



Volume 38 Number 6 November - December 2019

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th



ปีที่ 38 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2562

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

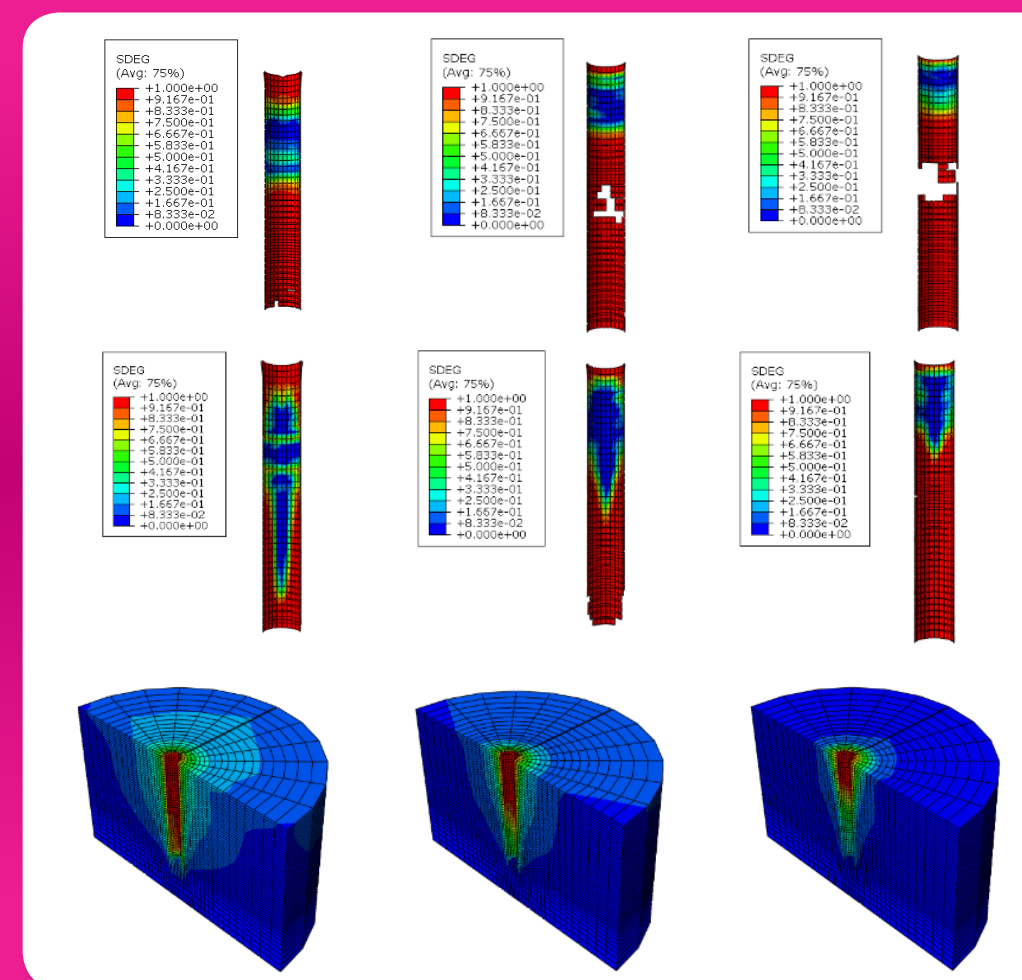
วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 38 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2562

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 38 Number 6 November - December 2019



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

We are listed in the Thai-Journal Citation Index Centre. (Tier 1)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสิทธิ์ ไม้ไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

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

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานแป๊ะ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรหม
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวิงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บึงอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังคีรีโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดิพร รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชนีจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทรวีไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสิฎุทธิ์

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 MSU Journal of Science and Technology is published quarterly and dedicated to the promotion and dissemination of scientific knowledge in the disciplines of Bioscience, Physical Science and Engineering Articles and research papers to be published in the Journal of Science and Technology Maharakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Support and Development,
Khamiang 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.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen 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.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Tersak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham 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.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Mr.Paul Alexander Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirarat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้ติดตาม วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่าน เนื่องจากวารสารของเราเป็นวารสารที่ตีพิมพ์ในรูปแบบสหสาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังนั้นวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 38 ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2562 นี้ เนื้อหาภายในเล่มจึงมีความหลากหลายทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์สารสนเทศ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ เป็นต้น ดังนั้นท่านผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่เป็นประโยชน์หลากหลายแง่มุม สำหรับอาจารย์ นักวิจัยและนิสิต ที่สนใจส่งผลงานของท่านมาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเรา ทางกองบรรณาธิการขอเรียนกับทุกท่านว่า ในปัจจุบันมีผลงานวิจัยและบทความทางวิชาการส่งเข้ามาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเราจำนวนมาก หากกระบวนการพิจารณาและขั้นตอนการตีพิมพ์มีความล่าช้าต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย อนึ่งหากท่านดำเนินการตามขั้นตอนและคำแนะนำของทางวารสารก็จะช่วยทำให้ขั้นตอนการดำเนินการรวดเร็วขึ้น ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารของเราจะช่วยเป็นสื่อกลางในการนำเสนอแนวคิดและผลงานของท่านสู่สาธารณะต่อไป

รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.วรพล เองวานิช
ผู้ช่วยบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ตัวแปรที่สำคัญต่อกำลังของระบบฝังยัดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว

ภาพปก : ภาควิชา LOY JOURNAL และคณะ. 2562, 633-645.

สารบัญ

Biological Science

ฤทธิ์ต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำ
จากส่วนที่รับประทานได้ของผักข่า 562

**Anti-lipid peroxidation and antioxidant activities of aqueous extract of edible parts
of *Momordica cochinchinensis* Lour. (Spreng.)**

อชิตา จารุโชติกมล, หทัยพร ศรีบุตรา, ลีลาพิจ ยงหนู, เบญจมาศ कुชนี, ปวีตรา พูลบุตร

Achida Jaruchotikamol, Hathaiporn Sributta, Leelapit Yongnoo, Benjamart Cushnie, Pawitra Pulbutr

ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl 572

Effects of *Nelumbo nucifera* Flower Extract on GK/Jcl Rats

เทพพิทักษ์ จิวกว้าง, นพรัตน์ พุทธกาล

Theppituk Jewkrang, Nopparat Buddhakala

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล 586

**Evaluation of Above-Ground Carbon Sequestration of Forest
in Mahasarakham University Using Remote Sensing Data**

ธนวุฒิ ทองมี, จตุรงค์ สมอาจ, วรวิทย์ จิตรสุขชา

Tanavut Thongmee, Jaturong Som-ard, Worawit Jitsukka

ความหลากหลายของแบคทีเรียในน้ำทะเล บริเวณสถานีอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล
อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 598

**Diversity of Bacteria in Seawater at Sea Turtle Conservation Center,
Sriracha District, Chonburi Province**

สุนันทิต นิมรัตน์, สุวรรณ มากรัตน์, วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

