayanthi R, Beulah T, Premkumar R. *In vitro* studies of biocontrol agents and fungicides tolerance against grey blight disease in tea. *Asian Pac J Trop Biomed* 2012;2(1): S435-8
8. Sanjay R, Ponmurugan P, Baby UI. Evaluation of fungicides and biocontrol agents against grey blight disease of tea in the field. *Crop Prot* 2008;27(3-5): 689-94
9. Sangdee A, Kornphachara S, Srisawat N. *In vitro* screening of antagonistic activity of soil *Streptomyces* against plant pathogenic fungi and assessment of its characters. *J Agri Tech* 2016;12(1):173-85
10. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor JW. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. 1990. Pp. 315-322 In: *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*, eds. Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ. Academic Press, Inc., New York
11. Jaihan P, Sangdee K, Sangdee A. Selection of entomopathogenic fungus for biological control of chili anthracnose disease caused by *Colletotrichum* spp. *Eur J Plant Pathol* 2016;146: 551-564
12. Tamura K, Dudley J, Nei M, Kumar S. MEGA 4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Mol Biol Evol* 2007;24(8):1596-1599
13. เกวลิน คุณาศักดากุล และชัยพร ชัดสงคราม. การคัดเลือกรื้อแอกติโนไมซีทเอนโดไฟต์ที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าของลำไย. *วารสารเกษตร* 2555;28(3): 285-94
14. Matsumoto KS. Fungal chitinase. 2006. Pp. 289-304 In: *Advances agriculture and food biotechnology*, eds. Guevara-González RG, Torres-Pacheco I. Research Signpost, Trivandrum. Kerala, India
15. Trejo-Estrada SR, Paszczyński A, Crawford DL. Antibiotics and enzymes produced by the biocontrol agent *Streptomyces violaceusniger* YCED9. *J Ind Microbiol Biotechnol* 1998;21:81-90
16. Ouhdouch Y, Barakate M, Finance C. Actinomycetes of Moroccan habitats: isolation and screening for antifungal activities. *Eur J Soil Biol* 2001;37:69-74
17. Alam M, Dharni S, Khaliq A, Srivastava SK, Samad A, Gupta MK. A promising strain of *Streptomyces* sp. with agricultural traits for growth promotion and disease management. *Indian J Exp Biol* 2012;50: 559-68
18. Palaniyandi SA, Yang SH, Suh JW. Extracellular proteases from *Streptomyces phaeopurpureus* ExPro138 inhibit spore adhesion, germination and appressorium formation in *Colletotrichum coccodes*. *J Appl Microbiol* 2013;115(1): 207-17

การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว และเส้นทางอพยพ :
กรณีศึกษาบริเวณเขตน้ำท่วมลุ่มน้ำย่อยคลองนาหวี จังหวัดสงขลา

Analysis of Suitable Areas for Shelters and Evacuation Routes: A Case Study of the Flood Areas in Khlong Nathawi Subwatershed, Songkhla Province

ธิดาภัทร อนุชาญ¹

Thidapath Anucharn¹

Received: 5 June 2019 ; Revised: 19 August 2019 ; Accepted: 29 August 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว และเส้นทางในการอพยพออกจากเขตน้ำท่วม บริเวณลุ่มน้ำย่อยคลองนาหวี จังหวัดสงขลา ด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์โครงข่าย โดยการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการอพยพออกจากเขตน้ำท่วมจากปัจจัยทางกายภาพ 7 ปัจจัย ได้แก่ เส้นทางถนน เส้นทางน้ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่น้ำท่วม การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ความลาดชัน และความสามารถในการระบายน้ำของพื้นผิวดิน ทำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อจัดลำดับความสำคัญด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกำหนดค่าคะแนนของกลุ่มการจำแนกในแต่ละปัจจัยของพื้นที่ที่ไม่เคยเกิดน้ำท่วมด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ จากนั้นนำผลรวมของค่าคะแนนที่ได้จากผลคูณของค่าน้ำหนักและค่าคะแนนมาจัดระดับความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการอพยพ สำหรับการวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว ผู้วิจัยได้เลือกสถานที่ คือ ที่ว่าการอำเภอ มัสยิด วัด โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ โรงพยาบาล และโรงเรียน โดยพิจารณาจากจุดศูนย์กลางของแต่ละตำบลและตำแหน่งหมู่บ้านด้วยการวิเคราะห์แบบตะแกรงไปยังตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด ทำยสรุปจัดทำเส้นทางอพยพ และแสดงผลข้อมูลผ่าน Google Earth ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เหมาะสมต่อการอพยพมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.58, 15.54, 30.30, 18.29 และ 4.55 ตามลำดับ ส่วนสถานที่ที่เหมาะสมต่อการจัดตั้งเป็นศูนย์พักพิงชั่วคราวมีจำนวน 52 แห่ง และมีเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้ประชาชนเดินทางไปพักอาศัยได้ในระยะเวลาที่น้อยที่สุด

คำสำคัญ: พื้นที่เหมาะสม ศูนย์พักพิงชั่วคราว เส้นทางอพยพ น้ำท่วม สงขลา

Abstract

This research aimed to analyze suitable areas for shelters and evacuation routes in flood areas of Khlong Nathawi subwatershed, Songkhla Province by using the application of geographic information systems and network analysis. The analysis of suitable areas for evacuation from flood areas consisted of 7 criteria; road route, stream route, the elevation from mean sea level, flood areas, land use and land cover, slope and soil drainage capability. The hierarchical analysis was processed to determine the important weights of criteria. In addition, the frequency ratio method was calculated to define the score of the classification group in each factor in an area that never flooded. Then, the sum of the scores obtained from the analysis process was applied to classify the suitability of the area for evacuation. In order to analyze the location of the shelters, the researcher chose the district office, temple, health promoting hospital, hospital and school. The center of each sub-district and village were addressed by the sieve analysis and the nearest

¹ อาจารย์, สาขาวิชาสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 90000

¹ Lecturer, Information System Department, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology, 90000

* Corresponding author: E-mail: thidapath.a@gmail.com

location. Finally, the evacuation routes were managed and data displayed via Google Earth. As a result of this research, it was found that the suitable areas for evacuation were the highest, high, moderate, low and lowest range that covered 28.58 %, 15.54 %, 30.03 %, 18.29% and 4.55 % of the areas, respectively. As for the suitable location for the shelter, there were 52 places which were suitable routes for evacuation in the shortest period.

Keywords: Suitable areas, shelter, evacuation routes, Flood, Songkhla

บทนำ

ลุ่มน้ำย่อยคลองนาหวี (Figure 1) สภาพภูมิประเทศมีลักษณะลาดเอียงเทลงจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ พื้นที่ทิศใต้ติดกับชายแดนไทย-มาเลเซีย พื้นที่ทิศเหนือติดชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นพื้นที่ราบลุ่มหรือป่าพรุเป็นแห่งๆ พื้นที่ราบตามแนวชายฝั่งมีลักษณะเป็นสันทรายขนานกับแนวชายฝั่งทะเล มีคลองนาหวีซึ่งเกิดจากเทือกเขาสันกาลาคีรี เป็นคลองสายหลัก¹ สำหรับพื้นที่สำคัญที่เกิดน้ำท่วมในลักษณะซ้ำซากที่ผ่านมา ได้แก่ 1) ตำบลท่าประดู่ ตำบลปลักหนู ตำบลนาหวี ตำบลนาหมอศรี ตำบลฉาง อำเภอนาหวี และ 2) ตำบลบ้านนา ตำบลขุนตัดหวาย ตำบลน้ำขาว ตำบลแค ตำบลคู ตำบลท่าหมอไทร ตำบลสะพานไม้แก่น ตำบลปาซิง ตำบลตลิ่งชัน อำเภอจะนะ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการหาตำแหน่งพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ โดยกำหนดที่ตั้งของศูนย์พักพิงชั่วคราว เส้นทางอพยพ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการ ติดตาม และเฝ้าระวัง ทำให้ประชาชนได้เกิดการตื่นตัวและตระหนัก ถึงผลที่จะเกิดตามมา

วิธีการศึกษา

1. รวบรวมและทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการสำรวจภาคสนามเพื่อกำหนดปัจจัยทางกายภาพสำหรับการหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ (Table 1) และการเลือกที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวในเขตน้ำท่วม (Table 2) ในที่นี้การแบ่งกลุ่มการจำแนกของแต่ละปัจจัย หากมีหน่วยงานกำหนดค่าการแบ่งช่วงข้อมูลไว้ชัดเจนจะอ้างอิงตามหน่วยงานนั้นๆ ส่วนปัจจัยใดยังไม่มีการกำหนดไว้จะพิจารณาจากค่าฮิสโตแกรม (histogram) ที่มีการกระจายข้อมูลแบบเกาะกลุ่มกันและใช้ลักษณะการแบ่งช่วงของข้อมูลแบบเท่ากัน (Equal Interval) ร่วมในการพิจารณา โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้นำปัจจัยกายภาพสำหรับการหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ ที่เกี่ยวข้อง คือ

1) **เส้นทางถนน** เส้นทางถนน พิจารณาจากความหนาแน่นของถนนในพื้นที่ โดยใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ความหนาแน่นแบบ Kernel² เนื่องจากในเหตุการณ์น้ำท่วม พื้นที่ที่มีโครงข่ายถนนมากย่อมมีโอกาสที่มีเส้นทางคมนาคมสามารถใช้งานได้ ในที่นี้ค่าความหนาแน่นของถนนต่อพื้นที่ จะมีการแบ่งแบบเท่ากัน (Equal Interval) ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่มีถนนหนาแน่นมากที่สุด พื้นที่ที่มีถนนหนาแน่นมาก พื้นที่ที่มีถนนหนาแน่นปานกลาง พื้นที่ที่มีถนนหนาแน่นน้อย และพื้นที่ที่มีถนนหนาแน่นน้อยที่สุด (Figure 2)

2) **เส้นทางน้ำ** พิจารณาระยะห่างจากทางน้ำ เนื่องจากระบบลำน้ำเป็นรูปแบบกิ่งไม้ (Dendritic Pattern) ที่ลำน้ำมีการรวมของสายน้ำและมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากต้นน้ำสู่ปลายน้ำ รวมถึงแหล่งน้ำ (Water body) ทำให้มีโอกาสเกิดความเสียหายน้ำท่วมในพื้นที่ที่อยู่ในระยะใกล้ลำน้ำและแหล่งน้ำดังกล่าว จึงกำหนดเขตระยะกันชน (Buffer) ช่วงละ 500 เมตร ออกเป็น 5 ระดับ คือ 0-500 เมตร, 500-1,000 เมตร, 1,000-1,500 เมตร, 1,500-2,000 เมตร และมากกว่า 2,000 เมตร ตามลำดับ (Figure 3)

3) **ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง** พิจารณาจากระดับความสูงของพื้นที่ โดยพื้นที่ใดมีความสูงยิ่งมากโอกาสในการเกิดน้ำท่วมก็จะยิ่งน้อย ในที่นี้จึงกำหนดความสูงช่วงละ 100 เมตร ออกเป็น 5 ระดับ คือ 0-100 เมตร, 100-200

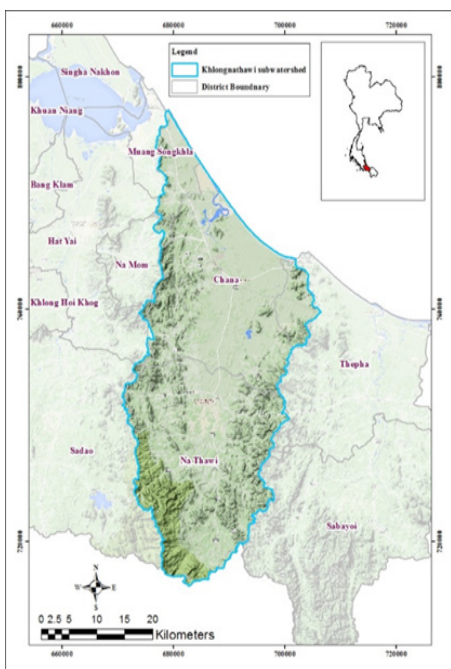


Figure 1 Location map of the study area (Khlong Nathawi subwatershed)

เมตร, 200-300 เมตร, 300-400 เมตร และมากกว่า 500 เมตร ตามลำดับ (Figure 4)

4) พื้นที่น้ำท่วม พิจารณาพื้นที่ที่เคยเกิดน้ำท่วมตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 – 2559 รวมเป็นระยะเวลา 10 ปี และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมด้วยวิธีการถดถอยพหุโลจิสติกส์ (Multiple Logistic Regression) เพื่อเป็นข้อมูลของพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบเส้นทางและพื้นที่ในการอพยพที่ไม่เคยเกิดน้ำท่วม เพื่อตั้งเป็นศูนย์พักพิงชั่วคราว ในการจำแนกข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมจะแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ พื้นที่ที่เคยเกิดน้ำท่วมและมีโอกาสในการเกิดน้ำท่วม และพื้นที่ที่ไม่เคยเกิดน้ำท่วม (Figure 5)

5) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง ใช้ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ที่ระดับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับ 1 (Level 1) ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการพิจารณาเลือกที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว จะพิจารณาเลือกพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเป็นอันดับแรก เนื่องจากมีเส้นทางและที่ตั้งที่มีศักยภาพพร้อมในการใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม เช่น สถานที่ราชการต่างๆ (โรงเรียน วัด มัสยิด ที่ว่าการอำเภอ เทศบาล โรงพยาบาล ค่ายทหาร) พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่น ๆ เป็นอันดับที่ 2 เนื่องจากเป็นพื้นที่ว่างเปล่า สามารถพัฒนาให้เป็นศูนย์พักพิงชั่วคราวได้ ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม เป็นอันดับสุดท้าย เนื่องจากต้องมีการปรับพื้นที่เกษตรกรรมให้พร้อมเพื่อสร้างศูนย์พักพิงชั่วคราว อาจทำให้เสียรายได้จากกิจกรรมทางการเกษตรดังกล่าว ในประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหลือ คือ พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่แหล่งน้ำ จะไม่มีการจัดอันดับ เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ เป็นระบบนิเวศที่สำคัญ เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร ช่วยกักเก็บน้ำ ชะลอน้ำท่วม ในขณะที่เดียวกัน ป่าชายเลน เป็นแหล่งเพาะพันธุ์และอนุบาลสัตว์น้ำ ช่วยป้องกันคลื่นลม และบำบัดน้ำเสีย ในมุมมองของพื้นที่ที่ใช้เป็นเส้นทางและที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว ไม่ควรนำพื้นที่ป่าไม้มาพิจารณา เนื่องจากมีความไวต่อความแปรปรวนทางระบบนิเวศเป็นอย่างมาก ในขณะที่พื้นที่แหล่งน้ำให้ความหมายเช่นเดียวกับพื้นที่น้ำท่วม จึงไม่สามารถตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวได้ (Figure 6)

6) ความลาดชัน สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ที่ได้จากเส้นชั้นความสูงระยะห่าง (Contour interval) 20 เมตร สามารถจำแนกได้เป็น 5 ระดับ อ้างอิงตามการแบ่งความลาดชันตามชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ³ คือ พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1 ความลาดชันสูง (มากกว่าร้อยละ 50 พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 หละหลวมที่มีแนวลาดเทปานกลาง ความลาดชันอยู่ระหว่างร้อยละ 35-50 พื้นที่ชั้น

คุณภาพลุ่มน้ำที่ 3 มักมีลักษณะเป็นที่ลาดเขา ตีนเขา ที่ราบขั้นบันไดตลับเนินเขา และพื้นที่ริมร่องน้ำ มีความลาดชันอยู่ระหว่างร้อยละ 25-35 พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 4 เป็นพื้นที่เชิงเขา เนินเขาเตี้ย ที่ราบขั้นบันได พื้นที่สองฝั่งลำน้ำ มีความลาดชันอยู่ระหว่าง ร้อยละ 5-25 พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 5 เป็นพื้นที่ราบลุ่ม หรือเนินลาดเอียงเล็กน้อย มีความลาดชันน้อยกว่า ร้อยละ 5 โดยความลาดชันสูง ส่งผลให้การเดินทางอพยพมีความล่าช้า (Figure 7)