Subuntith Nimrat, Suwanna Makrat, Verapong Vuthiphandchai

Mathematics Science

ความเชื่อมโยงในปริภูมิเชิงทอพอโลยีวงนัยทั่วไปอุดมคติ 608

Connectedness in a set of ideal generalized topological spaces

ณัฐยาน์ บุญแย้ม, ดรุณี บุญขารี, จีระนันท์ คำภักดี

Natthaya Boonyam, Daruni Boonchari, Jeeranunt Khampakdee

สารบัญ

Health Science

การใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุเทศบาลตำบลสุเทพ
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 613

Traditional Herbal Utilization for Elderly Health Promotion in Suthep

Municipality Muangchiangmai District, Chiangmai Province

สามารถ ใจเตี้ย, สิวลี รัตนปัญญา, วรณลักษณ์ แสงโสดา, ดารารัตน์ จำเกิด

Samart Jaitae, Siwalee Rattanapunya, Dararat Jumkead

การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพรไทย

619

Evaluation of the antioxidant activity in Thai herbs

วัชรพล พรหมสุด, ธนพร อัศวพัฒนากุล

Watcharapon Promsut, Thanaporn Asawapathanakul

Engineering

สภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจาก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

625

Optimization of Liquid Removal from *Mesona Chinensis* Bentham Using a Centrifuge Machine

ผดุงศักดิ์ พลศักดิ์, ศตวรรษ รากะรินทร์, ทิพาพร คำแดง

Padungsak Polsakkwa, Satawat Rakarin, Tipapon Khamdaeng

ตัวแปรที่สำคัญต่อกำลังของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว

633

Key Parameters to Strength of an Adhesive Anchoring System in Uncracked and Cracked Concrete

ภาคิน ลอยเจริญ, เกரியงศักดิ์ แก้วกุลชัย, กิตติศักดิ์ ชันติยวิชัย

Phakin Loyjaroen, Griengsak Kaewkulchai, Kittisak Kuntiyawichai

ผลของสารอินทรีย์ธรรมชาติและโลหะหนักต่อการย่อยสลาย

646

ไดโคฟอลด้วยแลคเคสในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

Effects of Natural Organic Matter and Heavy Metals on the Degradation of Dicofol by Laccase

in a Membrane Bioreactor

อภิญา อ่อนสาร, กรรณิกา รัตนพงษ์เลขา

Apinya Onsarn, Karnika Ratanapongleka

สารบัญ

- การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุ 655
Speed Control of Induction Motor with Its Parameter Different from Nominal Value
กุลพงษ์ บุญมาวงศ์, วิโรจน์ แสงรงทอง
Kunlapong Boonmawong, Wirote Sangtungtong
- Computer and Information Technology**
- การประยุกต์ระบบการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เพื่อแนะนำการท่องเที่ยวในพื้นที่ 12 เมือง 666
ต้องห้าม...พลัดในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง
**Applications of Location Based Services for Suggesting Tourist Attraction in 12 Hidden
Gems Cities of the Central Tourism Group**
ธัญญรัตน์ ไชยคราม
Thanyarat Chaiyakarm

ฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากส่วนที่รับประทานได้ของฟักข้าว

Anti-lipid peroxidation and antioxidant activities of aqueous extract of edible parts of *Momordica cochinchinensis* Lour. (Spreng.)

อชิตา จารุโชติกรมล^{1*}, หทัยพร ศรีบุตตรา², ลีลาพิง ยงหนู², เบญจมาศ กุชณี¹, ปวีตรา พูลบุตร¹

Achida Jaruchotikamol^{1*}, Hathaiporn Sributta², Leelapit Yongnoo², Benjamart Cushnie¹, Pawitra Pulbutr¹

Received: 4 January 2019 ; Revised: 1 April 2019 ; Accepted: 22 April 2019

บทคัดย่อ

ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng.) เป็นพืชที่นิยมรับประทานทั้งส่วนใบและผล พบได้ทั่วไปในจีน เวียดนาม และไทย ด้วยข้อมูลฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของฟักข้าวมีอยู่จำกัด การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์ดังกล่าวของสารสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยการคั้นสดของฟักข้าว ในส่วนยอดอ่อน และผล (ผลอ่อน ผลสุก หรือ เยื่อหุ้มเมล็ด) โดยสกัดพืชสดเลียนแบบวิธีการปรุงอาหารของพืชแต่ละส่วน คือ ลวก ต้ม หรือคั้นสด ได้เป็นสารสกัด 6 ชนิด คือ (1) ยอดอ่อนลวก (2) ผลอ่อนต้ม (3) ผลสุกต้ม (4) ผลสุกคั้นสด (5) เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม และ (6) เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด นำสารสกัดทดสอบกับไขมันที่ได้จากไข่แดงของไก่ และประเมินระดับ malondialdehyde ด้วย thiobarbituric acid reaction substance (TBARS) assay และประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) (ABTS) assay ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกแสดงฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดชนิดอื่น โดยมีค่า IC_{50} และ vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) เท่ากับ $335.87 \pm 92.95 \mu\text{g/mL}$ และ $64.03 \text{ g/100 g extract}$ ตามลำดับ และ ABTS assay พบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดเช่นกัน โดยมีค่า IC_{50} และ VCEAC เท่ากับ $30.91 \pm 5.81 \mu\text{g/mL}$ และ $5.21 \text{ g/100 g extract}$ ตามลำดับ การศึกษานี้เป็นการรายงานครั้งแรกถึงฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของยอดอ่อนฟักข้าวที่มีฤทธิ์ดีกว่าสารสกัดจากส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและผล ดังนั้นผลของสารสกัดยอดอ่อนลวกในการป้องกันโรคที่เกิดจากภาวะเครียดออกซิเดชันควรแก่การศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

คำสำคัญ: ฟักข้าว ฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ยอดอ่อน ผล

Abstract

Momordica cochinchinensis (Lour.) Spreng. (MC) is a plant found in China, Vietnam, and Thailand, with edible leaves and fruit. With little information available on the anti-lipid peroxidation activity of this species, the present study investigated the activity of aqueous and freshly squeezed extracts of its young leaves and stems, and fruit (unripe pulps, ripe pulps, or aril). Fresh plant material was extracted using methods appropriate for each part including blanched, boiled, or freshly-squeezed, resulting in six extracts, (1) blanched young leaves and stems (BYLS), (2) boiled unripe pulps, (3) boiled ripe pulps, (4) freshly squeezed ripe pulps, (5) boiled aril, and (6) freshly squeezed aril. The extracts were tested with lipid from homogenized hen's egg yolk, and malondialdehyde levels were measured using the thiobarbituric acid reaction substance (TBARS) assay. Antioxidant activity was also measured using the 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) (ABTS) assay. BYLS was found to have superior anti-lipid peroxidation activity to

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ² นิสิตหลักสูตรเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Lecturer, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, ² PharmD Student, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University

* Corresponding author: Achida Jaruchotikamol, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150. E-mail : atika.j@msu.ac.th

the other extracts, with IC₅₀ and vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) values of 335.87±92.95 µg/mL and 64.03 g/100 g extract, respectively. In the ABTS assay, BYLS also demonstrated the highest level of antioxidant activity, with IC₅₀ and VCEAC values of 30.91±5.81 µg/mL and 5.21 g/100 g extract, respectively. These results are the first report of the anti-lipid peroxidation activity of BYLS that was greater than the aril and fruit extracts. The potential effects of BYLS in preventing diseases caused by oxidative stress therefore merits further study.