7) ความสามารถในการระบายน้ำของพื้นผิวดิน พิจารณาคุณสมบัติของเนื้อดิน (Soil Texture) จากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน ตามลักษณะอนุภาคของดินในการอุ้มน้ำ และระบายน้ำของดิน จากเนื้อดินประเภทต่างๆ โดยจำแนกเนื้อดินออกเป็นประเภทหลักๆ ดังนี้ ดินเหนียว (Clay) เป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งจะจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้งเหนียว สามารถปั้นเป็นรูปต่าง ๆ ได้ ทำให้การระบายน้ำเลว การอุ้มน้ำดี ส่วนดินร่วน (Loam) เป็นดินซึ่งมีส่วนประกอบของทราย ตะกอนทราย และอนุภาคดินเหนียวมากเกือบพอๆ กัน ร้อยละอนุภาคดินเหนียวต่ำกว่าทราย และตะกอนทรายเล็กน้อย มีการระบายน้ำและการอุ้มน้ำระดับปานกลาง และดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่าร้อยละ 50 แต่ก็มีตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียวมากพอที่จะประสานให้เกาะกันเป็นก้อนได้ ทรายแต่ละเมล็ดสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ มีการระบายน้ำดี และการอุ้มน้ำเลว ระดับการระบายน้ำของพื้นดินสามารถแบ่งออกเป็น 8 ระดับ คือ (1) พื้นที่ที่ไม่มีการสำรวจ (2) การระบายน้ำได้เร็วมาก (3) การระบายน้ำได้มากเกินไปบ้าง (4) การระบายน้ำได้เร็ว (5) การระบายน้ำได้เร็วพอสมควร (6) การระบายน้ำได้มากเกินไป (7) การระบายน้ำได้ดีปานกลาง และ (8) การระบายน้ำได้ดี (Figure 8)

สำหรับการเลือกสถานที่ที่จะจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวจากเขตน้ำท่วมในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกสถานที่คือ ที่ว่าการอำเภอ มัสยิด วัด โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ โรงพยาบาล และโรงเรียน (Figure 9)

2. วิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการอพยพออกจากเขตน้ำท่วม โดยการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (Weighting) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน และทำการกำหนดค่าคะแนนของกลุ่มการจำแนกในแต่ละปัจจัย (Rating) ของพื้นที่ที่ไม่เคยเกิดน้ำท่วมในรอบ 10 ปี (พ.ศ.2550-2559) ด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) จากนั้นนำผลรวมของค่าคะแนนที่ได้จากผลคูณ

ของค่าน้ำหนัก (Weighting) และค่าคะแนน (Rating) มาจัดลำดับ (Ranking) ความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการอพยพ โดยมีการจัดแบ่งความเหมาะสมต่อการอพยพออกเป็น 5 ระดับ (Level) ด้วยวิธีการ Equal interval คือ แบ่งให้ช่วงชั้นทุก ๆ ชั้น มีระยะห่างเท่าๆ กัน ได้แก่ พื้นที่เหมาะต่อการอพยพมากที่สุด พื้นที่เหมาะต่อการอพยพมาก พื้นที่เหมาะต่อการอพยพปานกลาง พื้นที่เหมาะต่อการอพยพน้อย และพื้นที่ที่เหมาะต่อการอพยพน้อยที่สุด

3. วิเคราะห์หาที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวจากเขตน้ำท่วม โดยการตั้งศูนย์พักพิงจากเขตน้ำท่วมนั้นจะพิจารณาเลือกที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวให้ครอบคลุมทุกตำบลหรือทุกหมู่บ้าน โดยพิจารณาจากจุดศูนย์กลางของแต่ละตำแหน่งหมู่บ้านในแต่ละตำบล ด้วยการวิเคราะห์แบบตะแกรง (Sieve Analysis) ไปยังตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในพื้นที่ความเหมาะสม

ต่อการอพยพมาก และมากที่สุดเท่าที่นั้นและไม่อยู่ในขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมเช่นกัน ทำยสุดจัดทำเส้นทางการอพยพโดยอาศัยหลักแนวคิดการวิเคราะห์เส้นทางที่ดีที่สุด (Best route analysis) ในที่นี้คือ เส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่สั้นที่สุด หรือใช้เวลาน้อยที่สุด การวิเคราะห์พื้นที่ให้บริการ (Service area analysis) คือ พื้นที่หรือบริเวณที่สามารถเข้าถึงได้จากจุดที่กำหนด และการวิเคราะห์หาที่ตั้งและการจัดสรร (Location-allocation analysis) ให้ประชาชนเดินทางไปพักอาศัยในพื้นที่ที่ปลอดภัยได้ในระยะเวลาที่น้อยที่สุด

4. แสดงผลข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล ผ่าน Google Earth ที่สามารถดูพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว และเส้นทางอพยพ ออกจากเขตน้ำท่วมได้

Table 1 Physical factors for finding a suitable area to evacuate from flood areas.

Related research	Physical factors affecting flood evacuation						
	1	2	3	4	5	6	7
Anantaya Kongjun ⁴	✓	✓	✓				
Thidapath Anucharn ⁵	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Nutthapol Junkaew, NattawatPho-khaow and Sasiporn Phonpreuksa ⁶	✓		✓	✓	✓	✓	
Mongkolkorn Srivichai ⁷	✓	✓	✓		✓		
Civil Engineering Department, Chiang Mai University, Natural Disasters Research Unit - CENDRU ⁸	✓			✓	✓		

Note: 1) road route 2) water route 3) altitude: mean sea level 4) flood areas 5) land use and land cover 6) slope and 7) soil drainage capability academia

Table 2 Ideal location for flood shelter.

Related research	Shelter locations									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thidapath Anucharn ⁵	✓					✓	✓	✓	✓	✓
Nutthapol Junkaew, NattawatPho-khaow and Sasiporn Phonpreuksa ⁶	✓		✓	✓	✓					
Civil Engineering Department, Chiang Mai University, Natural Disasters Research Unit - CENDRU ⁸		✓		✓						

Note: 1) education 2) hospital 3) temple 4) stadium 5) municipality, sub-district administration organization 6) village 7) road 8) sub-district boundary 9) flood areas และ 10) suitable areas

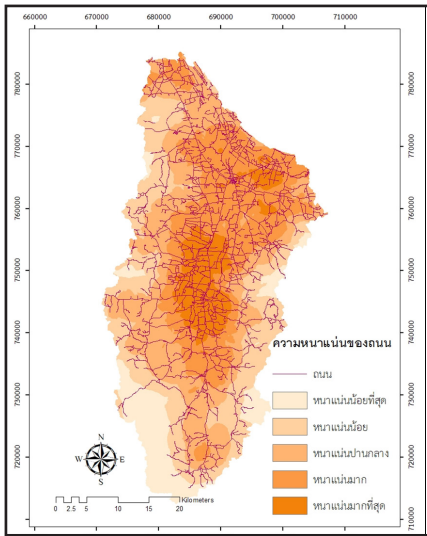


Figure 2 Road density

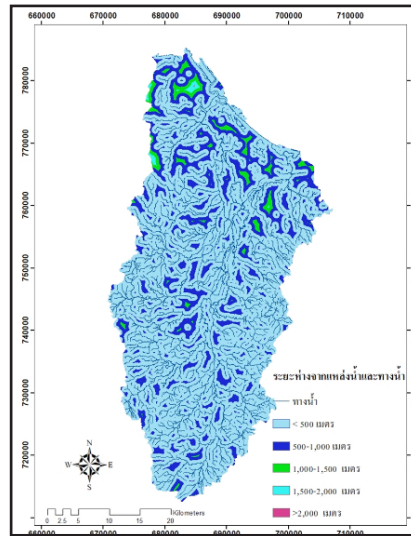


Figure 3 Distance from drainage

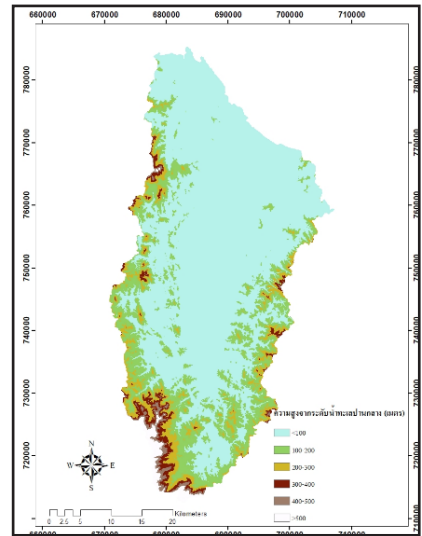


Figure 4 Altitude: Mean Sea Level

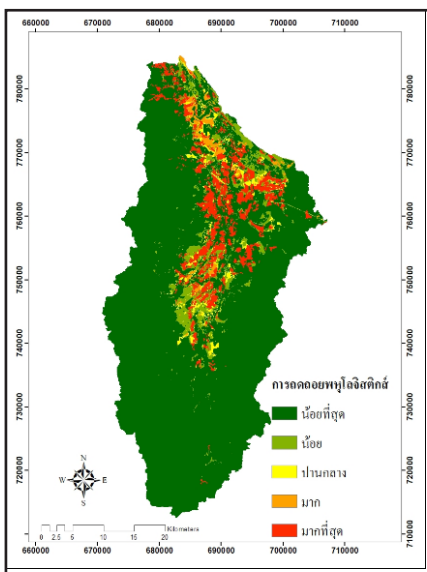


Figure 5 Flood susceptibility map

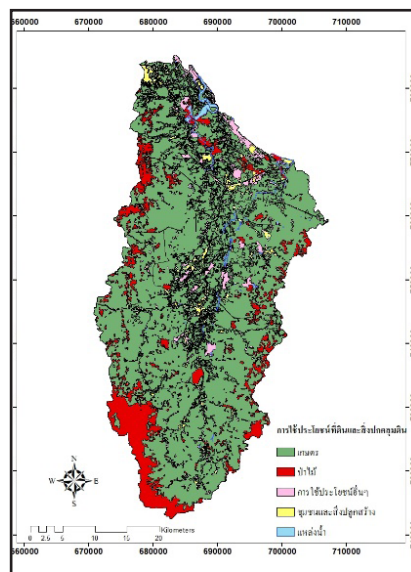


Figure 6 Land use and land cover

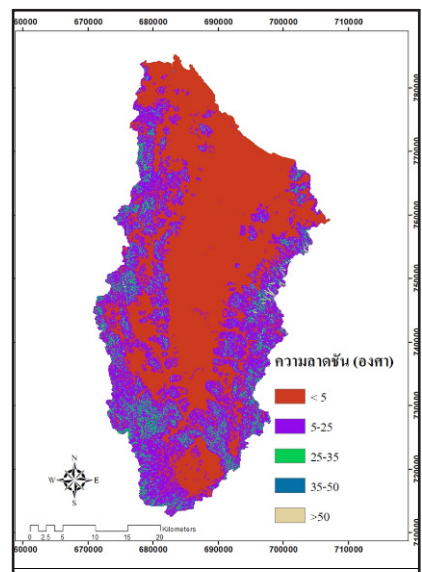


Figure 7 Slope

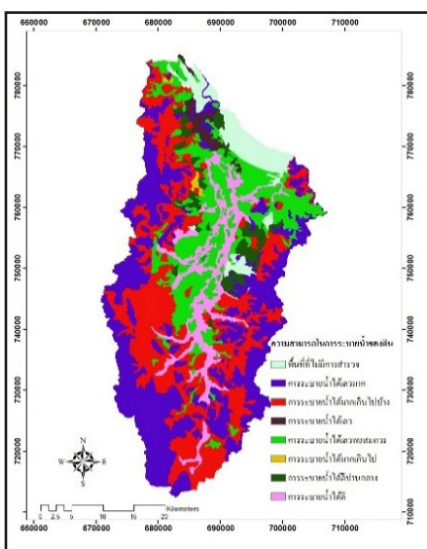


Figure 8 Soil Drainage Capability

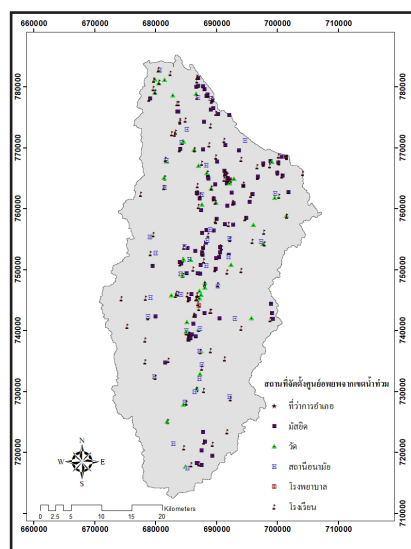


Figure 9 Place for site selection of shelters

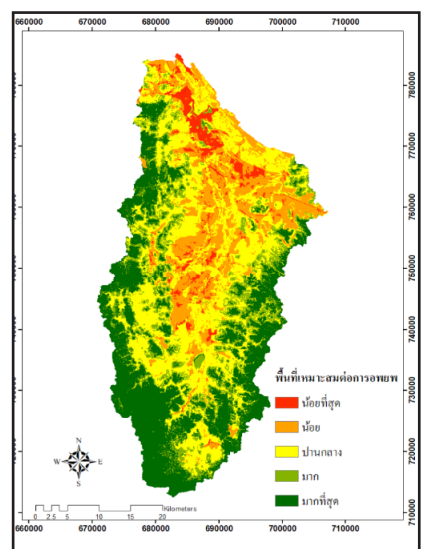


Figure 10 Map of suitable areas for flood evacuation

ผลการศึกษา

จากการกำหนดค่าหนักของแต่ละปัจจัยในการหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพน้ำท่วมด้วยวิธีการ AHP (Table 3) พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรวมของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุด (0.2581) รองลงมา คือ ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง (0.1826) และระยะห่างจากทางน้ำ (0.1653) ตามลำดับ ส่วนที่น้อยที่สุด คือ

ความลาดชันของพื้นที่ (0.1156) ส่วนค่าปัจจัยในกลุ่มการจำแนก จากวิธีการ FR สามารถแสดงรายละเอียดดัง Table 4 จากนั้นนำข้อมูลค่าน้ำหนักเฉลี่ยของ Table 3 มาทำการคูณกับค่าคะแนนของกลุ่มการจำแนกในแต่ละปัจจัยของ Table 4 เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพน้ำท่วม (Figure 10) และแสดงระดับความเหมาะสมต่อการอพยพออกเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ดัง Table 5

Table 3 Factor weights from pair-wise comparison matrix yielded from 5 experts.

Factors (Input layer)	Factor weights from individual expert's judgment					Mean weights
	1	2	3	4	5	
Landuse and landcover	0.1496	0.4295	0.4723	0.1056	0.1334	0.2581
Distance from drainage	0.2321	0.1651	0.1714	0.1434	0.1147	0.1653
Road density	0.1898	0.1235	0.1261	0.0361	0.2846	0.1520
Soil Drainage Capability	0.2158	0.0795	0.1515	0.0568	0.1284	0.1264
Slope	0.1135	0.0914	0.0525	0.2573	0.0633	0.1156
Mean Sea Level	0.0992	0.1112	0.0262	0.4008	0.2757	0.1826

เมื่อนำพื้นที่น้ำท่วมระดับต่ำของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ซ้อนทับกับพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ พบว่ามีน้ำท่วมในพื้นที่ 20 ตำบลในเขตพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพระดับน้อยที่สุด น้อย และปานกลางเท่านั้น ไม่มีในระดับมากและมากที่สุด รายละเอียดดัง Table 6 ดังนั้นจึงได้กำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ คือ ระดับมากและมากที่สุด จากนั้นนำพื้นที่ดังกล่าวไปซ้อนทับกับสถานที่ในการตั้งเป็นศูนย์พักพิงชั่วคราว พบว่า มีจำนวน 64 แห่ง แต่หลังจากได้ลงพื้นที่เพื่อสำรวจศักยภาพและความเหมาะสมของที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว พบว่าบางที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว มีระยะทางที่ห่างไกลจากชุมชน ส่งผลให้ไม่สะดวกในการเดินทางไปยังสถานที่ที่จะตั้งเป็นศูนย์พักพิงชั่วคราว ขนาดของสถานที่มีพื้นที่ใช้สอยน้อยไม่เพียงพอต่อการพักอาศัย บางสถานที่เป็นโรงเรียนและวัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน จะทำการเลือกโรงเรียน เนื่องจากโรงเรียนมีอาคาร พื้นที่ใช้สอย และห้องน้ำ

รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมในการพักอาศัยมากกว่าวัด ยกเว้นกรณีที่โรงเรียนมีขนาดเล็กมากและไม่เหมาะสมต่อการพักอาศัย และขนาดของวัดมีพื้นที่ใช้สอยและอาคารที่ดีกว่า จึงจะทำการเลือกวัดแทน นอกจากนี้ได้นำที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวจากศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเขต 12 สงขลา ที่ได้จากการประชุมของประชาคมหมู่บ้านเป็นผู้เลือกสถานที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว รวมถึงจากการสัมภาษณ์ประชาชนในพื้นที่มาร่วมพิจารณาอีกช่องทางหนึ่ง ส่งผลให้ได้สถานที่ที่มีศักยภาพเพียงพอในการตั้งเป็นศูนย์พักพิงชั่วคราว จำนวน 52 แห่ง รายละเอียดดัง Table 7 และ Figure 11

การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพจากบริเวณเขตน้ำท่วมเพื่อรองรับประชากรในแต่ละหมู่บ้านไปยังที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว แสดงดัง Figure 12-18 และแสดงผลผ่าน Google Earth ดัง Figure 19

Table 4 Proportion of land for each type of the input factor.