Keywords: *Momordica cochinchinensis*, anti-lipid peroxidation activity, antioxidant activity, young leaves and stems, pulps

บทนำ

ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng.) หรือ Gac เป็นพืชตระกูลแตงที่มีลักษณะคล้ายกับวัชพืช พบในประเทศเวียดนาม พม่า ไทย และจีน นิยมนำมาประกอบเป็นอาหาร เช่น เยื่อหุ้มเมล็ดนำมาหุงกับข้าว ผลนำมาต้มแกง ผลสุกนำมาคั้นสด เป็นต้น¹ สรรพคุณของฟักข้าว รากและใบเมื่อนำมาต้มน้ำดื่มช่วยลดไข้ แก้ปวดเมื่อย เมล็ดคั่วและบดเป็นผงผสมกับน้ำมันนำไปทาช่วยลดการอักเสบซ้ำวม² สารสกัดของฟักข้าวส่วนผล เยื่อหุ้มเมล็ด และเมล็ดมีรายงานการศึกษาพบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยามากมาย เช่น ต้านมะเร็ง³ ต้านอักเสบ⁴ ต้านลิวโปออร์ออกซิเดชัน⁵ และต้านอนุมูลอิสระ^{6,7,8,9} เป็นต้น สารสำคัญที่พบในฟักข้าว ได้แก่ สารกลุ่ม carotenoids พบได้ในผล เมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด¹⁶ สาร saponins พบในเมล็ด ลำต้น เถาเรื้อย และราก¹⁰ สารประกอบ ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์พบได้ในเปลือกผล เนื้อผล เมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด⁶

อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสารที่ไม่เสถียรสามารถทำลายไขมัน ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่ออนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันหรือเกิด lipid peroxidation ในระยะเหนี่ยวนำปฏิกิริยา (initiation) อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน (L) เกิดอนุมูลอิสระต่าง ๆ และอนุมูลอิสระของไขมันขึ้น (L^o) ต่อมาในระยะเพิ่มจำนวน (propagation) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในขั้นแรกจะทำปฏิกิริยาต่อกับสารอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดสาร peroxy radicals (LOO^o) ในระยะนี้ร่างกายจะมีปริมาณอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นได้อย่างมากมายหรือที่เรียกว่าเกิดภาวะ oxidative stress ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในขณะนั้น นอกจากนี้ในระยะ propagation ยังเกิดผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกาย ได้แก่ lipid endoperoxides ที่มักจะเกี่ยวข้องกับการสร้างพรอสตาแกลนดินในกระบวนการอักเสบ พบในโรคที่มีการอักเสบเรื้อรังต่าง ๆ, lipid hydroperoxide (LOOH), malondialdehyde (MDA) และ 4-hydroxynonenal (4-HNE) ที่ทำให้เกิดความผิดปกติและการตายของเซลล์ หากกระบวนการลูกโซ่นี้ดำเนินต่อไป จะทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์ เกิดความเสื่อม ภาวะแก่ อนุมูลอิสระยังจะเข้าทำปฏิกิริยากับ

สารอื่น ๆ ในเซลล์ต่อได้อีก ได้แก่ โปรตีนหรือสารพันธุกรรม เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติ การอักเสบ การกลายพันธุ์ หากปฏิกิริยาไม่ถูกยับยั้ง อาจจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคการเสื่อมของระบบประสาท โรคมะเร็ง และโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบเรื้อรังต่าง ๆ เป็นต้น^{11,12,13} การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกเพิ่มเติม พบว่าสามารถช่วยลดหรือป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากที่กล่าวข้างต้นได้^{11,14,17}

จากการที่ฟักข้าวเป็นพืชที่ได้รับความนิยมและมีกระแสนำให้บริโภคเป็นอาหาร เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาไม่แพง และมีสรรพคุณ ประโยชน์มากมาย โดยเฉพาะส่วนผลและเยื่อหุ้มเมล็ดของฟักข้าวนั้นมีการศึกษาถึงประโยชน์ต่าง ๆ ก่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลจำกัดสำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านลิวโปออร์ออกซิเดชันของสารสกัดด้วยน้ำหรือสกัดด้วยการคั้นสด อีกทั้งการศึกษาในฤทธิ์ดังกล่าวของส่วนยอดอ่อนฟักข้าว (คือเถาและใบอ่อน) มีการศึกษาค่อนข้างน้อย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์ต้านลิวโปออร์ออกซิเดชันของฟักข้าว โดยประเมินระดับของ MDA ที่ถูกสร้างขึ้นด้วย TBARS assay การทดสอบนี้จะเป็นการประเมินเบื้องต้นถึงฤทธิ์ของสารทดสอบกับไขมันจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งผลน่าจะใกล้เคียงกับร่างกายมากกว่าการทดสอบเพียงปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลอง นอกจากนี้ยังได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS assay โดยในการศึกษานำฟักข้าว 4 ส่วน คือ ยอดอ่อน ผลอ่อน ผลสุก และเยื่อหุ้มเมล็ด นำพืชสดทั้ง 4 ส่วนมาสกัดตามกรรมวิธีการปรุงอาหารของพืชแต่ละส่วนที่ใช้บริโภคจริง คือ ต้ม ลวก หรือคั้นสด (ยอดอ่อนนิยมนำมาลวกรับประทานกับน้ำพริก ผลอ่อนและผลสุกนิยมนำมาต้มเป็นแกง เยื่อหุ้มเมล็ดนำมาต้มหุงกับข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดและผลสุกนิยมนำมาคั้นสด) จะได้สารสกัด 6 ชนิด ได้แก่ สารสกัด (1) ยอดอ่อนลวก (2) ผลอ่อนต้ม (3) ผลสุกต้ม (4) ผลสุกคั้นสด (5) เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม และ (6) เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด ผลการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบว่าสารสกัดใดของฟักข้าวมีฤทธิ์ที่ดี ในการจะช่วยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของกระบวนการลิวโปออร์ออกซิเดชัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการบริโภคฟักข้าวโดยการปรุงเป็นอาหาร หรือนำไปศึกษาพัฒนาต่อไป

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

สารเคมี

Ferrous sulphate; FeSO₄ (Acros organics, Belgium), trichloroacetic acid; TCA (Acros organics, Belgium), thiobarbituric acid; TBA (Acros organics, Belgium), 3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid; ABTS (Fluka, Japan), ascorbic acid (Carlo erba reagent, Italy), potassium persulfate; K₂S₂O₈ (Sigma-Aldrich, MO, USA) สารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเคมีมาตรฐานจากบริษัท

พืชตัวอย่าง

พืชข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เก็บจากจังหวัดกาฬสินธุ์ ในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 และได้รับการพิสูจน์เอกลักษณ์โดย ผศ.ดร.วนิดา ไทรชมพู คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รหัสพืชตัวอย่าง พืชข้าวส่วนยอดอ่อน ผลอ่อน และผลสุก สายพันธุ์เวียดนาม คือ MSU_PH-CUR-MC3 เลือกส่วนพืชในการนำมาทดสอบมี 4 ส่วน โดยมีรายละเอียดการคัดพืชดังต่อไปนี้ ได้แก่

ยอดอ่อน คือ ส่วนใบและยอดของเถาอ่อนที่เด็ดได้ด้วยมือ

ผลอ่อน คือ ส่วนผลที่มีเนื้อสีขาวอมเขียว มีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและส่วนเมล็ดอ่อนสีขาว เปลือกภายนอกจะมีสีเขียว โดยจะใช้ผลทั้งลูก ไม่รวมเปลือก

ผลสุก คือ ส่วนเนื้อผลที่มีสีเหลืองส้มจนถึงแดง ลักษณะเนื้อผลจะนิ่ม เปลือกภายนอกจะมีสีเหลืองหรือแดง และเมล็ดมีลักษณะแข็งสีน้ำตาล โดยจะใช้เฉพาะส่วนเนื้อผล

เยื่อหุ้มเมล็ด คือ เยื่อสีแดงสดที่อยู่ภายในผลสุก ไม่รวมเมล็ด

การสกัดพืชตัวอย่าง

นำพืชมาตัดเอาส่วนที่เน่าเสียออก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จำนวน 2 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง ตัดเอาส่วนพืชตามที่กำหนดข้างต้น วิธีการสกัดจะทำเลียนแบบการปรุงอาหารโดยใช้วิธีการต้มหรือลวกที่อุณหภูมิ 100 °C ในตัวทำละลายคือน้ำกลั่น หรือใช้วิธีการคั้นสดในตัวทำละลายคือน้ำกลั่น โดยมีรายละเอียดการสกัด ดังต่อไปนี้

- **ยอดอ่อนลวก** นำยอดอ่อนมาหั่นให้มีขนาด 1 cm หรือเล็กกว่า นำไปทำการสกัดโดยวิธีการต้มในน้ำเดือด

โดยแช่หวน 3-5 นาที นำเฉพาะกากพืชที่ได้ไปปั่น คั้นผ่านตะแกรง นำของเหลวที่คั้นได้มากรองผ่านผ้าขาวบาง 4 ชั้น จำนวน 2 ครั้ง กรองผ่านกระดาษกรองโดยใช้ buchner funnel อีก 2 ครั้ง

- **ผลอ่อนต้ม** นำผลอ่อนทั้งลูกมาปอกเปลือกออก หั่นเนื้อผลทั้งลูก ให้มีขนาด 1X1 cm² หรือเล็กกว่า ทำการสกัดโดยวิธีการต้มหวน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่น นำสารสกัดเหลวและกากพืชที่ได้มาทำการคั้นผ่านตะแกรง นำของเหลวที่คั้นได้ไปกรองด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น จำนวน 2-3 ครั้ง กรองผ่านสำลี 2 ครั้ง และกรองผ่านกระดาษกรองโดยใช้ buchner funnel อีก 2-3 ครั้ง

- **ผลสุกต้ม** นำผลสุกมาปอกเปลือก และผ่าแยกเอาส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดออก เอาเฉพาะส่วนเนื้อผลมาหั่นให้มีขนาด 1X1 cm² หรือเล็กกว่า สกัดโดยวิธีการต้มหวน 30 นาที นำสารสกัดเหลวและกากพืชที่ได้มาทำการคั้นและกรองตามวิธีเช่นเดียวกับการคั้นและกรองของสารสกัดส่วนผลอ่อน

- **ผลสุกคั้นสด** นำผลสุกมาปอกเปลือก ผ่าแยกเอาส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดออก เอาเฉพาะส่วนเนื้อผลมาหั่นให้มีขนาด 1X1 cm² หรือเล็กกว่า นำไปคั้นและกรองตามวิธีเช่นเดียวกับการคั้นและกรองของสารสกัดส่วนผลอ่อน (โดยมีการเติมน้ำกลั่นช่วยในขณะกรอง)

- **เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม** นำเยื่อหุ้มเมล็ดจากผลสุกมาตัดเมล็ดออก นำมาสกัดโดยวิธีการต้มหวน 30 นาที นำสารสกัดเหลวและกากพืชที่ได้มาทำการคั้นและกรองตามวิธีเช่นเดียวกับการคั้นและกรองของสารสกัดส่วนผลอ่อน

- **เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด** นำเยื่อหุ้มเมล็ดจากผลสุกมาตัดเมล็ดออก นำไปคั้นและกรองตามวิธีเช่นเดียวกับการคั้นและกรองของสารสกัดส่วนผลอ่อน (โดยมีการเติมน้ำกลั่นช่วยในขณะกรอง)

สารสกัดเหลวที่สกัดได้ ทั้ง 6 ชนิด จะถูกทำให้แห้งในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำ -100 °C โดยเครื่อง bench top freeze dryer (ScanVac, Denmark) บันทึกข้อมูลลักษณะของสารสกัดแห้งและคำนวณหา %yield (Table 1) เก็บสารสกัดไว้ในภาชนะปิดสนิทและที่บ่มแสงที่อุณหภูมิต่ำ -20 °C และในการทำการทดลองสารสกัดจะถูกเตรียมเป็นสารละลายด้วยการละลายกับน้ำกลั่น

Table 1 Yield, texture, and color of *Momordica cochinchinensis* aqueous extracts

สารสกัด	ลักษณะสารสกัดหยาบ	Yield (%)
1) ยอดอ่อนลวก (BYLS)	สีเขียว	2.40
2) ผลอ่อนต้ม	สีขาว	2.89
3) ผลสุกต้ม	สีส้มเหลือง	2.85
4) ผลสุกคั้นสด	สีส้มเหลือง	1.14
5) เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม	สีส้มแดง	2.95
6) เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด	สีส้มแดง	2.26

การทดสอบฤทธิ์ต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันด้วย TBARS assay¹⁵

เตรียมสารละลายไข่แดง (egg yolk homogenate) ใน 0.1 M phosphate buffer saline (pH 7.4) อัตราส่วน 1:10.52 (v/v) ด้วย glass teflon dounce homogenizer จากนั้นนำสารละลายมาปริมาตร 200 μ L เติมสารทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 50 μ L และ 25 mM FeSO₄ ปริมาตร 350 μ L ทำปฏิกิริยาใน microfuge tube ป่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จากนั้นเติม 15% TCA ปริมาตร 100 μ L ผสมให้เข้ากัน ดูดเอาส่วน supernatant ปริมาตร 400 μ L มาทำปฏิกิริยากับ 1% TBA ปริมาตร 200 μ L และต้มที่อุณหภูมิ 95°C นาน 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วดูดสารละลายใส่ 96-well plate ปริมาตร 200 μ L และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ด้วยเครื่อง microplate reader SPECTROstar Nano (BMG labtech, USA) ที่ความยาวคลื่น 532 nm โดย blank คือ สารทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 50 μ L และน้ำกลั่นปริมาตร 650 μ L