Factors	Class	Total number of pixels		Flood occurrence point		FR
		Number	%	Number	%	
Land use and land cover	Agricultural land	2,952,783	77.7651	30,981	77.9396	1.0022
	Water bodies	24,409	0.6428	249	0.6264	0.9744
	Urban and Built up land	147,513	3.8849	1,474	3.7082	0.9545
	Forest land	472,532	12.4447	5,085	12.7925	1.0279
	Miscellaneous	199,818	5.2624	1,961	4.9333	0.9375
Distance from drainage (m)	<500	3,100,070	81.6441	32,567	81.9296	1.0035
	500-1,000	607,335	15.9949	6,353	15.9824	0.9992
	1,000-1,500	79,362	2.0901	757	1.9044	0.9112
	1,500-2,000	10,200	0.2686	69	0.1736	0.6462
	>2,000	88	0.0023	4	0.0101	4.3913
Road density	Very low	3,364,043	88.5961	34,977	87.9925	0.9932
	Low	300,429	7.9122	3,319	8.3497	1.0553
	Moderate	85,511	2.2520	926	2.3296	1.0344
	High	41,756	1.0997	467	1.1748	1.0683
	Very high	5,316	0.1400	61	0.1535	1.0961
Soil Drainage Capability	No data	222,903	5.8704	2,217	5.5774	0.9501
	Very poorly drained	1,222,484	32.1956	13,586	34.1786	1.0616
	Somewhat excessively drained	1,129,865	29.7564	12,545	31.5597	1.0606
	Poorly drained	57,897	1.5248	374	0.9409	0.6171
	Somewhat poorly drained	666,206	17.5453	5,866	14.7572	0.8411
	Excessively drained	10,860	0.2860	111	0.2792	0.9763
	Moderately well drained	145,491	3.8317	1,534	3.8591	1.0072
Slope (degree)	Well drained	341,349	8.9898	3,517	8.8478	0.9842
	0-5	2,201,480	57.9786	22,049	55.4692	0.9567
	5-25	1,311,638	34.5436	14,614	36.7648	1.0643
	25-35	248,603	6.5473	2,696	6.7824	1.0359
	35-50	27,430	0.7224	312	0.7849	1.0865
Altitude: Mean Sea Level (m)	>50	7,904	0.2082	79	0.1987	0.9548
	0-100	2,630,050	69.2655	26,681	67.1220	0.9691
	100-200	738,222	19.4420	8,279	20.8277	1.0713
	200-300	246,838	6.5008	2,756	6.9333	1.0665
	300-400	94,401	2.4862	1,058	2.6616	1.0706
	400-500	45,021	1.1857	504	1.2679	1.0694
>500	42,523	1.1199	472	1.1874	1.0603	

Table 5 Suitable areas classification of land based on the FR method.

Suitable areas class	Area	
	Km ²	%
Very low	69.1500	4.5529
Low	277.8592	18.2944
Moderate	501.7136	33.0331
High	236.0860	15.5440
Very high	434.0132	28.5756

Table 6 The area of flooding at the sub-district level overlays with areas suitable for migration.

Sub-District	District	Suitable areas (Km ²)			Total
		Very low	Low	Moderate	
Ko Tao	Mueang Songkhla	0.0816	-	-	0.0816
Thung Wang	Mueang Songkhla	0.0344	-	-	0.0344
Ban Na	Chana	3.6076	0.6796	-	4.2872
Pa Ching	Chana	1.2040	0.0552	-	1.2592
Saphan Mai Kaen	Chana	0.8580	0.4056	0.0096	1.2732
Sakom	Chana	2.7272	2.0992	0.0232	4.8496
Na Wa	Chana	2.5808	0.1688	-	2.7496
Na Thap	Chana	0.6324	0.1048	-	0.7372
Nam Khao	Chana	0.4540	0.0140	-	0.4680
Khun Tat Wai	Chana	0.5060	0.2256	-	0.7316
Tha Mo Sai	Chana	1.2460	0.2336	-	1.4796
Chanong	Chana	1.7620	0.1296	0.0172	1.9088
Khu	Chana	2.0096	0.5880	-	2.5976
Khae	Chana	0.7952	0.2040	-	0.9992
Khlong Pia	Chana	0.6824	0.0396	0.0132	0.7352
Taling Chan	Chana	2.7312	0.2504	-	2.9816
Na Thawi	Na Thawi	0.2020	0.0512	-	0.2532
Chang	Na Thawi	1.0048	0.1108	-	1.1156
Na Mo Si	Na Thawi	0.5584	0.0332	-	0.5916
Plak Nu	Na Thawi	0.3496	0.0284	-	0.3780

Table 7 A suitable place to set up a shelter 52 sources.

No.	Shelter locations	No.	Shelter locations
	Thung Wang, Mueang Songkhla		Na Mo Si, Na Thawi
1.	Wat Ang Thong School	26.	Ban Moy School
2.	Wat Thang Whang Nai School	27.	Na Mo Si School
3.	Wat Sai Khao	28.	Ban Thung Lae Mosque
	Khlong Pia, Chana		Khlong Sai, Na Thawi
4.	Wat Khuan Mit	29.	Wat Lamphot Chindaram School
5.	Nurut Lapwa Mosque (Ban Khuan Hua Chang)		Khlong Kwang, Na Thawi
	Ban Na, Chana	30.	Ban Khlong Bon Mosque
6.	Ban Nam Khem Mosque	31.	Ban Khlong Kwang Khao Wang School
	Pa Ching, Chana		Plak Nu, Na Thawi
7.	Wat Ban Rai School	32.	Ban Samong School
	Khu, Chana		Tha Pradu, Na Thawi
8.	Wat Na Prue School	33.	Maha Chakri Sirindhorn Camp
	Na Wa, Chana		Sathon, Na Thawi
9.	Ban Wa Lang School	34.	Ban Pong School
10.	Wat Khuan Mai Phai	35.	Sathon Sub-district Administrative Organization
11.	Ban Na Nai Mosque	36.	Prasit Tha Wee Sin 2 School
12.	Ban Khuan Khiraed Bureau of Monks	37.	Wat Sathon
13.	Ban Kuan Kee Rat School		Thap Chang, Na Thawi
14.	Wat Pracha	38.	Thap Chang Wittayakhom School
	Taling Chan, Chana	39.	Wat Ban Lum School
15.	Ban Pa Ngam School	40.	Wat Wang Sai School
16.	Tas Di Kiah School	41.	Wang Sai Tambon Health Promoting Hospital
	Tha Mo Sai, Chana		Prakop, Na Thawi
17.	Ban Prong Ngu Bureau of Monks	42.	Ban Mai Tambon Health Promoting Hospital
18.	Wat Chang Khlod	43.	Ban Pru War School
	Khun Tat Wai, Chana	44.	Thong Yoo Nuttagul School
19.	Muhammadeeyah Mosque (Ban Phrong Chorakhe)	45.	Child Development Center, Tambon Administrative Organization
	Na Thawi, Na Thawi	46.	Ban Prakop School
20.	Ban Wang Yai Plai Ram School	47.	Wat Ko Mai Yai
21.	Atchakirin Mosque		Sakom, Thepha
22.	Darusalam Mosque	48.	Ban Pak Bang Sakom School
23.	Ban Khaliang School	49.	Ban Sawan School
	Chang, Na Thawi	50.	Ban Phru Lumpee School
24.	Wat Plak Chamao Community School	51.	Ban Sae School
25.	Raja Pra Ja Nu Groh 43 School	52.	Tha Maenglak Tambon Health Promoting Hospital

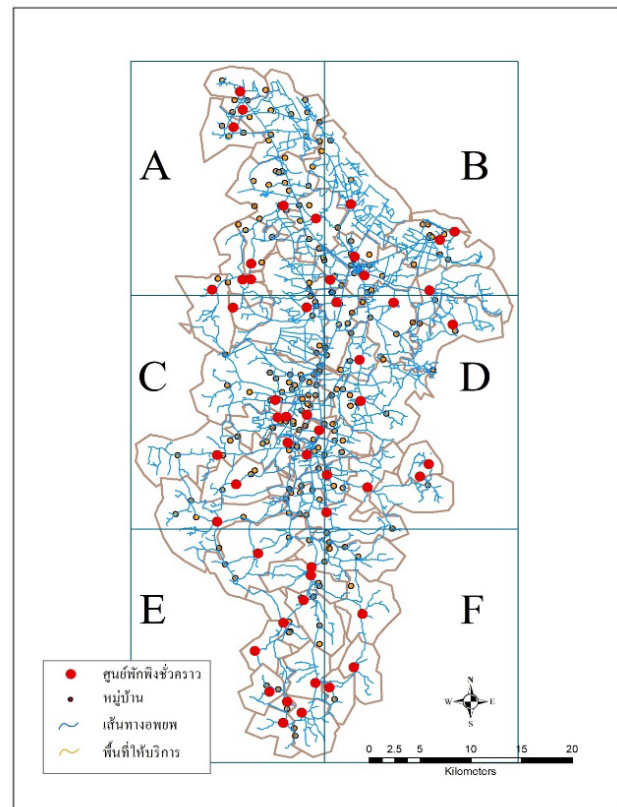
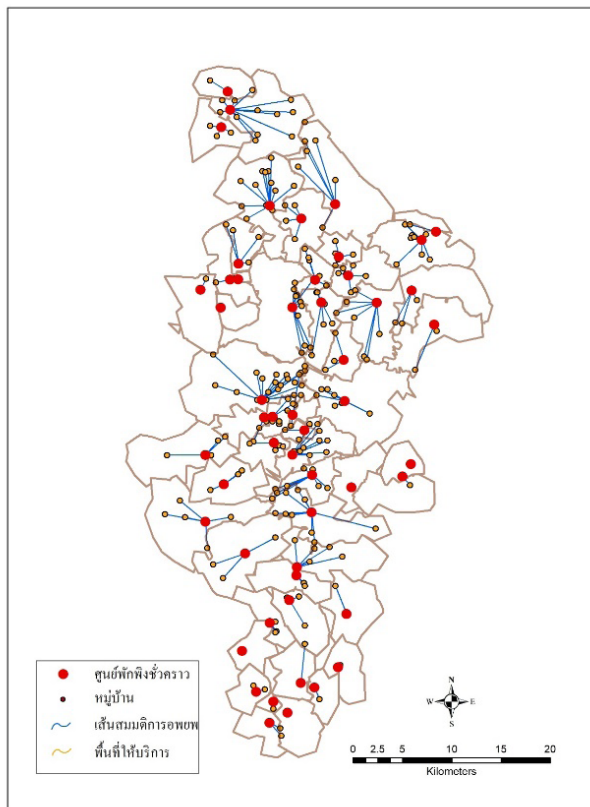


Figure 11 Service areas and fictional lines of evacuation to shelters

Figure 12 Service areas, evacuation routes and suitable areas for shelters in the overall

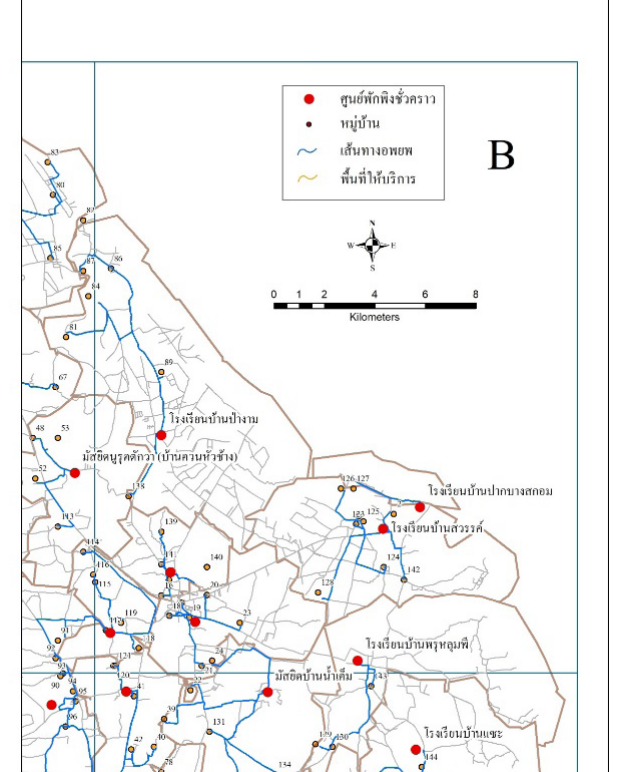
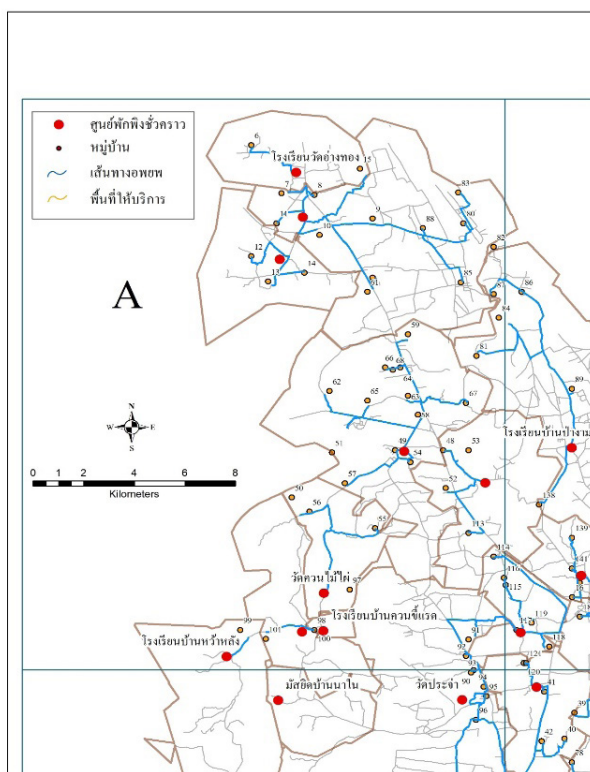


Figure 13 Evacuation routes to the shelter areas at zone A

Figure 14 Evacuation routes to the shelter areas at zone B

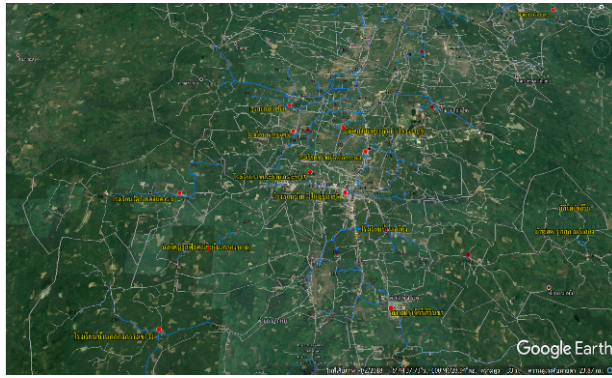


Figure 19 Evacuation routes to the shelter areas display via Google earth

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

1. ระดับความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการอพยพ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ โดยพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.58, 15.54, 30.03, 18.29 และ 4.55 ตามลำดับ และเมื่อนำพื้นที่น้ำท่วมระดับต่ำของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 มาซ้อนทับกับพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ พบว่ามีน้ำท่วมในพื้นที่ 20 ตำบลในเขตพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพระดับน้อยที่สุด น้อย และปานกลางเท่านั้น ไม่มีในระดับมากและมากที่สุด จึงได้กำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอพยพ คือ ระดับมากและมากที่สุด

2. ที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว มีจำนวน 52 แห่งใน 4อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอเมืองสงขลา มีจำนวน 3 แห่งในตำบลทุ่งหวัง 2) อำเภอจะนะ มีจำนวน 16 แห่ง คือ ตำบลนาหว้า มี 5 แห่ง ตำบลคลองเปี้ยะ ตลิ่งชัน ท่าหมอไทร ตำบลละ 2 แห่ง ตำบลบ้านนา ป่าชิง คู ประจํา และขุนตดหวาย ตำบลละ 1 แห่ง 3) อำเภอนาทวี มีจำนวน 28 แห่ง คือ ตำบลประกอบ มี 6 แห่ง ตำบลนาทวี สะทอน และทับช้าง ตำบลละ 4 แห่ง ตำบลนาหมอศรี มี 3 แห่ง ตำบลฉาง และคลองขวาง มี 2 แห่ง ตำบลคลองทราย ปลักหนู และท่าประดู่ ตำบลละ 1 แห่ง และ 4) อำเภอเทพา มีจำนวน 5 แห่งในตำบลสกอม จากการคำนวณตำแหน่งของศูนย์พักพิงชั่วคราวต่างๆ แล้วมาหาพื้นที่ให้บริการของแต่ละแห่ง ส่งผลให้ผู้อพยพสามารถเลือกไปในที่ที่ใกล้ที่สุดที่มีศูนย์พักพิงชั่วคราวได้อย่างทั่วถึงที่ จากข้อมูลจะพบว่าในบางพื้นที่ยังตั้งอยู่ห่างไกลจากศูนย์พักพิงชั่วคราว ควรพิจารณาตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวเพิ่มเติมให้ครอบคลุมและกระจายในทุกพื้นที่

3. ในการทำวิจัยครั้งต่อไป สำหรับข้อมูลตำแหน่งหมู่บ้านยังขาดความสมบูรณ์ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งการเดินทางไปยังศูนย์พักพิงชั่วคราว เนื่องจากบาง

หมู่บ้านไม่มีค่าพิกัด หรือตำแหน่งในแผนที่ฐานข้อมูลจึงควรมีการปรับปรุงให้มีความทันสมัยและสอดคล้องกับความเป็นจริง รวมถึงการมีข้อมูลจำนวนคน เพศ อายุ และโรคประจำตัวประกอบเพื่อการช่วยเหลืออย่างทันท่วงที สำหรับข้อมูลถนน งานวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่ใช้เส้นทางหลัก และมีเส้นทางบางช่วงไม่ต่อเนื่อง หรือขาดหายไปบางพื้นที่ ทำให้การวิเคราะห์เส้นทางอพยพ มีความไม่สมบูรณ์หรือลดความแม่นยำ การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างพื้นที่ ควรมีการปรับปรุงโดยการถ่ายภาพดาวเทียมหรือการใช้เครื่อง GPS ไปกับพาหนะเพื่อจัดเก็บเส้นทางใหม่ และระบุประเภทและขนาดความกว้างของเส้นทาง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การรองรับพาหนะในช่วงที่เกิดปัญหา และหากได้รับข้อมูลประเภทพื้นถนน (ดินลูกรัง คอนกรีต หรือลาดยาง) ความลาดชัน เส้นทางจราจร จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์ในเชิงเวลาได้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ คือระยะทางเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคใต้) คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ฐานข้อมูลชุดลุ่มน้ำและสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ศึกษา ดร.นิติ เอี่ยมชื่น คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ดร.สุพัทธา พุฒินาวรัตน์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ดร.รวิรัตน์าคม คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิวัติ ฤทธิเดช คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ ดร.สิริลักษณ์ ตะนัง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการเป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (AHP) ว่าที่ร้อยตรีตระกูล ไทธรรม ผู้อำนวยการศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย นายมาหะมะ พีสกรี วาแม ผู้อำนวยการศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 12 สงขลา และนายประเสริฐ นิมมานสมัย ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์และประเมินสถานการณ์ ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย ในการเป็นที่ปรึกษาและอนุเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักชลประทานที่ 16. แผนการป้องกันและบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ (ฤดูฝน) พ.ศ. 2556. โครงการชลประทานสงขลา. 2556.
2. Silverman BW. Density estimation for statistics and data analysis. Published in monographs on statistics and applied Probability, London: Chapman and Hall.; 1986.
3. เกษม จันทร์แก้ว. การจัดการลุ่มน้ำ : การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่, 13 กรกฎาคม 2561] เข้าถึงข้อมูลได้จากอินเทอร์เน็ต: <https://www.ku.ac.th/kaset60/ku60/watershed.html>
4. อนันตยา กองจันทร์. การวางแผนเส้นทางอพยพจากภัยน้ำท่วมโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พื้นที่ศึกษาตำบลพระลับ จังหวัดขอนแก่น. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. 2559;18 (ฉบับพิเศษ):243-256.
5. ธิดาภัทร อนุชาญ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการอพยพ และที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราวจากเขตน้ำท่วม กรณีศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2559; 21(3):1-14.
6. ณัฐพล จันทร์แก้ว, ณัฐวัฒน์ โพธิ์ขาว และศศิพร ผลพุกษา. การประยุกต์ภูมิสารสนเทศเพื่อหาพื้นที่ศักยภาพในการอพยพและเส้นทางลำเลียงเคลื่อนย้าย: กรณีศึกษาการเกิดอุทกภัยจังหวัดปทุมธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2557; 22(4):447-461.
7. มงคลกร ศรีวิชัย. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเตรียมพร้อมรับมือภัยพิบัติภัยกรณีศึกษาชุมชนหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. 2556; 16(2): 1-9.
8. หน่วยวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ระบบเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือภัยน้ำท่วมในพื้นที่เขตเมืองเชียงใหม่. [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่, 13 ตุลาคม 2561] เข้าถึงข้อมูลได้จากอินเทอร์เน็ต: <http://cendru.eng.cmu.ac.th/articles/46>

การรู้จำกิจกรรมประจำวันของมนุษย์แบบปรับตัวได้ โดยใช้ข้อมูลจากตัวรับรู้ แอสเซนเซอร์โรมิเตอร์ของสมาร์ทโฟน

Adaptive Human Daily Activity Recognition Using Accelerometer Sensory Data from Smartphones

อุรีรัฐ สุขสวัสดิ์ชน¹, จักกริน สุขสวัสดิ์ชน¹, วรวิทย์ วีระพันธุ์², เหมรัตน์ วีชรหัตถพงษ์², วิทวัส พันธุมจินดา²
Ureerat Suksawatchon¹, Jakkarin Suksawatchon¹, Worawit Werapan¹,
Hemmarat Wachirahatthapong², Wittawas Puntumchinda²

Received: 12 June 2019 ; Revised: 23 August 2019 ; Accepted: 17 September 2019

บทคัดย่อ

การรู้จำกิจกรรมของมนุษย์โดยใช้ข้อมูลกระแสจากตัวรับรู้แอสเซนเซอร์โรมิเตอร์ของสมาร์ทโฟนยังคงเป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับนักวิจัย งานวิจัยส่วนใหญ่พัฒนาตัวแบบรู้จำกิจกรรมเป็นแบบเฉพาะบุคคล ซึ่งต้องใช้ข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบมาจากผู้ใช้ที่ต้องการจะใช้ตัวแบบรู้จำเท่านั้น โดยให้ผู้ใช้ทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจก่อความไม่สะดวกให้แก่ผู้ใช้มากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอกรอบแนวคิดใหม่ของการรู้จำกิจกรรมที่ยืดหยุ่นได้ด้วยสมาร์ทโฟน ที่ชื่อเรียกว่า “ไอซาร์พลัส” ซึ่งเป็นตัวแบบไม่เฉพาะบุคคล (สากล) ที่สามารถใช้กับผู้ใช้ใหม่ได้ โดยที่ผู้ใช้ใหม่ที่ต้องการใช้งานสามารถนำตัวแบบไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องเตรียมข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบเอง ทั้งนี้เพราะตัวแบบที่นำเสนอสามารถปรับตัวแบบได้ตามข้อมูลกระแสของผู้ใช้แต่ละคนโดยใช้การเรียนรู้แบบเพิ่มขึ้นสำหรับการรู้จำในเวลาจริง งานวิจัยนี้ได้วัดประสิทธิภาพของตัวแบบที่นำเสนอทั้งในด้านความถูกต้องของการทำนายและด้านเวลาที่ใช้โดยใช้ข้อมูลสาธารณะที่เป็นการเก็บข้อมูลจริงของการรู้จำกิจกรรมจำนวน 2 ชุดข้อมูล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการไอซาร์พลัสมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับข้อมูลสอนและข้อมูลทดสอบจากผู้ใช้ที่ต่างกันและไม่จำเป็นต้องสอบถามกิจกรรมที่แท้จริงจากผู้ใช้ ซึ่งวิธีการไอซาร์พลัสได้แสดงให้เห็นว่ามีความถูกต้องเฉลี่ยในการทำนายหรืออนุมานการทำกิจกรรมมากกว่า 85%

คำสำคัญ: การรู้จำกิจกรรม ตัวรับรู้แอสเซนเซอร์โรมิเตอร์ สมาร์ทโฟน การทำเหมืองข้อมูล สุขภาพ

Abstract

Human activity recognition using streaming data from the accelerometer sensor of smartphone is still an interesting issue for researchers. Most researches develop the recognition model based on personal model type which require the training data obtained from only user who will utilize the model. To prepare the training data, the user must perform various activities and annotate them within the specified time. This is a major inconvenience for the users. In this paper, we propose a new smartphone-based dynamic framework for physical activity recognition named “ISAR+”. The new framework is an impersonal (universal) model which can be built once and used on new users without requiring labeled training data from those users. Because the proposed model is adaptability with evolving data streams of each new user by using the incremental learning for real-time recognition. This work was validated the proposed model in terms of prediction accuracy and usage times on two public activity recognition datasets. The experimental results

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² อาจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Assist. Prof., ² Lecturer, Faculty of Informatics, Burapha University, Mueang District, Chonburi, 20131

* Corresponding author: Ureerat Suksawatchon, Faculty of Informatics, Burapha University, Mueang District, Chonburi, 20131
Email: ureerat@go.buu.ac.th

show that ISAR+ can achieve the best performance compared with the state-of-the-art models for streaming activity recognition, especially across different users and without inquiry from users. The ISAR+ has demonstrated the average accuracy more than 85% in both datasets.

Keyword: Activity recognition, Accelerometer sensor, Smartphones, Data mining, Health

บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์เคลื่อนที่ขนาดพกพา (Mobile device) ได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นสมาร์ทโฟน (Smartphone) หรืออุปกรณ์สวมใส่ (Wearable devices) อย่างนาฬิกาอัจฉริยะ ซึ่งคนส่วนใหญ่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้เหมือนเป็นปัจจัยที่ 5 แน่หนอนว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีการติดตั้งตัวรับรู้ (Sensor) อัจฉริยะที่หลากหลายแบบ ตัวอย่างเช่น Accelerometer Sensor ที่มีไว้สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ โดยเป็นการตรวจจับแบบ 3 แกน Gyroscope sensor เป็นตัวรับรู้ที่มีไว้สำหรับตรวจจับลักษณะของการหมุนของอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจากตัวรับรู้เหล่านี้เป็นข้อมูลกระแสดึงเวลา (Temporal streaming data) อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ และกระแสข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้สร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Activity recognition model) ผ่านขั้นตอนการเรียนรู้ (Learning algorithm) ด้วยวิธีการทางทำเหมืองข้อมูล (Data mining) หรือการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) จนกระทั่งได้ตัวแบบรู้จำกิจกรรมที่สามารถตรวจจับและอนุมาน (Inferring) ว่าผู้ใช้งานกำลังทำกิจกรรมใดในขณะนั้นจากข้อมูลที่ตัวรับรู้ส่งมา ตัวอย่างเช่นผู้ใช้งานกำลังยืน นั่ง เดิน หรือวิ่ง เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นตัวแบบการรู้จำกิจกรรมของมนุษย์ถูกนำมาสร้างเป็นแอปพลิเคชันที่สำคัญมากมาย โดยเฉพาะแอปพลิเคชันการดูแลสุขภาพ

การสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมจำเป็นต้องเตรียมข้อมูลการทำกิจกรรม (Annotated activities data) ดังนั้นตัวแบบรู้จำกิจกรรมจึงสามารถสร้างได้ 3 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ¹ ดังนี้

(1) ตัวแบบเฉพาะบุคคล (Personal model) เป็นตัวแบบเฉพาะบุคคลที่สร้างขึ้นเพื่อจำแนกและระบุการกิจกรรมที่ทำของคนหนึ่งคนเท่านั้น ดังนั้นการสร้างตัวแบบเฉพาะบุคคลนี้ต้องให้ผู้ที่จะใช้งานตัวแบบเป็นผู้เตรียมข้อมูลของการทำกิจกรรม ด้วยการทำการกิจกรรมต่าง ๆ ตามระยะเวลาที่กำหนดผ่านทางแอปพลิเคชันของผู้สร้างตัวแบบ จากนั้นข้อมูลการทำกิจกรรมจากตัวรับรู้ของคนนั้นจะถูกนำไปสร้างตัวแบบและทดสอบตัวแบบตามขั้นตอนวิธีการเรียนรู้

(2) ตัวแบบไม่เฉพาะบุคคล (Impersonal model) หรือตัวแบบสากล (Universal model) ตัวแบบนี้ใช้ข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้คนใดก็ได้ไม่เฉพาะเจาะจง มาใช้สร้างตัวแบบ กล่าวคือผู้ใช้งานตัวแบบไม่ต้องเก็บข้อมูลการทำกิจกรรมของตนเอง ก็สามารถเริ่มใช้ตัวแบบรู้จำกิจกรรมผ่านแอปพลิเคชันนั้น ๆ ได้ทันที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกของผู้ใช้งาน

(3) ตัวแบบลูกผสม (Hybrid model) เป็นตัวแบบที่ใช้การรวมกันของตัวแบบเฉพาะบุคคลและตัวแบบไม่เฉพาะบุคคล ดังนั้นการสร้างตัวแบบใช้ทั้งข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้คนใดก็ได้ไม่เฉพาะเจาะจง ร่วมกับข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ที่ต้องการใช้ตัวแบบ จึงจำเป็นต้องให้ผู้ใช้งานตัวแบบทำการกิจกรรมต่าง ๆ ตามระยะเวลาที่กำหนด

ดังนั้นในบทความวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยต้องการนำเสนอตัวแบบรู้จำกิจกรรมแบบใหม่โดยใช้เพียงกระแสข้อมูลจาก Accelerometer sensor ของสมาร์ทโฟนเท่านั้น และตัวแบบที่นำเสนอนี้เป็นตัวแบบไม่เฉพาะบุคคลหรือตัวแบบสากล เพื่อเป็นตัวแบบกลางที่สามารถใช้กับบุคคลใดก็ได้ เมื่อผู้ใช้ใหม่นำไปใช้งานจริง ตัวแบบรู้จำที่นำเสนอสามารถปรับตัวแบบ (Adaptive model) ได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อให้เป็นตัวแบบรู้จำที่เข้ากับลักษณะการทำกิจกรรมของผู้ใช้คนนั้น โดยที่ผู้ใช้ใหม่ไม่ต้องเตรียมข้อมูลการทำกิจกรรมใด ๆ และไม่ต้องมีขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบใหม่ ซึ่งจะขอล่าวในรายละเอียดต่อไป

งานวิจัยการรู้จำกิจกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการรู้จำกิจกรรมด้วยข้อมูลจากตัวรับรู้ของสมาร์ทโฟนยังคงเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจและพัฒนาผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจากงานวิจัยที่เน้นการสร้างตัวแบบรู้จำเฉพาะบุคคล ได้แก่ งานวิจัยของ Gomes et al.² ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 2012 ที่พัฒนาวิธีการที่ชื่อว่า "MARS" โดยวิธีการนี้ สามารถรู้จำกิจกรรมจากข้อมูลกระแสที่ได้จาก Accelerometer sensor ของสมาร์ทโฟน ซึ่งวิธีการ MARS มีขั้นตอนการเรียนรู้ (Training phase) เพื่อสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม ดังนั้นผู้ใช้ต้องเก็บสมาร์ทโฟนไว้ที่กระเป๋ากางเกงที่ต้นขาด้านหน้า และทำการกิจกรรมทั้งหมด 5 กิจกรรม ได้แก่

เดิน (Walking), วิ่งเบา ๆ (Jogging), ปีนบันได (Climbing stairs), นั่ง (Sitting), และยืน (Standing) กิจกรรมละ 30 วินาที เพื่อใช้เป็นข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้สำหรับเรียนรู้ตัวแบบ จากนั้นใช้วิธี Naïve Bayes ในการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยวิธีการ MARS เน้นที่การสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมและเก็บข้อมูลไว้ในอุปกรณ์สมาร์ตโฟน (On-board device)

ในปี ค.ศ. 2014 งานวิจัยของ Lockhart และ Weiss³ ได้นำเสนอวิธีการที่ชื่อว่า "Actitracker" โดยวิธีการนี้มีขั้นตอนการเรียนรู้เช่นเดียวกับกับวิธีการ MARS เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้ที่ได้จาก Accelerometer sensor ของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน โดยให้ผู้ใช้เก็บสมาร์ตโฟนไว้ที่กระเป๋ากางเกงที่ต้นขาด้านหน้า และทำกิจกรรมทั้งหมด 7 กิจกรรม คล้ายกับวิธีการ MARS โดยการแยกการปีนบันได เป็นการขึ้นบันไดและลงบันได และเพิ่มกิจกรรมนอนนิ่ง (Lying down) ซึ่งผู้ใช้ต้องทำกิจกรรมละประมาณ 2-3 นาที จากนั้นข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้จะถูกส่งไปที่เครื่องแม่ข่ายเพื่อสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมด้วยวิธีจำแนกประเภทหลายวิธี แต่ Random Forest เป็นวิธีการที่ให้ผลการอนุมานการทำกิจกรรมที่ดีที่สุด