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS assay¹⁶

เตรียมสารละลาย ABTS reagent โดยผสม 7 mM ABTS ปริมาตร 10 mL กับ 51.4 mM K₂S₂O₈ ปริมาตร 0.5 mL ตั้งเก็บไว้ในที่มืด 12-16 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เจือจาง ABTS reagent ด้วย 95% ethanol อัตราส่วน 1: 30 และปรับค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm ให้อยู่ในช่วงประมาณ 0.7±0.2 ด้วย 95% ethanol

จากนั้นนำสารละลาย ABTS reagent ที่ได้ปริมาตร 200 μ L ทำปฏิกิริยากับสารทดสอบปริมาตร 20 μ L ใน 96-well plate ป่มในที่มืด นาน 5 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง microplate reader SPECTROstar Nano (BMG

labtech, USA) ที่ความยาวคลื่น 734 nm โดย blank คือ สารทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 20 μ L และน้ำกลั่นปริมาตร 200 μ L

ทั้งสองวิธีการทดสอบ ได้นำเสนอข้อมูลด้วยค่าร้อยละความสามารถในการยับยั้ง (%Inhibition) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ [%inhibition = (OD control - OD sample) X 100/ OD control] ร้อยละความสามารถในการยับยั้งได้สูงสุด (maximum inhibitory response; Rmax) ซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละความสามารถในการยับยั้ง ที่มีค่าร้อยละสูงสุดในแต่ละการทดลอง นอกจากนี้ยังนำเสนอข้อมูลความแรงของสาร (potency) ด้วยค่าความเข้มข้นที่ให้ผลในการยับยั้งได้ครึ่งหนึ่ง (the half maximal inhibitory concentration; IC₅₀) ที่คำนวณได้จากโปรแกรม GraphPad Prism 5 เนื่องจากการศึกษาค้นคว้าใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายของสารสกัด (สารสกัดบางชนิดมีปัญหาการละลายกับตัวทำละลายชนิดอื่น) ในการทดสอบทั้งสองวิธี จึงได้เลือกใช้ ascorbic acid เป็นสารมาตรฐาน เพราะเป็นสารที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ และมีการพิสูจน์แล้วว่าเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระได้ดี^{17,18} และได้นำเสนอข้อมูลด้วยค่า VCEAC (vitamin C equivalent antioxidant capacity) ซึ่งคำนวณจากสมการเส้นตรงของสารสกัดเทียบกับสมการเส้นตรงของ ascorbic acid เพื่อแสดงให้เห็นการสมมูลของฤทธิ์ของสารสกัด 100 g ว่าจะมีฤทธิ์เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน ascorbic acid ที่น้ำหนักประมาณกี่กรัม (แสดงด้วยหน่วย g/100 g extract) หากค่านี้มีค่าสูงหมายถึงว่าสารสกัดมีฤทธิ์ที่ดี

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับค่า IC₅₀ ข้อมูลแสดงด้วยค่า mean±S.D. (เนื่องจากแต่ละการทดลองจะได้ค่า IC₅₀ เพียงหนึ่งค่า) หรือสำหรับ %inhibition และ Rmax ข้อมูลแสดงด้วยค่า mean±S.E.M. (จากการทดลองที่เป็นอิสระต่อกัน 3-4 การทดลอง) และใช้โปรแกรม SPSS version 16.0 ทดสอบทางสถิติ การทดสอบใช้ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 0.05 หากค่า p<0.05 ถือว่ามีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีแผนการทดลองดังนี้

ทดสอบฤทธิ์ต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันของสารสกัด 6 ชนิดและสารมาตรฐาน ascorbic acid เพื่อประเมินว่าสารสกัดใดมีฤทธิ์ที่ดี (จากข้อมูล 4 การทดลองที่เป็นอิสระต่อกัน; n=4) เปรียบเทียบฤทธิ์ (%inhibition) ของสารทดสอบทั้ง 7 กลุ่ม ด้วยสถิติ One-way Analysis of Variance, Fisher's Least Significant Difference (LSD) post-hoc test และเปรียบเทียบฤทธิ์ (%inhibition) ระหว่างสองความเข้มข้นของสารสกัด

ชนิดเดียวกันเพื่อประเมินคุณสมบัติ concentration-dependent manner เบื้องต้นของสารสกัดด้วยสถิติ independent sample t-test (Figure 1)

ทดสอบเพื่อหาความแรง (IC₅₀) และการตอบสนองสูงสุด (Rmax) ของสารสกัดยอดอ่อนลวก ในฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (จากข้อมูล 3 การทดลองที่เป็นอิสระต่อกัน; n=3) เปรียบเทียบค่าดังกล่าวของสารสกัดยอดอ่อนลวกกับสารมาตรฐาน ascorbic acid ด้วยสถิติ independent sample t-test (Table 2)

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด 6 ชนิดและสารมาตรฐาน ascorbic acid (จากข้อมูล 3 การทดลองที่เป็นอิสระต่อกัน; n=3) เปรียบเทียบค่า IC₅₀ ของสารทดสอบทั้ง 7 กลุ่ม ด้วยสถิติ One-way Analysis of Variance, Fisher's Least Significant Difference (LSD) post-hoc test (Table 3)

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของสารสกัดผักข่า

การทดสอบฤทธิ์การต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันจากไข่แดงของไก่ ประเมินระดับของ MDA ในปฏิกิริยาด้วย TBARS assay เบื้องต้นพบว่าสารสกัดผักข่า 5 ชนิด คือ สารสกัดผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม ผลสุกคั้นสด เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด ที่ความเข้มข้น 500 µg/mL มีค่า %Inhibition อยู่ในช่วงร้อยละ 14.51-26.23 สารสกัดยอดอ่อนลวกที่ความเข้มข้นเดียวกันมีค่า %Inhibition เท่ากับร้อยละ 46.34±5.40 และสารมาตรฐาน ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 50 µg/mL มีค่า %Inhibition เท่ากับร้อยละ 35.97±5.48 เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดผักข่าด้วยกัน ที่ความเข้มข้นเดียวกันคือ 500 µg/

mL พบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกมีค่า %inhibition สูงกว่าสารสกัดชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001) และเมื่อเปรียบเทียบสารสกัดผักข่ากับ ascorbic acid พบว่าสารสกัดผักข่า 5 ชนิด คือ ผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม ผลสุกคั้นสด เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม และเยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด (100 และ 500 µg/mL) มีค่า %inhibition ต่ำกว่า ascorbic acid 50 µg/mL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในขณะที่สารสกัดยอดอ่อนลวก (500 และ 1,000 µg/mL) มีค่า %inhibition สูงกว่า ascorbic acid 50 µg/mL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001) ดังแสดงใน Figure 1 ทั้งนี้ในการศึกษาได้ลองทำการทดสอบสารสกัดทั้ง 5 ชนิด (สารสกัดผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม ผลสุกคั้นสด เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด) ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 µg/mL ด้วยเช่นกัน แต่พบว่าสารละลายในปฏิกิริยาเกิดการตกตะกอนในระหว่างทำการทดลอง ทำให้รบกวนการวัดค่าการดูดกลืนแสง และเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองของสารสกัดทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 µg/mL