ส่วนงานวิจัยของ Uddin *et al.*⁴ ในปี ค.ศ.2016 ได้นำเสนอวิธีการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมโดยใช้การพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนกิจกรรม เช่น จากยืนไปนั่ง จากนั่งไปนอน จากนอนไปยืน เป็นต้น เช่นเดียวกับวิธีการอื่น กล่าวคือต้องให้ผู้ใช้ทำกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการเปลี่ยนกิจกรรม จากกิจกรรมหนึ่งเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งในรูปแบบต่าง ๆ โดยข้อมูลการทำกิจกรรมได้จาก Accelerometer sensor และ Gyroscope sensor ของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน จากนั้นจะนำข้อมูลไปสร้างตัวแบบด้วยวิธีการ Random Forest

ในส่วนของงานวิจัยที่เน้นการสร้างตัวแบบไม่เฉพาะบุคคล เช่น งานวิจัยของ Abdallah *et al.*⁵ เผยแพร่ในปี ค.ศ. 2015 ได้นำเสนอวิธีการ "STAR" ที่สามารถรู้จำกิจกรรมกับข้อมูลกระแสวิ่งเวลาที่ได้จาก Accelerometer sensor เพียงตัวรับรู้เดียวของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน วิธีการ STAR ไม่จำเป็นต้องให้ผู้ใช้ทำกิจกรรมต่าง ๆ เนื่องจากวิธีการ STAR ใช้ข้อมูลการทำกิจกรรมจากงานวิจัยของ Lockhart และ Weiss³ ในการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยเน้นที่ 5 กิจกรรมหลัก ได้แก่ เดิน วิ่งเบา ๆ ปีนบันได (รวมขึ้นและลงบันได) นั่ง และ ยืน ยกเว้นกิจกรรมการนอนนิ่ง ๆ นอกจากนี้วิธีการ STAR ใช้แนวคิด Active learning ในกรณีที่ตัวแบบรู้จำให้ผลการทำนายหรืออนุมานว่าผู้ใช้กำลังทำกิจกรรมอย่างน้อย 2 กิจกรรมในเวลาเดียวกัน จะต้องให้ผู้ใช้ยืนยันการทำกิจกรรมจริงในขณะนั้นผ่านแอปพลิเคชันของ STAR วิธีการ STAR

มีขั้นตอนการทำงานเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นขั้นตอนการสร้างตัวแบบรู้จำ (Modelling component) ที่เรียกว่า LM (Learning model) โดยนำข้อมูลการทำกิจกรรม (Annotated data) ของแต่ละกิจกรรม แบ่งเป็นกลุ่มย่อย (Clustering) ตามจำนวนกลุ่มที่กำหนด แล้วเก็บข้อมูลสรุป (Statistics summary) ของแต่ละกลุ่มย่อย ขั้นตอนในส่วนที่สอง คือการเรียนรู้จำกิจกรรมและปรับปรุงตัวแบบรู้จำ (Online recognition and adaption phase) เป็นขั้นตอนที่นำตัวแบบ LM มาใช้งานจริงบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน โดยข้อมูลกระแสที่ส่งมาอย่างต่อเนื่องจาก Accelerometer sensor ของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน จะถูกแบ่งออกเป็นหน้าต่าง (Window) ซึ่งข้อมูลกระแสในแต่ละหน้าต่างถูกแบ่งเป็นสองกลุ่มโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่ม Expectation Maximization (EM) กลุ่มที่มีข้อมูลมากที่สุดจะถูกนำไปจำแนกประเภทกิจกรรมด้วยมาตรวัด 4 ตัว ได้แก่ Distance, Gravity, Density และ Deviation ซึ่งถ้ามาตรวัด 3 ใน 4 มาตรวัดระบุเป็นกิจกรรมเดียวกัน จะปรับปรุงตัวแบบรู้จำ LM ด้วยวิธี Incremental learning แต่ถ้ามาตรวัดทั้ง 4 มาตรวัดระบุกิจกรรมแตกต่างกันจะใช้วิธี Active learning เพื่อให้ผู้ใช้ระบุกิจกรรมที่กำลังทำ จากนั้นจึงปรับค่าข้อมูลสรุปของกลุ่มย่อยของกิจกรรมที่ผู้ใช้ระบุกับข้อมูลกระแสที่เข้ามา

ในปี ค.ศ. 2018 งานวิจัยของ Jalal *et al.*⁶ ได้นำเสนอตัวแบบไม่เฉพาะบุคคลเช่นเดียวกัน ที่สามารถรู้จำกิจกรรมจากข้อมูลกระแสวิ่งเวลาที่ได้จาก Accelerometer sensor การทำนายหรืออนุมานว่าปัจจุบันผู้ใช้กำลังทำกิจกรรมใดในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบที่มีการทำงาน 3 ขั้นตอนตามลำดับ คือ ขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองมัธยฐาน (Median filter) อันดับ 3 จากนั้นสัญญาณที่ผ่านการกำจัดมาแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะแบบลำดับชั้น (Hierarchical features) ได้แก่ ขนาดของสัญญาณ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น และสุดท้ายเป็นขั้นตอนการนำคุณลักษณะที่สกัดได้จากสัญญาณมาสร้างเป็นตัวแบบสำหรับการจำแนกกิจกรรมด้วย Linear Support Vector Machine

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้การสร้างตัวแบบเฉพาะบุคคลจะได้ตัวแบบรู้จำกิจกรรมที่เหมาะสมกับคนคนนั้น แต่ด้วยข้อจำกัดที่สำคัญ คือ จำเป็นต้องให้ผู้ใช้ทำกิจกรรมเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบ ซึ่งถ้าผู้ใช้ทำกิจกรรมไม่ครบทุกกิจกรรมหรือไม่ครบตามเวลาที่กำหนด ก็จะไม่สามารสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมได้ หรือได้ตัวแบบรู้จำกิจกรรมที่ไม่สมบูรณ์ ต่างจากการสร้างตัวแบบรู้จำไม่เฉพาะบุคคลที่ผู้ใช้สามารถนำตัวแบบไปใช้งานได้ทันที จากนั้นตัวแบบรู้จำสามารถปรับปรุงตัวแบบอย่างอัตโนมัติเพื่อให้เป็น

ตัวแบบรู้จำสำหรับผู้ใช้แต่ละคนโดยเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแบบไม่เฉพาะบุคคล ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญที่อาจทำให้การทำนายหรืออนุมานกิจกรรมผิดพลาด อันเนื่องมาจากการใช้ข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้คนอื่นมาสร้างตัวแบบ ตัวอย่างเช่นกิจกรรมบางกิจกรรมมีความคล้ายคลึงกัน เช่น การขึ้นลงบันไดมีความคล้ายกับการเดิน เนื่องจากการขึ้นลงบันไดเป็นการเดินรูปแบบหนึ่ง สังเกตได้จาก Figure 1 เป็นการแสดงแผนภาพการกระจายของข้อมูลกิจกรรมการเดินและการขึ้นลงบันได จะเห็นว่าข้อมูลของกิจกรรมทั้งสองมีความทับซ้อนกัน (Overlapping data) การจำแนกกิจกรรมทั้งสองจึงเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ นอกจากนี้ตัวแบบรู้จำไม่เฉพาะบุคคลนั้นสร้างจากข้อมูลกิจกรรมของผู้ใช้คนใดก็ได้ ซึ่งถ้าข้อมูลการทำกิจกรรมที่ใช้สร้างตัวแบบแตกต่างกับข้อมูลของผู้ใช้งานตัวแบบมากเกินไป อาจทำให้ตัวแบบรู้จำที่สร้างขึ้นทำนายกิจกรรมผิดพลาดได้ จะเห็นได้จาก Figure 2 ที่เป็นแผนภาพการกระจายของข้อมูลกิจกรรมการยืน ถ้าการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรมใช้ข้อมูลผู้ใช้หมายเลข 27 ก็อาจไม่สามารถรู้จำกิจกรรมการยืนของผู้ใช้หมายเลข 36 ได้ เนื่องจากลักษณะข้อมูลกิจกรรมการยืนของผู้ใช้ทั้งสองคนแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากการจัดวางอุปกรณ์สมาร์ทโฟนในกระเป๋าที่แตกต่างกัน

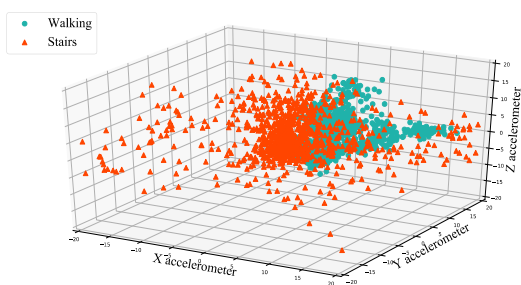


Figure 1 Accelerometer data of walking and stairs activities.

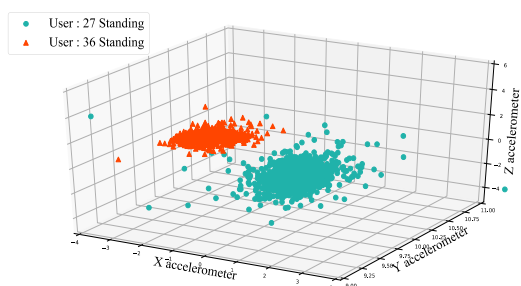


Figure 2 Standing activity data of two users.

กรอบแนวคิดที่นำเสนอ

เพื่อการแก้ปัญหาของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอตัวแบบรู้จำกิจกรรมแบบใหม่ชื่อว่า “ISAR+” (An improvement impersonal smartphone-based activity recognition using the accelerometer sensory data) ซึ่งเป็นตัวแบบรู้จำกิจกรรมไม่เฉพาะบุคคลที่พัฒนาต่อยอดมาจากการเดิมของผู้วิจัยเองที่ชื่อ ISAR⁷ โดยวิธีการ ISAR+ มีจุดเด่นดังนี้

(1) เป็นตัวแบบรู้จำไม่เฉพาะบุคคลหรือตัวแบบกลาง โดยผู้ใช้ใหม่ที่ต้องการใช้งานสามารถนำตัวแบบไปใช้งานได้ โดยไม่ต้องเตรียมข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบเอง และไม่ต้องมีขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบใหม่ ทั้งนี้เพราะวิธีการ ISAR+ เป็นตัวแบบรู้จำที่สามารถปรับตัวแบบให้เหมาะสมกับลักษณะการทำกิจกรรมของผู้ใช้ใหม่แต่ละบุคคลได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบเพิ่มขึ้น (Incremental learning) และวิธีการ ISAR+ ไม่มีส่วนของการทำ Active learning

(2) เป็นตัวแบบรู้จำที่มีน้ำหนักเบา (Light-weight recognition model) เนื่องจากใช้ข้อมูลที่ได้จาก Accelerometer sensor เพียงตัวรับรู้เดียวเท่านั้นในการสร้างตัวแบบ ดังนั้นตัวแบบที่นำเสนอจึงที่สามารถติดตั้งภายในอุปกรณ์สมาร์ทโฟน และสามารถรู้จำกิจกรรมแบบเวลาจริงได้

วิธีการ ISAR+ มีกรอบแนวคิดแสดงดัง Figure 3 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนออฟไลน์สำหรับสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Modeling component) และขั้นตอนออนไลน์สำหรับรู้จำกิจกรรมและปรับปรุงตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Recognition component)

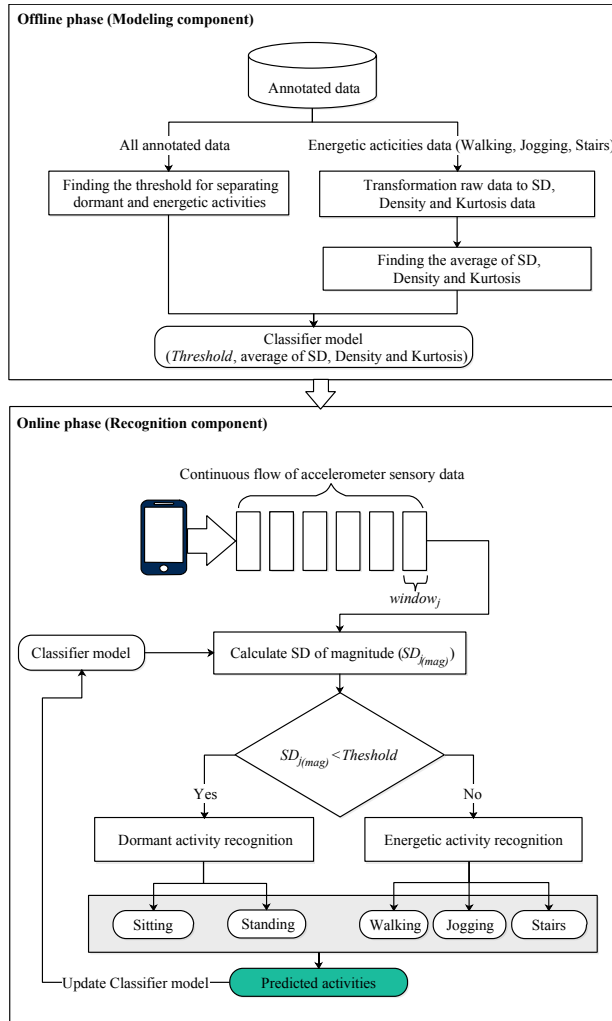


Figure 3 An improvement impersonal smartphone-based activity recognition using the accelerometer sensory data (ISAR+).

วิธีการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ

วิธีการ ISAR+ ใช้ข้อมูลการทำกิจกรรมที่เป็นข้อมูลสาธารณะ (Public data) ได้แก่ 1) ข้อมูล WISDM^{3,8} ที่เก็บการทำกิจกรรมของอาสาสมัครจำนวน 36 คน ด้วยการใช้แอปพลิเคชันที่สามารถตรวจจับสัญญาณ Accelerometer sensor ของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน โดยให้อาสาสมัครทั้ง 36 คน ใส่อุปกรณ์สมาร์ตโฟนไว้ในกระเป๋าทางเกงด้านหน้า ซึ่งตั้งค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างของข้อมูลเท่ากับ 20 Hz และทำกิจกรรมต่าง ๆ ตัวอย่างข้อมูลแสดงดัง Figure 4 และ 2) ข้อมูล UniMiB-SHAR⁹ ที่บันทึกการทำกิจกรรมของอาสาสมัครจำนวน 30 คน ด้วยการใช้แอปพลิเคชันที่สามารถตรวจจับค่า Accelerometer sensor ของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน โดยให้อาสาสมัครทั้ง 30 คน ใส่อุปกรณ์สมาร์ตโฟนไว้ในกระเป๋าทาง

ด้านหน้า ซึ่งตั้งค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างของข้อมูลเท่ากับ 50 Hz และทำกิจกรรมทางกายภาพต่าง ๆ ตัวอย่างข้อมูลดัง Figure 5

เนื่องจากข้อมูลสาธารณะที่นำมาใช้สร้างตัวแบบรู้จักกิจกรรม มีกิจกรรมนอนนิ่งเพียงกิจกรรมเดียวที่อาสาสมัครไม่ได้ทำทุกคน จึงทำให้กิจกรรมนี้มีจำนวนตัวอย่างที่จำนวนน้อยกว่ากิจกรรมอื่น ๆ หากนำข้อมูลกิจกรรมนอนนิ่งมาใช้สร้างตัวแบบอาจทำให้ได้ตัวแบบที่รู้จักกิจกรรมผิดพลาดได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการสร้างตัวแบบรู้จักกิจกรรมเพียง 5 กิจกรรม ได้แก่ นั่ง ยืน เดิน วิ่ง และขึ้นลงบันได เช่นเดียวกับกับวิธีการ STAR และงานวิจัย⁶ ดังนั้นจำนวนตัวอย่างของแต่ละกิจกรรมที่ใช้ในการสร้างตัวแบบแสดงใน Table 1

Sample	User	Lable	Timestamp	ax	ay	az
s ₁	27	Walking	10401072248	4.21	7.97	-2.07
s ₂	27	Walking	10401172376	0.95	8.47	0.65
s ₃	27	Walking	10401322278	4.21	15.79	0.99
s ₄	27	Walking	10401372327	1.65	13.53	-0.69
s ₅	27	Walking	10401422315	-2.34	13.48	1.45
s ₆	27	Walking	10401472303	-0.76	10.27	-0.84
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
s _i	27	Walking	⋮	ax _i	ay _i	az _i
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
s _N	27	Walking	⋮	ax _N	ay _N	az _N

Figure 4 The example of annotated data of walking activity data provided by WISDM.

Sample	User	Lable	ax	ay	az
s ₁	13	Standing	-1.88	9.85	-0.23
s ₂	13	Standing	-0.19	9.92	-0.57
s ₃	13	Standing	-0.61	10.27	-0.88
s ₄	13	Standing	-0.11	9.58	2.49
s ₅	13	Standing	-0.72	9.89	2.41
s ₆	13	Standing	-0.53	9.34	2.49
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
s _i	13	Standing	ax _i	ay _i	az _i
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
s _N	13	Standing	ax _N	ay _N	az _N

Figure 5 The example of annotated data of standing activity data provided by UniMiB-SHAR.

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วิธีการ ISAR+ ประกอบไปด้วย ขั้นตอนออฟไลน์สำหรับสร้างตัวแบบรู้จักกิจกรรม และขั้นตอนออนไลน์สำหรับรู้จักกิจกรรมและปรับปรุงตัวแบบ โดยงานวิจัยนี้ได้เน้นการสร้างตัวแบบรู้จักกิจกรรมทางกายภาพ ได้แก่ เดิน นั่ง ยืน วิ่งเบา ๆ และขึ้นลงบันได

Table 1 The number of samples for each activity provided by WISDM and UniMiB-SHAR

Activity	The number of samples	
	WISDM	UniMiB-SHAR
Standing	38,520	319,550
Sitting	50,000	405,350
Walking	223,300	482,900
Jogging	129,900	395,200
Up-Down Stairs	177,100	245,500

เนื่องจากเป็นกิจกรรมพื้นฐานของมนุษย์ วิธีการ ISAR+ แบ่งประเภทของกิจกรรมออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกเป็นกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายเล็กน้อย ได้แก่ ยืน และนั่ง เรียกกิจกรรมกลุ่มนี้ว่า “กิจกรรมแบบอยู่นิ่ง (Dormant activities)” กลุ่มที่สองเป็นกิจกรรมที่เคลื่อนไหวร่างกายค่อนข้างมากหรือการขยับร่างกายอย่างรวดเร็ว ได้แก่ เดิน วิ่ง และขึ้นลงบันได เรียกกลุ่มกิจกรรมนี้ว่า “กิจกรรมแบบเคลื่อนไหว (Energetic activities)” รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนตามกรอบแนวคิดดังนี้

1. ขั้นตอนออฟไลน์ เป็นขั้นตอนสำหรับสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม หรือ Classifier Model (CM) ดังแสดงใน Algorithm 1

กำหนดให้ *act* เป็นเซตของกิจกรรมต่าง ๆ แต่ละ *act* ประกอบด้วยเซตของตัวอย่าง (Sample) $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_i, \dots, s_N\}$ โดยที่ N หมายถึงจำนวนตัวอย่างของแต่ละ *act* และ s_i นิยามเป็น 4-tuple คือ (ax_i, ay_i, az_i, t_i) ซึ่ง ax_i, ay_i, az_i คือค่า Accelerometer ตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ หมายถึง t_i ชนิดของกิจกรรม (Activity Label)

จาก Algorithm 1 เริ่มต้นจากการหาค่าขีดแบ่ง Threshold เพื่อใช้สำหรับแยกประเภทของข้อมูลกิจกรรมดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นจาก Figure 6 และ Figure 7 จะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นข้อมูลของค่า Accelerometer ทั้ง 3 แกนของกิจกรรมทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กิจกรรมแบบนิ่ง ลักษณะเส้นข้อมูลของค่า Accelerometer มีการแกว่งน้อยมากหรือเกือบคงที่ และมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย เนื่องจากกิจกรรมกลุ่มนี้มีการเคลื่อนไหวน้อย ทำให้ไม่มีผลต่อค่า Accelerometer ตรงกันข้ามกับกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว ที่เส้นข้อมูลมีลักษณะแกว่งขึ้นลงมาก และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่สูง เนื่องจากกิจกรรมกลุ่มนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า Accelerometer ตลอดเวลา

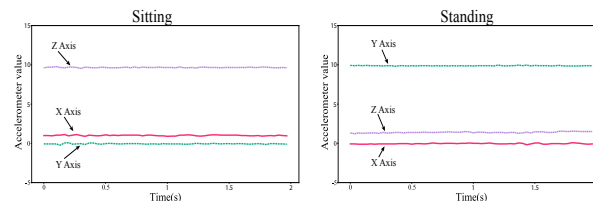


Figure 6 Accelerometer lines of dormant activities.

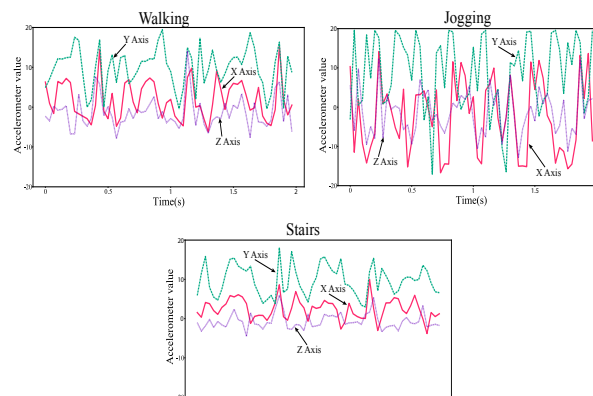


Figure 7 Accelerometer lines of energetic activities.

ดังนั้นการหาค่าขีดแบ่ง Threshold เริ่มจากพิจารณาแต่ละ *act* โดยคำนวณค่า Magnitude (M_i) ของแต่ละตัวอย่าง s_i ด้วย Equation 1 จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า Magnitude (M_i) ของแต่ละ window j (M_j) โดย 1 window มีจำนวนตัวอย่างเท่ากับอัตราการสุ่มของข้อมูลที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละ window j โดยใช้ Equation 2 ซึ่งจะทำได้ค่า $SD_{j(mag)}^{act}$

$$M_i = \sqrt{ax_i^2 + ay_i^2 + az_i^2} \tag{1}$$

โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ซึ่ง n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมดภายใน window ที่ j

$$SD_{j(mag)}^{act} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M}_j)^2} \tag{2}$$

Algorithm 1: ISAR+ model : Offline phase (Modeling component)

```

/*  $N_C$  = the set of annotated data of
all activities. */
/*  $CM = \{Std_{CM}^{act}, Dens_{CM}^{act}, Kurt_{CM}^{act}\}$  when  $act$ 
are walking, jogging and stairs. */
/*  $Threshold$  = the separating dormant
and energetic activities. */
/*  $J$  = the number of window. */
/*  $n$  = the number of data in window. */
Input :  $N_C$ .
Output:  $CM, Threshold$ .
1 for each  $act$  in annotated data do
  /*  $act = (sitting, standing, walking,$ 
  jogging, stairs) */
2 for each window  $j$  do
  /*  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  */
3   Compute  $M_i$  for each sample using eq. (1)
  /*  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  */
4   Compute average magnitude  $\bar{M}_j$  of window  $j$ .
5   Compute standard deviation  $SD_{j(mag)}^{act}$  using eq.
  (2).
6 end
7 end
8 Find the maximum of standard deviation of dormant
activities  $SD_{max}$  using eq. (3).
9 Find the minimum of standard deviation of energetic
activities  $SD_{min}$  using eq. (4).
10 Compute  $Threshold = \frac{SD_{max} + SD_{min}}{2}$ .
11 for each energetic activity  $act$  do
  /*  $act = (walking, jogging, stairs)$ 
  */
12 for each window  $j$  do
  /*  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  */
13   Compute the standard deviation of each
  acceleration values using eq. (6)-(8).
14   Compute the density of each acceleration values
  using eq. (9)-(11).
15   Compute the kurtosis of each acceleration values
  using eq. (12)-(14).
16 end
17   Compute average of standard deviation using eq.
  (15)-(17) then set  $SD_{CM}^{act}$  using eq. (24)
18   Compute average of density using eq. (18)-(20) then
  set  $Dens_{CM}^{act}$  using eq. (25)
19   Compute average of kurtosis using eq. (21)-(23) then
  set  $Kurt_{CM}^{act}$  using eq. (26)
20   Add  $SD_{CM}^{act}$ ,  $Dens_{CM}^{act}$  and  $Kurt_{CM}^{act}$  to the  $CM$ .
21 end

```

หาค่า SD ที่มากที่สุดของกิจกรรมแบบหนึ่ง (SD_{max})

$$SD_{max} = \max \{SD_{j(mag)}^{act}\} \\ : act \in \{sitting, standing\} \quad (3)$$

หาค่า SD ที่น้อยที่สุดของกิจกรรมเคลื่อนไหว (SD_{min})

$$SD_{min} = \min \{SD_{j(mag)}^{act}\} \\ : act \in \{walking, jogging, stairs\} \quad (4)$$

คำนวณค่าขีดแบ่ง $Threshold$ ดังนี้

$$Threshold = \frac{SD_{max} + SD_{min}}{2} \quad (5)$$

จาก Figure 8 แสดงให้เห็นว่าค่าขีดแบ่ง $Threshold$ ที่คำนวณได้สามารถแยกประเภทกิจกรรมทั้งสองกลุ่มได้ ซึ่งค่า $Threshold$ นี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนออนไลน์

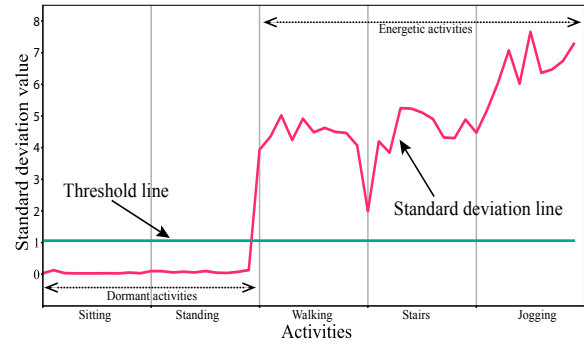


Figure 8 The threshold line.

จากนั้นเมื่อนำข้อมูลค่า Accelerometer ทั้ง 3 แกน ของกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว โดยให้แสดงเป็นแผนภาพ การกระจายตัวดัง Figure 9 คณะผู้วิจัยพบว่า ข้อมูลแต่ละ กิจกรรมซ้อนทับกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 3 กิจกรรม มีลักษณะคล้ายกัน เช่นการเดินขึ้นลงบันไดก็ถือว่าการเดิน ในรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นถ้านำข้อมูลชุดนี้ไปสร้างตัวแบบรู้จำ กิจกรรม จะทำให้ได้ตัวแบบที่ทำนายหรืออนุมานการทำ กิจกรรมปัจจุบันผิดพลาดได้ แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียด อื่น กลับพบว่าแม้ข้อมูลจะทับซ้อนกัน แต่มีการกระจายตัว ที่แตกต่างกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานขึ้นว่า การ แปลงข้อมูลของค่า Accelerometer ทั้ง 3 แกน ของแต่ละ act ไปเป็นค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละแกน ในแต่ละ window สามารถแยกข้อมูลของแต่ละกิจกรรม ได้ดีขึ้น ซึ่งการแปลงข้อมูลกิจกรรมทำได้โดยใช้ Equations 6, 7 และ 8

$$SD_{j(ax)}^{act} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ax_i - \bar{ax}_j)^2} \quad (6)$$

$$SD_{j(ay)}^{act} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ay_i - \bar{ay}_j)^2} \quad (7)$$

$$SD_{j(az)}^{act} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (az_i - \overline{az}_j)^2} \quad (8)$$

โดยที่ $\overline{ax}_j, \overline{ay}_j, \overline{az}_j$ คือค่าเฉลี่ยของค่า Accelerometer ของตัวอย่าง s_i ตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ซึ่ง n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมดภายใน window ที่ j

จาก Figure 10 เป็นผลลัพธ์จากการแปลงข้อมูลค่า Accelerometer ของทั้ง 3 กิจกรรม ไปเป็นค่าของ SD ในแต่ละ window จะเห็นได้ว่ากลุ่มข้อมูลแต่ละกิจกรรมที่เคยทับซ้อนกัน สามารถแยกเป็นกลุ่มออกจากกันได้ ซึ่งจะส่งผลให้การจำแนกข้อมูลกิจกรรมสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

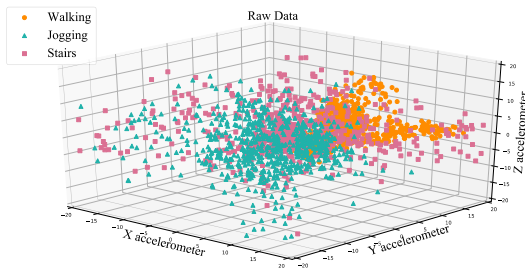


Figure 9 Accelerometer data of energetic activities.

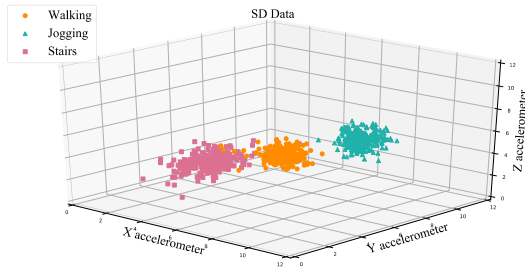


Figure 10 SD data of energetic activities.

นอกจากนี้ในวิธีการ ISAR+ มีการแปลงข้อมูลค่า Accelerometer ตามแกน X, Y และ Z ของแต่ละ act ในแต่ละ window j เป็นข้อมูลความหนาแน่น ($Dens_{j(ax)}^{act}, Dens_{j(ay)}^{act}, Dens_{j(az)}^{act}$) และความโค้ง ($Kurt_{j(ax)}^{act}, Kurt_{j(ay)}^{act}, Kurt_{j(az)}^{act}$) อีกด้วย เพื่อใช้เป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการทำนายหรืออนุมานการทำกิจกรรมของขั้นตอนการปรับปรุงตัวแบบรู้จำกิจกรรมในขั้นตอนออนไลน์ ซึ่งมีวิธีการคำนวณดัง Equation 9 ถึง Equation 14

$$Dens_{j(ax)}^{act} = \frac{n}{ax_{max} - ax_{min}} \quad (9)$$

$$Dens_{j(ay)}^{act} = \frac{n}{ay_{max} - ay_{min}} \quad (10)$$

$$Dens_{j(az)}^{act} = \frac{n}{az_{max} - az_{min}} \quad (11)$$

$$Kurt_{j(ax)}^{act} = \frac{\sum_{i=1}^n (ax_i - \overline{ax}_j)^4}{(\sum_{i=1}^n (ax_i - \overline{ax}_j)^2)^2} \quad (12)$$

$$Kurt_{j(ay)}^{act} = \frac{\sum_{i=1}^n (ay_i - \overline{ay}_j)^4}{(\sum_{i=1}^n (ay_i - \overline{ay}_j)^2)^2} \quad (13)$$

$$Kurt_{j(az)}^{act} = \frac{\sum_{i=1}^n (az_i - \overline{az}_j)^4}{(\sum_{i=1}^n (az_i - \overline{az}_j)^2)^2} \quad (14)$$

สุดท้ายคำนวณหาค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความหนาแน่น และความโค้งของแต่ละกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว สามารถคำนวณได้จาก Equation 15 ถึง Equation 23 จากนั้นจะได้ Classifier model (CM) เพื่อเก็บข้อมูลสรุปได้แก่ ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD_{CM}^{act}) ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น ($Dens_{CM}^{act}$) และค่าเฉลี่ยของความโค้ง ($Kurt_{CM}^{act}$) ดัง Equation 24 ถึง Equation 26

ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแกน X, Y และ Z

$$SD_{avg(ax)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J SD_{j(ax)}^{act}}{J} \quad (15)$$

$$SD_{avg(ay)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J SD_{j(ay)}^{act}}{J} \quad (16)$$

$$SD_{avg(az)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J SD_{j(az)}^{act}}{J} \quad (17)$$

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นตามแกน X, Y และ Z

$$Dens_{avg(ax)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Dens_{j(ax)}^{act}}{J} \quad (18)$$

$$Dens_{avg(ay)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Dens_{j(ay)}^{act}}{J} \quad (19)$$

$$Dens_{avg(az)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Dens_{j(az)}^{act}}{J} \quad (20)$$

ค่าเฉลี่ยความโค้งตามแกน X, Y และ Z

$$Kurt_{avg(ax)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Kurt_{j(ax)}^{act}}{J} \quad (21)$$

$$Kurt_{avg(ay)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Kurt_{j(ay)}^{act}}{J} \quad (22)$$

$$Kurt_{avg(az)}^{act} = \frac{\sum_{j=1}^J Kurt_{j(az)}^{act}}{J} \quad (23)$$

โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, J$ และ J คือจำนวน window ทั้งหมดของหนึ่งกิจกรรม (*act*)

$$SD_{CM}^{act} = (SD_{avg(ax)}^{act}, SD_{avg(ay)}^{act}, SD_{avg(az)}^{act}) \quad (24)$$

$$Dens_{CM}^{act} = (Dens_{avg(ax)}^{act}, Dens_{avg(ay)}^{act}, Dens_{avg(az)}^{act}) \quad (25)$$

$$Kurt_{CM}^{act} = (Kurt_{avg(ax)}^{act}, Kurt_{avg(ay)}^{act}, Kurt_{avg(az)}^{act}) \quad (26)$$