เมื่อทราบว่าคุณสมบัติของสารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันที่ดี และมีคุณสมบัติ concentration-dependent manner ต่อมาจึงได้ทำการศึกษาหาความแรงและการตอบสนองสูงสุด (Rmax และ IC₅₀) ในฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเฉพาะสารสกัดยอดอ่อนลวกเปรียบเทียบกับ ascorbic acid (ทดสอบที่ความเข้มข้น 1 ถึง 3,000 และ 0.1 ถึง 2,000 µg/mL ตามลำดับ) ผลการทดลองพบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกและ ascorbic acid มีค่า Rmax และค่า IC₅₀ ดังแสดงใน Table 2 สารสกัดยอดอ่อนลวกและ ascorbic acid มีค่า IC₅₀ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.007) และเมื่อคำนวณค่า VCEAC ของสารสกัดยอดอ่อนลวกได้เท่ากับ 64.03 g/100 g extract

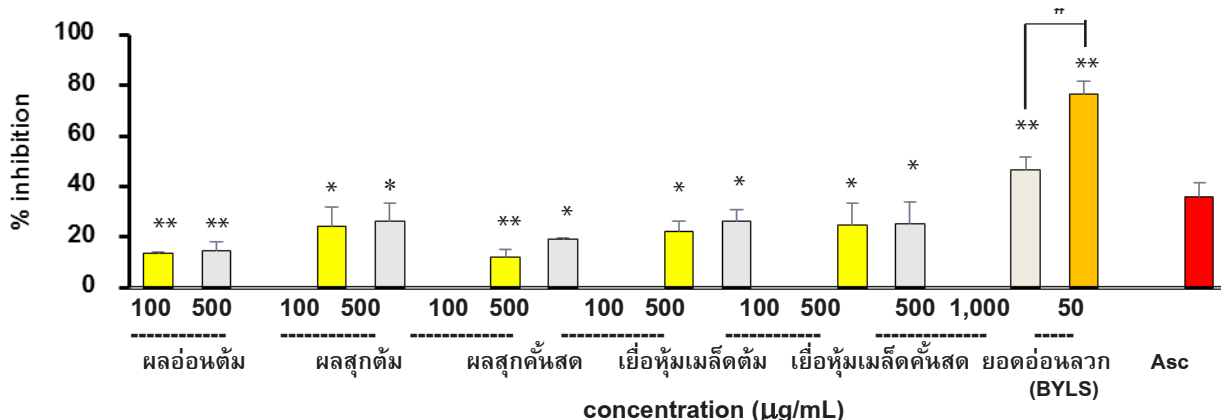


Figure 1 Effect of *Momordica cochinchinensis* aqueous extracts and ascorbic acid (Asc) on lipid peroxidation as measured using TBARS assay in egg yolk. Data are expressed as mean±S.E.M. (n=4).

* p<0.05, ** p<0.001 vs ascorbic acid; # p<0.001 vs same extract

Table 2 Lipid peroxidation inhibition by *Momordica cochinchinensis* aqueous extract (BYLS) and ascorbic acid

สารทดสอบ	Rmax (%) mean±S.E.M. (n=3)	IC ₅₀ (µg/mL) mean±S.D. (n=3)	VCEAC (g/100 g extract)
สารสกัดยอดอ่อนลวก (BYLS)	84.24±3.09*	335.87±92.95*	64.03
ascorbic acid	90.78±0.32	53.69±15.10	-

* $p < 0.05$ vs ascorbic acid

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดผักข่า

ผลการทดสอบการยับยั้งอนุมูลอิสระของ ABTS โดยวิธี ABTS assay พบว่าความสามารถในการออกฤทธิ์ของสารสกัดผักข่าทั้ง 6 ชนิดขึ้นกับความเข้มข้นของสารสกัด (Figure 2) เมื่อพิจารณาค่า Rmax มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 82 ขึ้นไป ค่า IC₅₀ อยู่ในช่วง 31 ถึง 1,070 µg/mL และค่า VCEAC ของสารสกัดอยู่ในช่วง 0.33 ถึง 5.21 g/100 g extract ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า IC₅₀ ระหว่างสารสกัดผักข่า 6 ชนิดกับ ascorbic acid พบว่า ascorbic acid มีค่า IC₅₀ ต่ำกว่าสารสกัดผักข่าอีก 5 ชนิด ($p < 0.001$) และค่า IC₅₀ ของสารสกัดยอดอ่อนลวกมีค่าต่ำกว่าสารสกัดอีก 5 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) (Table 3)

วิจารณ์และสรุปผล

ผักข่าเป็นพืชในครัวเรือนที่มีประโยชน์ และมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยามากมาย เช่น ต้านจุลชีพ ต้านอักเสบ ต้านมะเร็ง^{3,4,7} จากผลการทดสอบด้วย TBARS assay พบว่าสารสกัดน้ำของผักข่าส่วนยอดอ่อนลวก สามารถยับยั้งการสร้าง MDA ในไข่แดงของไก่ได้ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน สารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดชนิดอื่นและออกฤทธิ์เป็นแบบขึ้นกับความเข้มข้น (concentration-dependent manner) ในขณะที่สารสกัดอีก 5 ชนิด คือ ผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม ผลสุกคั้นสด เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม และเยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ฤทธิ์ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Figure 1)

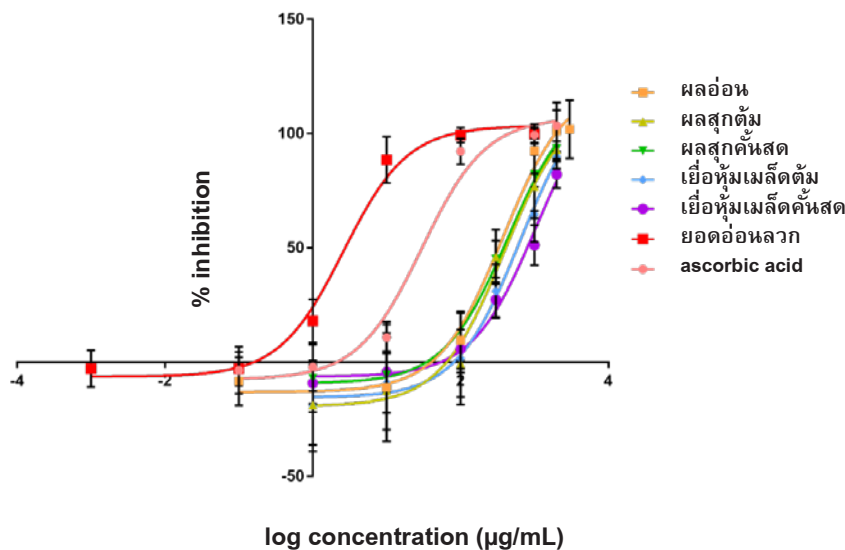


Figure 2 Concentration-response curve of *Momordica cochinchinensis* aqueous extracts and ascorbic acid, tested using ABTS assay. Data expressed as mean±S.E.M. (n=3)