ขั้นตอนออนไลน์

ภาพรวมการทำงานของขั้นตอนออนไลน์แสดงได้ดัง Figure 3 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการรู้จักกิจกรรมและปรับตัวแบบกับข้อมูลกระแสวิงเวลาที่ผลิตอย่างต่อเนื่องจากตัวรับรู้ Accelerometer ของสมาร์ตโฟน โดยการจัดการกับข้อมูลกระแสจะนำเข้ามาข้อมูลกระแสทีละ window ซึ่งจำนวนตัวอย่างภายใน window จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราสุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์สมาร์ตโฟน การทำงานของขั้นตอนนี้แสดงใน Algorithm 2 รวมถึงการปรับปรุงตัวแบบรู้จักกิจกรรมใน Algorithm 3

ใน Algorithm 2 เริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลค่า Accelerometer ของตัวอย่างภายใน window เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Magnitude ($SD_{j(mag)}$) เพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลกระแสที่เข้ามาเป็นกิจกรรมแบบหนึ่งหรือแบบเคลื่อนไหว โดยเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง *Threshold* ที่คำนวณไว้แล้วในขั้นตอนออฟไลน์ ในการจำแนกประเภทกิจกรรมว่าเป็นกิจกรรมแบบหนึ่งหรือเป็นกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว มีเกณฑ์ดังนี้

ถ้า $SD_{j(mag)} < Threshold$ แสดงว่าข้อมูลกระแสที่นำเข้ามาเป็นกิจกรรมแบบหนึ่ง

แต่ถ้า $SD_{j(mag)} > Threshold$ แสดงว่าข้อมูลกระแสที่นำเข้ามาจะเป็นกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว

Algorithm 2: ISAR+ model : Online phase (Recognition component)

```

/*  $S_{\zeta}$  = the set of non-stationary streaming data.
*/
/*  $CM = \{SD_{CM}^{act}, Dens_{CM}^{act}, Kurt_{CM}^{act}\}$  when act are walking, jogging and stairs.
*/
/* Threshold = the separating dormant and energetic activities.
*/
/*  $J$  = the number of window.
*/
/*  $n$  = the number of data in window.
*/
Input :  $S_{\zeta}, CM, Threshold.$ 
Output:  $P_{act}.$ 
1 while  $S_{\zeta}$  is not empty do
2   for each fixed size window  $j$  do
3     /*  $j = 1, 2, \dots, J$ 
4     Compute  $M_i$  using eq. (1) of each sample in window  $j.$ 
5     /*  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 
6     Compute average  $\bar{M}_j$  of window  $j.$ 
7     Compute standard deviation
8      $SD_{j(mag)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M}_j)^2}$ 
9     if  $SD_{j(mag)} < Threshold$  then
10      Compute the average values ( $\bar{ax}_j, \bar{ay}_j, \bar{az}_j$ ) of each acceleration values  $x, y,$  and  $z.$ 
11      Compute  $Dist(\bar{ax}, \bar{ay})$  and  $Dist(\bar{ax}, \bar{az})$  using eq. (27) and (28)
12      if  $Dist(\bar{ax}, \bar{ay}) > Dist(\bar{ax}, \bar{az})$  then
13         $P_{act} = standing$ 
14      else
15         $P_{act} = sitting$ 
16      end
17    else
18      Compute the average values ( $\bar{ax}_j, \bar{ay}_j, \bar{az}_j$ ) of each acceleration values  $x, y,$  and  $z.$ 
19      Compute the standard deviation of each acceleration values  $SD_{j(ax)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ax - \bar{ax})^2},$ 
20       $SD_{j(ay)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ay - \bar{ay})^2}, SD_{j(az)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (az - \bar{az})^2}$  then set to  $SD_j$ 
21       $SD_j = (SD_{j(ax)}, SD_{j(ay)}, SD_{j(az)})$ 
22      Find the nearest activity act such that
23       $Predicted = argmin_{act} (\|SD_j - SD_{CM}^{act}\|)$ 
24      /*  $act \in [walking, jogging, stairs]$ 
25      Set the activity of Predicted to  $P_{act}.$ 
26    end
27  end
28 end

```

ในการรู้จักกิจกรรมแบบหนึ่ง (Dormant activities recognition) เนื่องจากกิจกรรมแบบหนึ่ง หมายถึงกิจกรรมที่มีการขยับร่างกายน้อย ได้แก่ การยืนและการนั่ง ดังนั้นการจำแนกกิจกรรมว่าจะเป็นการยืนหรือการนั่ง จะจำแนกจากลักษณะเส้นข้อมูลของค่า Accelerometer ดังแสดงใน Figure 11 และ Figure 12

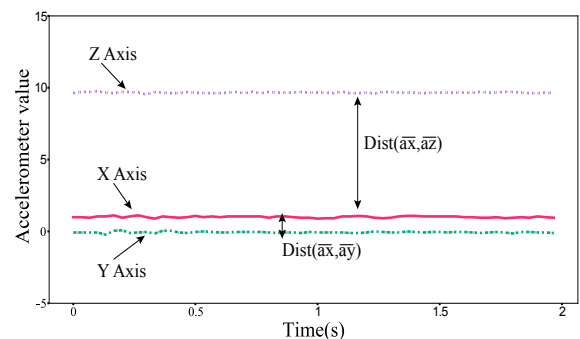


Figure 11 The accelerometer lines of sitting activity.

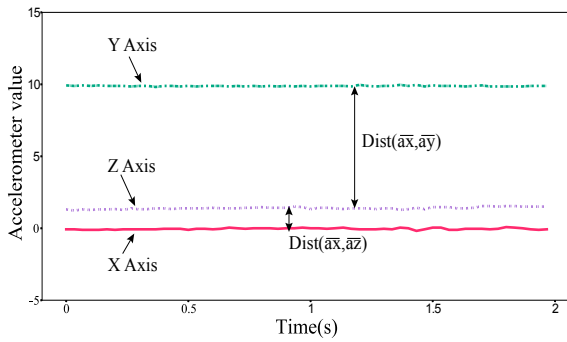


Figure 12 The accelerometer lines of standing activity.

จาก Figure 11 และ Figure 12 เป็นการแสดงลักษณะค่า Accelerometer ตามแนวแกน X, Y และ Z ของการยืนและการนั่ง ซึ่งจะสังเกตว่าในกิจกรรมการยืนค่า Accelerometer ตามแนวแกน Y จะมีค่าที่ห่างจาก Accelerometer ตามแนวแกน X และ Z อย่างเห็นได้ชัด ส่วนกิจกรรมการนั่งจะมีค่า Accelerometer ตามแนวแกน Z ห่างจากค่า Accelerometer ตามแนวแกน X และ Y อย่างชัดเจน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในขณะที่เรานั่งหรือยืน จะมีความแรงที่เกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่แตกต่างกันในแต่ละแกน จากข้อสังเกตนี้จึงได้ใช้ระยะห่างของค่า Accelerometer ตามแนวแกน Y และ Z ที่มีต่อค่า Accelerometer ตามแนวแกน X มาใช้ในการจำแนกว่าข้อมูลนั้นเป็นการยืนหรือการนั่ง ซึ่งเหตุผลที่ให้ค่า Accelerometer ตามแนวแกน X เป็นข้อมูลหลักในการวัดระยะห่าง เพราะไม่ว่าจะเป็นการยืนหรือการนั่ง ค่า Accelerometer ตามแนวแกน X จะมีลักษณะเหมือนกันคือเข้าใกล้ 0 ต่างจากค่า Accelerometer ตามแนวแกน Y และ Z ที่เปลี่ยนไปตามแต่กิจกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การจำแนกกิจกรรมแบบหนึ่งดัง Equation 29 และ Equation 30

$$Dist(\bar{ax}, \bar{ay}) = \sqrt{(\bar{ax} - \bar{ay})^2} \quad (27)$$

$$Dist(\bar{ax}, \bar{az}) = \sqrt{(\bar{ax} - \bar{az})^2} \quad (28)$$

เงื่อนไขสำหรับตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาเป็นการยืน

$$\text{if } Dist(\bar{ax}, \bar{ay}) > Dist(\bar{ax}, \bar{az}) \text{ then} \\ P_{act} = \text{Standing} \quad (29)$$

เงื่อนไขสำหรับตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาเป็นการนั่ง

$$\text{if } Dist(\bar{ax}, \bar{ay}) < Dist(\bar{ax}, \bar{az}) \text{ then} \\ P_{act} = \text{Standing} \quad (30)$$

สำหรับการรู้จำกิจกรรมแบบเคลื่อนไหว (Energetic activities recognition) จำแนกด้วยการคำนวณ SD ของข้อมูลที่เข้ามาใหม่ในแต่ละ window โดยใช้ Equation 6 ถึง Equation 8 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย SD แต่ละกิจกรรมที่อยู่ใน CM ซึ่งสามารถคำนวณได้ดัง Equation 31

$$\text{Predicted} = \arg \min_{act} (\|SD_j - SD_{CM}^{act}\|) \\ : act \in [\text{walking, jogging, stairs}] \quad (31)$$

เมื่อสามารถทำนายหรืออนุมานได้แล้วว่า ข้อมูลกระแสใน window j เป็นการทำกิจกรรมอะไร ขั้นตอนต่อมาจะตรวจสอบว่าต้องปรับปรุงตัวแบบรู้จำกิจกรรม CM หรือไม่ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมกับลักษณะการทำกิจกรรมของผู้ใช้ ตามการทำงานของ **Algorithm 3** โดยการคำนวณความหนาแน่น ($Dens_j$) และความโด่ง ($Kurt_j$) ในแต่ละแกนของข้อมูลกระแสใน window j จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ใน CM ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับตอนที่ทำการรู้จำกิจกรรมด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นจะพิจารณากิจกรรมที่ระบุด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD_{vote}) ความหนาแน่น ($Dens_{vote}$) และความโด่ง ($Kurt_{vote}$) ถ้าหากทั้ง 3 วิธีระบุเป็นกิจกรรมเดียวกันก็จะทำการปรับปรุงตัวแบบรู้จำกิจกรรมด้วย Equation 32 ถึง Equation 34

การปรับปรุงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภายใน CM

$$newSD_{CM}^{act} = \frac{SD_{CM}^{act} + SD_j}{2} \quad (32)$$

การปรับปรุงความหนาแน่นภายใน CM

$$newDens_{CM}^{act} = \frac{Dens_{CM}^{act} + Dens_j}{2} \quad (33)$$

การปรับปรุงความโด่งภายใน CM

$$newKurt_{CM}^{act} = \frac{Kurt_{CM}^{act} + Kurt_j}{2} \quad (34)$$

Algorithm 3: ISAR+ model : Online phase (Adaptation component)

```

/* windowj = the set of accelerometer sensor data
when j = 1, 2, 3, ..., J. */
/* CM = {SDCMact, DensCMact, KurtCMact} when act are
walking, jogging and stairs. */
/* Pact = The predicted activities. */
/* J = the number of window. */
/* n = the number of data in window. */
Input : windowj, CM, SDj, Pact.
Output: The new CM.
1 Set SDvote = Pact.
2 Compute the density of each acceleration values in windowj such that
   Densj(ax)} =  $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ax - \bar{ax})^2}$ , Densj(ay)} =
    $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ay - \bar{ay})^2}$ , Densj(az)} =  $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (az - \bar{az})^2}$ 
   then set to Densj
   Densj = (Densj(ax)}, Densj(ay)}, Densj(az)})
3 Compute the kurtosis of each acceleration values in windowj such that
   Kurtj(ax)} =  $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ax - \bar{ax})^2}$ , Kurtj(ay)} =
    $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ay - \bar{ay})^2}$ , Kurtj(az)} =  $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (az - \bar{az})^2}$ 
   then set to Kurtj
   Kurtj = (Kurtj(ax)}, Kurtj(ay)}, Kurtj(az)})
4 Find the nearest activity act with density and kurtosis such that
   Densvote = argminact(||Densj - DensCMact||)
   Kurtvote = argminact(||Kurtj - KurtCMact||)
   /* act ∈ [walking, jogging, stairs] */
5 if SDvote, Densvote and Kurtvote are same activity then
6   Update CM with calculate
   newSDCMact, newDensCMact, newKurtCMact using eq.(32)-(34).
   Set CM = {newSDCMact, newDensCMact, newKurtCMact}.
7 else
8   Not update CM
9 end

```

ผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะวัดประสิทธิผลในด้านความถูกต้องในการทำนายหรืออนุมานกิจกรรมของตัวแบบและประสิทธิภาพด้านเวลาของตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยขั้นตอนการรู้จำกิจกรรมของวิธีการที่นำเสนอ ISAR+ เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ วิธีการ STAR⁵ วิธีการจากงานวิจัย⁶ และวิธีการ ISAR⁷ โดยใช้ข้อมูล WISDM และข้อมูล UniMiB-SHAR เนื่องจากงานวิจัยนี้มี การทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบรู้จำกิจกรรมที่สร้างขึ้นกับวิธีการ STAR ซึ่งวิธีการ STAR มีทั้ง STAR (without Active learning) และ STAR (with Active learning) ดังนั้นการจำลองวิธีการ STAR ที่มี Active learning ทำได้โดยใช้คำตอบที่ได้จากชุดข้อมูลทดสอบแทนคำตอบที่ได้จากผู้ใช้ ส่วนวิธีการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องและความแม่นยำของการรู้จำกิจกรรมงานวิจัยนี้ใช้มาตรวัดหลายวิธี ได้แก่ Precision, Recall, F-measure และ Accuracy

Precision เป็นการวัดความแม่นยำของตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยวัดจากจำนวนที่ตัวแบบรู้จำกิจกรรมทำนายถูกต้องและเป็นกิจกรรมที่กำลังพิจารณาว่ามีอัตราส่วนเท่าไรกับจำนวนกิจกรรมที่ถูกทำนายเป็นกิจกรรมที่กำลังพิจารณาทั้งหมดสามารถคำนวณจาก Equation 35

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (35)$$

ส่วนการวัด Recall เป็นการวัดความถูกต้องของตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยวัดจากจำนวนที่ตัวแบบรู้จำกิจกรรมทำนายถูกต้องและเป็นกิจกรรมที่กำลังพิจารณาว่ามีอัตราส่วนเท่าไรกับจำนวนกิจกรรมที่กำลังพิจารณาทั้งหมด คำนวณโดยใช้ Equation 36

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (36)$$

มาตรวัด F-measure เป็นการวัดความถูกต้องและแม่นยำของตัวแบบรู้จำกิจกรรม โดยใช้ค่าเฉลี่ยของ Precision และ Recall คำนวณโดยใช้ Equation 37

$$F - measure = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (37)$$

ส่วนมาตรวัด Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของตัวแบบในการทำนายหรืออนุมานกิจกรรมที่กำลังทำ โดยจะพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ตัวแบบทำนายถูกต้องเทียบกับจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบตัวแบบ

$$Accuracy = \frac{TP}{Total\ Samples} \quad (38)$$

โดยที่ TP (True Positive) คือจำนวนครั้งที่ตัวแบบทำนายถูกต้องและตรงกันกับกิจกรรมที่กำลังทำ FP (False Positive) และ FN (False Negative) คือ จำนวนครั้งที่ตัวแบบทำนายไม่ถูกต้อง และไม่ตรงกันกับกิจกรรมที่กำลังทำ

การวัดประสิทธิภาพของตัวแบบรู้จำแต่ละวิธี ใช้วิธีการวัดที่เรียกว่า Leave-one-subject-out (LOSO) cross validation กล่าวคือใช้ข้อมูลการทำกิจกรรมทุกกิจกรรมของผู้ใช้ 1 คน เป็นข้อมูลชุดทดสอบ ส่วนข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้คนอื่นใช้สำหรับสร้างตัวแบบรู้จำ จากนั้นสลับข้อมูลการทำกิจกรรมของผู้ใช้แต่ละคนเป็นข้อมูลชุดทดสอบและข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบ ทำลักษณะเช่นนี้จนกว่าจะครบทุกคน

ผลการรู้จำกิจกรรมกับข้อมูล WISDM

ผลการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบรู้จำกิจกรรมด้วยมาตรวัด Precision, Recall และ F-measure แสดงดังกราฟใน Figure 14 ถึง Figure 16 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า วิธีการ ISAR+ มีประสิทธิภาพของการรู้จำกิจกรรมที่ดีที่สุดในทุก

กิจกรรมทั้ง 3 มาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมนั่ง ยืน และวิ่งเบา ๆ ที่มีค่าความแม่นยำมากกว่า 90% ส่วนกิจกรรมที่เป็นการเดินทางมีความแม่นยำเกิน 80% ทั้ง 3 มาตรฐาน และการขึ้นลงบันไดให้ผลการทำนายหรือการอนุมานการทำกิจกรรมที่น้อยกว่า 80% แต่ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการ STAR ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้อมูลกิจกรรมการขึ้นลงบันไดมีจำนวนตัวอย่างที่น้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลการทำกิจกรรมอย่างอื่น จึงทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่าข้อมูลที่ไม่สมดุล (Imbalance data) ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของตัวแบบ เมื่อพิจารณาในภาพรวมวิธีการ ISAR+ ยังมีความถูกต้อง (Accuracy) เฉลี่ยเท่ากับ 85.77% ซึ่งยังคงให้ผลความถูกต้องดีกว่าวิธีการอื่น แสดงได้ดัง Table 2

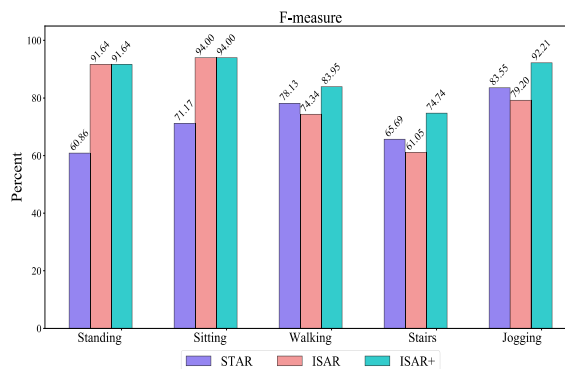


Figure 16 F-measure of activity recognition using WISDM dataset. Each model is represented in different colors.

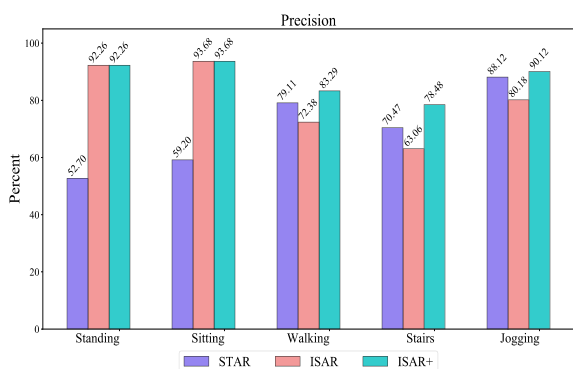


Figure 14 Precision of activity recognition using WISDM dataset. Each model is represented in different colors.

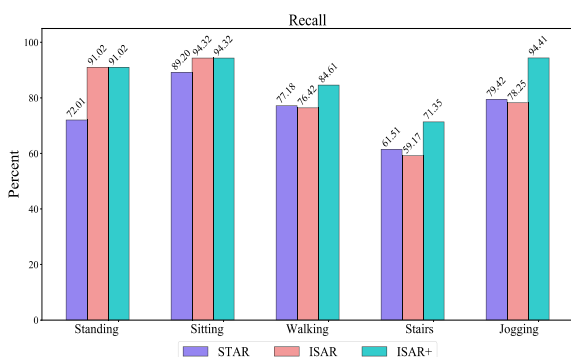


Figure 15 Recall of activity using WISDM dataset. Each model is represented in different colors.

Table 2 Results of applying ISAR+ versus state-of-the-art methods on WISDM dataset

Model	Accuracy
STAR without active learning ⁵	23.40%
STAR with active learning ⁵	77.29%
Research ⁶	82.77%
ISAR ⁷	75.67%
ISAR+	85.81%

ผลการรู้จำกิจกรรมกับข้อมูล UniMiB-SHAR

ผลการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบรู้จำกิจกรรมด้วยมาตรฐาน Precision, Recall และ F-measure แสดงดัง Figure 17 ถึง Figure 19 จะเห็นว่าวิธีการ ISAR+ มีประสิทธิภาพความแม่นยำที่ดีที่สุดของการทำนายหรือการอนุมานการทำกิจกรรมในทุกกิจกรรม โดยเฉพาะกิจกรรมที่เป็นการเดินทาง ยืน และวิ่งเบา ๆ ที่วิธีการ ISAR+ ให้ผลการทำนายหรืออนุมานกิจกรรมมีความแม่นยำที่สูงเกิน 90% เมื่อพิจารณาประเด็นความถูกต้องในการทำนายหรืออนุมานวิธีการ ISAR+ มีความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 88.03% และให้ผลความถูกต้องที่ดีที่สุดและดีกว่าวิธีการอื่นแสดงได้ดัง Table 3

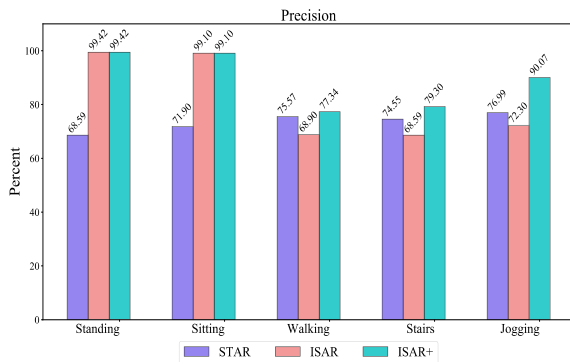


Figure 17 Precision of activity recognition on UniMiB-SHAR. Each model is represented in different colors.

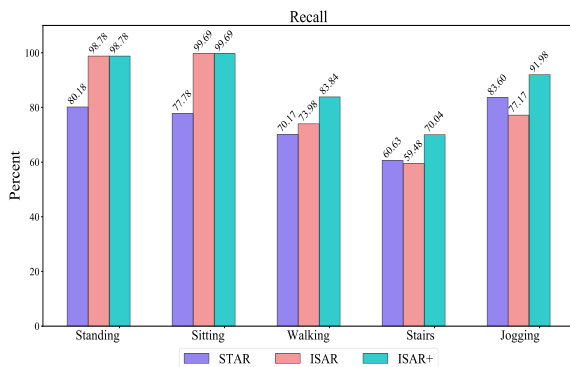


Figure 18 Recall of activity recognition on UniMiB-SHAR. Each model is represented in different colors.

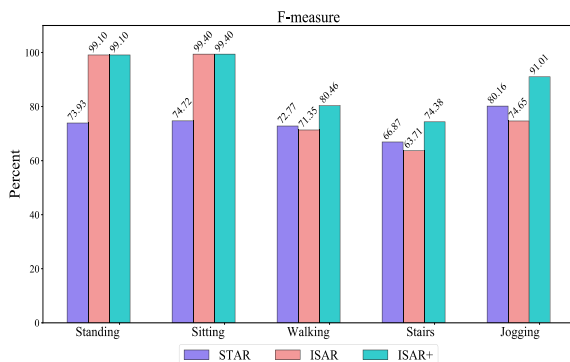


Figure 19 F-measure of activity recognition on UniMiB-SHAR. Each model is represented in different colors.

Table 3 Results of applying ISAR+ versus state-of-the-art methods on UniMiB-SHAR dataset

Model	Accuracy
STAR without active learning ⁵	22.29 %
STAR with active learning ⁵	73.31 %
ISAR ⁷	81.23 %
ISAR+	88.03 %

การวัดประสิทธิภาพด้านเวลาของตัวแบบ

การวัดประสิทธิภาพด้านเวลาของวิธีการที่นำเสนอ ISAR+ จะเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมของผู้วิจัยคือ วิธีการ ISAR และวิธีการ STAR ส่วนวิธีการจากงานวิจัยหมายเลข 6 ไม่ได้เปรียบเทียบ เนื่องจากลักษณะขั้นตอนวิธีไม่ได้เป็น 2 ขั้นตอน (ออฟไลน์และออนไลน์) เหมือนกับวิธีการ STAR

วิธีการ STAR ในขั้นตอนการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Modeling) ได้ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูล จึงทำให้มีความซับซ้อนเชิงเวลาคือ $O(KNl)$ โดยที่ K คือจำนวนกลุ่มในการแบ่งกลุ่มข้อมูล N คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูลทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม และ l คือ จำนวนการวนลูปในการแบ่งกลุ่มข้อมูลกิจกรรม ส่วนขั้นตอนการรู้จำกิจกรรม (Recognition) วิธีการ STAR ได้ใช้การแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มแล้วใช้มาตรวัดหลายตัวในการระบุกิจกรรม ซึ่งมีความซับซ้อนเชิงเวลาคือ $O(2nl) + O(Kn)$ โดยที่ n คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูลกิจกรรมภายใน 1 window (ขึ้นอยู่กับอัตราการสุ่มตัวอย่างของข้อมูลนั้น) และในขั้นตอนปรับปรุง ตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Update) วิธีการ STAR มีความซับซ้อนเชิงเวลา คือ $O(Kn)$

ส่วนวิธีการ ISAR ในขั้นตอนการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Modeling) ได้แปลงข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนนำไปแบ่งกลุ่มข้อมูล ซึ่งมีความซับซ้อนเชิงเวลา คือ $O(N) + O(KJl)$ โดยที่ J คือจำนวนของ window ขั้นตอนการรู้จำกิจกรรม (Recognition) วิธีการ ISAR ไม่ได้มีการแบ่งกลุ่มข้อมูล แต่ใช้เพียงหนึ่งมาตรวัดในการระบุกิจกรรมที่กำลังทำ จึงมีความซับซ้อนเชิงเวลา คือ $O(n)$

สุดท้ายวิธี ISAR+ ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ในขั้นตอนสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Modeling) ไม่มีการแบ่งกลุ่มข้อมูลเช่นเดียวกัน แต่มีการแปลงข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความโด่ง ความหนาแน่น ซึ่งมีความซับซ้อนเชิงเวลา คือ $O(N)$ ในขั้นตอนการรู้จำกิจกรรม (Recognition) วิธีการ ISAR+ ใช้เพียงหนึ่งมาตรวัดในการระบุกิจกรรมเช่นเดียวกับวิธีการ ISAR ดังนั้นจึงมีความซับซ้อนเชิงเวลา คือ $O(n)$ และขั้นตอนการปรับปรุงตัวแบบรู้จำกิจกรรม (Update)

วิธีการ ISAR+ ได้พิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความโด่งและค่าความหนาแน่นของข้อมูลภายใน window จึงมีความซับซ้อนเชิงเวลา $O(n)$ คือ แสดงดัง Table 4

Table 4 Time complexity of ISAR, ISAR+ and STAR models

Model	Modeling	Recognition	Update
STAR	$O(KNl)$	$O(2nl) + O(Kn)$	$O(Kn)$
ISAR	$O(N) + O(KJl)$	$O(n)$	-
ISAR+	$O(N)$	$O(n)$	$O(n)$

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องและแม่นยำของการรู้จำกิจกรรมด้วยวิธี Precision, Recall, F-measure และ Accuracy แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ ISAR+ มีประสิทธิภาพผลด้านความถูกต้องและความแม่นยำได้ดีที่สุดของการทำนายหรือการอนุมานการทำกิจกรรมปัจจุบัน โดยที่วิธีการ ISAR+ สามารถแก้ปัญหาการรู้จำกิจกรรม เมื่อข้อมูลกิจกรรมที่ใช้สร้างตัวแบบมีความทับซ้อนกัน และสามารถใช้อัตราการเรียนรู้ของผู้ใช้ทั่วไปที่มีลักษณะการทำกิจกรรมที่ต่างกันในการสร้างตัวแบบที่ไม่เฉพาะบุคคล ดังนั้นวิธีการ ISAR+ จึงถือได้ว่าเป็นตัวแบบรู้จำกิจกรรมไม่เฉพาะบุคคลที่สามารถปรับปรุงตัวแบบให้เข้ากับลักษณะการทำกิจกรรมของผู้ใช้ใหม่แต่ละบุคคลได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ในการวัดประสิทธิภาพเชิงเวลาวิธีการ ISAR+ มีประสิทธิภาพดีที่สุดในขั้นตอนการสร้างตัวแบบรู้จำกิจกรรม และขั้นตอนการเรียนรู้กิจกรรมและการปรับปรุงตัวแบบรู้จำ ซึ่งน่าจะเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงกับรู้จำกิจกรรมที่ประมวลผลภายในอุปกรณ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สัญญาเลขที่ 113/2561 และจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (RTA6080013) สุดทำยขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์ ที่ช่วยแนะนำทางในการทำวิจัยนี้ รวมถึงนายเทิดศักดิ์ ดุงแก้ว ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Lockhart, JW, Weiss, GM. Limitations with Activity Recognition Methodology & Data Sets. Proceedings of the 2014 ACM Conference on Ubiquitous Computing (UBICOMP) Adjunct Publication (2nd International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and its Application); Seattle, WA: 2014.
- Gomes, J, Krishnaswamy, S, Gaber, M, Sousa, P, Menasalvas, E. MARS: A Personalised Mobile Activity Recognition System. Proceedings of the 2012 IEEE 13th International Conference on Mobile Data Management (MDM); Bengaluru, Karnataka; 2012. P. 316–319.
- Lockhart, JW, Weiss, GM. The Benefits of Personalized Smartphone-based Activity Recognition Models. Proceedings of the 2014 SIAM International Conference on Data Mining; 2014. P. 614–622.
- Uddin, MT, Billah, M, Hossain, MF. Random Forests based Recognition of Human Activities and Postural Transitions on Smartphone. Proceedings of the 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV); 2016. P. 250-255.
- Abdallah, ZS, Gaber, MM, Srinivasan, B. Adaptive mobile activity recognition system with evolving data streams. Neurocomputing; 2015. P. 304-317.
- Jalal, A, Quaid, MAK, Hasan, AS. Wearable Sensor-based Human Behavior Understanding and Recognition in Daily Life for Smart Environments. 2018 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT); 2018. P. 105-110.
- Dungkaew, T, Suksawatchon J, Suksawatchon U. Impersonal smartphone-based activity recognition using the accelerometer sensory data. Proceeding of the 2017 2nd International Conference on Information Technology (INCIT). Nakhonpathom, Bangkok; 2017. P. 1-6.
- Jennifer, R, Kwapisz, GM, Weiss and Samuel A. Moore. Activity Recognition using Cell Phone Accelerometers, Proceedings of the Fourth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data (at KDD-10) 2010.
- Micucci, D, Mobilio, M, Napoletano, P. UniMiB SHAR: A Dataset for Human Activity Recognition Using Acceleration Data from Smartphones. Preprints 2017, 2017060033 (doi: 10.20944/preprints201706.0033.v1).

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) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิม หรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
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
 - 3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **12 pt.** ตัวบาง และใส่ Corresponding author
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างเป็นใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

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

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรีใช้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่ทำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรรีใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

การเขียนเอกสารอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style)

เมื่อนำผลงานของบุคคลอื่น ไม่ว่าจะบางส่วนหรือทั้งหมดมาอ้างอิงในงานนิพนธ์ให้ใส่ตัวเลขกำกับที่ท้ายข้อความนั้น เรียงตามลำดับ 1,2,3,... โดยใช้ตัวเลขอารบิก และยกขึ้น (superscript) แล้วรวบรวมเป็นรายการอ้างอิง (Reference list หรือ Bibliography) ที่ส่วนท้ายของงานนิพนธ์

1. การอ้างอิงหนังสือ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. p 22-5. (ชื่อชุด; vol 288).

ตัวอย่าง: Getqen,TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; voll 288).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่,ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppell AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกาภิวัตน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppell AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998;55:697-701

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกาภิวัตน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธรชัชย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ่นการสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

รูปแบบ: ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. *The Washington Post* 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมั่นใจคุณภาพ. *เดลินิวส์* 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่); [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, *Emerh Infect Dis* [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542* ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

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

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: 12pt. Unbold, must be cited at the bottom of the first page.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text)

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

6. References are limited to 2 pages

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

8. Manuscript submission : online submission at www.journal.msu.ac.th

9. Manuscript with uncorrected format will be rejected

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 t. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than **300 words**. Thai and English is required.

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. List the information in a 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 based 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 Vancouver style. (www.journal.msu.ac.th)

Vancouver style references:

When work of another person whole or in part to refer in your work, it should be in sequence 1,2,3 using numeric with superscript. Then, author must have reference list or bibliography at the final parts of your manuscript.

1. Book

Getgen, TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; vol 288).

2. Journal

Russell FK, Coppell AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998 Mar 1;55(5):697-701

Russell FD, Coppell AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998;55:697-701

3. Conference proceedings

Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. In: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. *MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics*; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

4. Dictionary

Stedman's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

5. Newspaper

Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. *The Washington Post* 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

6. E-book

More SS. Factors in the emergence of infectious disease, *Emerg Infect Dis* [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screens]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ส่งจ่ายผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาทำขออนุญาตมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ science.msu@hotmail.com หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150