Table 3 Rmax, IC₅₀ and VCEAC levels of six extracts and ascorbic acid as tested using ABTS assay

extracts:	Rmax (%) mean±S.E.M. (n=3)	IC ₅₀ (µg/mL) mean±S.D. (n=3)	VCEAC (g/100 g extract)
1. ผลอ่อนต้ม	101.86±12.69	374.80±85.06 *	0.33
2. ผลสุกต้ม	92.93±8.32	410.20±34.64 *	0.59
3. ผลสุกคั้นสด	93.37±8.93	465.80±84.58 *	0.80
4. เยื่อหุ้มเมล็ดต้ม	89.94±2.27	661.23±76.24 *	0.70
5. เยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด	82.08±6.02	1,068.00±42.67 *	0.17
6. ยอดอ่อนลวก (BYLS)	103.38±6.88	30.91±5.81	5.21
ascorbic acid	99.84±4.30	2.79±0.67	-

* $p < 0.001$ vs ascorbic acid or BYLS

ฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันของสารสกัดยอดอ่อนลวก แสดงค่า Rmax ที่ร้อยละ 84.24±3.09 และมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 335.87±92.95 µg/mL จากข้อมูลการศึกษาที่ผ่านมาในฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันของผักข่ามีเพียงการศึกษาของ lamsaard และคณะ (2017) พบว่าการให้สารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดผักข่าคั้นสดขนาด 100 mg/Kg BW แก่หนูขาว โดยให้ทางปากนาน 23 วัน สามารถลดปริมาณ testicular malondialdehyde ในหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย valproic acid ได้ เมื่อผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันที่ดีกว่าสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดคั้นสด จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการทำการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับต่อไป

สามารถฐาน ascorbic acid หรือวิตามินซีเป็นสารที่มีความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาออกซิในปฏิกิริยาลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันได้¹⁷ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ascorbic acid มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 53.69±15.10 µg/mL ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Badmus และคณะ (2013)¹⁸ ยืนยันได้ว่าสารนี้มีฤทธิ์ที่ดีในการใช้เป็นสารมาตรฐาน และเนื่องจากในการทดสอบครั้งนี้ใช้สารสกัดหยาบซึ่งยังไม่ทราบสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาศาสตร์มาตรฐาน ascorbic acid ในการทดสอบฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชัน เมื่อคำนวณความสามารถในการออกฤทธิ์สมมูลกับ ascorbic acid (VCEAC) ของสารสกัดหยาบของยอดอ่อนลวกขนาด 100 g จะมีฤทธิ์สมมูลกับ ascorbic acid ขนาด 64.03 g และเมื่อสารสกัดดังกล่าวมี %yield เท่ากับร้อยละ 2.40 (Table 1) ดังนั้นยอดอ่อนพืชสดขนาด 100 g น่าจะมีฤทธิ์สมมูลกับ ascorbic acid ขนาด 1.54 g ซึ่งแสดงว่ายอดอ่อนผักข่าน้ำหนักพืชสด 100 g (1 ชีด) นำมาลวกอาจจะให้

ฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันเทียบเท่ากับฤทธิ์ของ ascorbic acid ขนาด 1.54 g แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นในหลอดทดลอง จำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันในวิธีการทดสอบอื่น เช่น การทดสอบใน mammalian cell ก่อนทำการศึกษาผลที่เกิดขึ้นในร่างกายโดยการทดสอบใน *in vivo* ต่อไป

Cucurbitaceae (วงศ์ของผักข่า) พืชในวงศ์นี้ ที่มีการศึกษาพบว่าส่วนใบหรือส่วนเถา มีฤทธิ์ต้าน ลิวปีดเปอร์ออกซิเดชัน ได้แก่ *Cucurbita maxima* หรือฟักทอง สารสกัดด้วยเมทานอลสามารถต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันในเนื้อเยื่อตับ¹⁹ *Lagenaria siceraria* หรือน้ำเต้า สารสกัดด้วยเมทานอลขนาด 200 และ 400 mg/kg ป้อนนาน 9 วัน ช่วยต้านการเกิดลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันในเนื้อเยื่อตับหนูถีบจักรที่ได้รับการฉีด ehrlich ascites carcinoma ได้²⁰ นอกจากนี้พืชในสกุล Momordica (สกุลเดียวกับฟักข่า) ได้แก่ *Momordica foetida* พืชลักษณะคล้ายฟักข่าที่พบในประเทศแอฟริกา สารสกัดส่วนใบสกัดด้วยเอทานอล มีฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันในเนื้อเยื่อตับและสมองได้²¹ *Momordica charantia* หรือมะระขี้นก สารสกัดส่วนใบสกัดด้วยน้ำ มีฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันในเนื้อเยื่อไต²² เนื่องจากพบว่าไขมันจากเนื้อเยื่อต่างกันอาจเป็นปัจจัยต่อการแสดงออกของฤทธิ์ต้านลิวปีดเปอร์ออกซิเดชันได้^{18,21} ดังนั้นจึงไม่สามารถเทียบเคียงผลของยอดอ่อนผักข่า (ใบ เถาอ่อน) จากการทดสอบนี้กับข้อมูลข้างต้นได้เนื่องจากใช้เนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งของไขมันที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบยอดอ่อนผักข่ากับยอดอ่อนพืชอื่นในวงศ์หรือสกุลเดียวกัน ในเนื้อเยื่อชนิดเดียวกัน เป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาเช่นกัน

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด พักข้าวทั้ง 6 ชนิดด้วยวิธี ABTS assay โดยในการทดสอบนี้ สารมาตรฐานที่ใช้ ascorbic acid ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ หรือ radical scavenger ที่มีฤทธิ์แรง ซึ่งผลการทดสอบได้ค่า IC_{50} เท่ากับ $2.79 \pm 0.67 \mu\text{g/mL}$ ²³ การศึกษาครั้งนี้พบว่าสารสกัดพักข้าว 6 ชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ และฤทธิ์เป็นแบบขึ้นกับความเข้มข้น (concentration-dependent manner) สารสกัดมีฤทธิ์ที่ต่างกันโดยสารสกัดผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม ผลสุกคั้นสด ยอดอ่อนลวก มีค่า R_{max} ใกล้ร้อยละ 100 เช่นเดียวกับ ascorbic acid ในขณะที่สารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดต้มและคั้นสดมีค่าไม่ถึงร้อยละ 90 (Figure 2) และเมื่อพิจารณาที่ค่า IC_{50} พบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ดีกว่าสารสกัดอีก 5 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) จากข้อมูลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพักข้าวที่ผ่านมาพบว่า สารสกัดที่สกัดด้วย organic solvents (เอทานอลหรือเมทานอล) สารสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีโดยเฉพาะส่วนเนื้อผล เยื่อหุ้มเมล็ด และเมล็ด ในขณะที่ส่วนใบมีฤทธิ์ค่อนข้างต่ำ^{6,8,9,24,25} จากผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่า สำหรับพักข้าวส่วนยอดอ่อน (ใบและเถาอ่อน) วิธีการสกัดด้วยน้ำโดยเลียนการลวกผักจะให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี และเมื่อน้ำเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการประกอบอาหาร การบริโภคยอดอ่อนพักข้าวเป็นผักลวก น่าจะให้ประโยชน์ในฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งควรมีการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป

การที่สารสกัดยอดอ่อนลวก มีฤทธิ์การต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าสารสกัดพักข้าวอีก 5 ชนิด ทั้งสารสกัดแบบต้ม (เนื้อผลอ่อน เนื้อผลสุก และเยื่อหุ้มเมล็ด) และสารสกัดแบบคั้นสด (เนื้อผลสุกและเยื่อหุ้มเมล็ด) ฤทธิ์ที่แตกต่างกันเป็นไปได้อาจเกิดจากความแตกต่างของส่วนของพืชและชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ในพืชแต่ละส่วนอาจถูกสกัดออกมาได้ด้วยตัวทำละลายที่ต่างกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการสกัดเลียนแบบการต้ม ที่ใช้เวลาการสกัดมากกว่าการสกัดเลียนแบบการลวก ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้²⁶ ดังนั้นการต้มด้วยความร้อนที่นานกว่าจึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ของสารสกัดพักข้าวในส่วนผลอ่อนต้ม ผลสุกต้ม และเยื่อหุ้มเมล็ดต้ม มีฤทธิ์ต่อยกว่าส่วนยอดอ่อนลวก แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาครั้งนี้กลับพบว่า สารสกัดที่สกัดเลียนแบบการคั้นสดเพื่อรับประทานในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและผลสุกนั้น ฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลับมีฤทธิ์ต่ำกว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกเช่นกัน แม้การสกัดด้วยวิธีคั้นสดจะไม่ได้ใช้

ความร้อนเลย สารสำคัญที่พบในพักข้าว ได้แก่ saponins, carotenoids (lycopene, β -carotene, α -carotene, lutein), สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์^{1,6,10} สารเหล่านี้ต่างมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ carotenoids เป็นสารที่ละลายได้ดีในไขมัน saponins เป็นสารที่ละลายได้ทั้งในน้ำและไขมัน ขณะที่สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและสามารถละลายได้ในน้ำ จากผลการศึกษาครั้งนี้ในฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน พักข้าวส่วนยอดอ่อนมีฤทธิ์ที่ดีกว่าส่วนเนื้อผล และเยื่อหุ้มเมล็ด เมื่อสารที่พบมากในส่วนผลและเยื่อหุ้มเมล็ด คือ สารกลุ่ม carotenoids^{1,6} ที่ไม่น่าจะสามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยการต้มหรือการคั้นสดด้วยน้ำ ในขณะที่ส่วนยอดอ่อน (เถาและใบอ่อน) แม้ยังไม่มีข้อมูลการศึกษาสารสำคัญ แต่จากข้อมูลพักข้าวส่วนลำต้นและเถา พบว่ามีสารกลุ่ม saponins¹⁰ ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำ จึงอาจเป็นสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ของยอดอ่อน นอกจากนี้สารที่ละลายน้ำได้ดีอื่นๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ก็อาจเป็นสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ได้ แม้ส่วนเนื้อผลและเยื่อหุ้มเมล็ดจะพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เช่นกัน⁶ แต่ปริมาณสารดังกล่าวอาจน้อยกว่าในส่วนยอดอ่อน ทำให้แสดงฤทธิ์ได้น้อยกว่า ทั้งนี้จำเป็นต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมต่อไป ดังนั้นนอกจากปัจจัยเรื่องส่วนของพืช ตัวทำละลายในการสกัดแล้ว วิธีการสกัดน่าจะมีผลต่อการออกฤทธิ์ของพักข้าวได้ เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงก่อนจะนำพักข้าวไปใช้ประโยชน์ อีกทั้งควรมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญในยอดอ่อนพักข้าวกับพักข้าวส่วนอื่น เพื่อให้ทราบสารสำคัญที่น่าจะเป็นสารออกฤทธิ์

อนุมูลอิสระเป็นตัวการที่สำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติของสารต่าง ๆ ในเซลล์รวมถึงไขมันทำให้เกิดปฏิกิริยา ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อกับสารอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดภาวะ oxidative stress เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ หากกระบวนการลูกโซ่นี้ดำเนินต่อไปจะก่อพยาธิสภาพและโรคต่าง ๆ ขึ้นในที่สุด เช่น การอักเสบ โรคการเสื่อมของระบบประสาท และโรคเบาหวาน เป็นต้น^{11,12,13} สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ยับยั้งปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ มีความเกี่ยวข้องกับการช่วยป้องกันการเกิดพยาธิสภาพได้^{11,14,17} จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารสกัดยอดอ่อนลวกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ยับยั้งปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน และการที่พักข้าวเป็นพืชที่ได้รับความนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารอยู่แล้ว ดังนั้นการบริโภคพักข้าวโดยเฉพาะส่วนยอดอ่อน (ใบ เถาอ่อน) น่าจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาครั้งนี้

เป็นการตรวจสอบฤทธิ์ในเบื้องต้นควรมีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดนี้ในการป้องกันการเกิดพยาธิสภาพที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ ในแบบจำลองของการเกิดพยาธิสภาพทั้งในหลอดทดลองหรือสัตว์ทดลอง รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษของพืชนี้เพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2561 คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณสำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์พืชที่ได้รับ ความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.วนิดา ไทรชมภู คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. Vuong L, Franke A, Custer L, Murphy S. *Momordica cochinchinensis* Spreng. (Gac) fruit carotenoids reevaluated. *J Food Compost Anal* 2006; 19(6-7): 664-668.
2. กรมกัญญาณ์ ภูมิประวดี. พักข้าว พืชพื้นบ้านมากคุณค่า. หมอชาวบ้าน. กรุงเทพฯ: 2556.
3. Yu JS, Roh HS, Lee S, Jung K, Baek KH, Kim KH. Antiproliferative effect of *Momordica cochinchinensis* seeds on human lung cancer cells and isolation of the major constituents. *Rev Bras Farmacogn* 2017; 27(3): 329-333.
4. Jung K, Chin Y, Yoon K, Chae H, Kim C, Yoo H, et al., Anti-inflammatory properties of a triterpenoidal glycoside from *Momordica cochinchinensis* in LPS-stimulated macrophages. *Immunopharmacol Immunotox* 2013; 35(1): 7-14.
5. Iamsaard S, Sukhorum W, Sampannang A, Sripanidkulchai B. Protective effect of *Momordica cochinchinensis* (L.) Spreng aril extract on essential testicular markers in rats induced with valproic acid. *Int J Morphol* 2017; 35(3): 992-999.
6. Kubola J, Siriamornpun S. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chem* 2011; 127(3): 1138-1145.
7. Tinrat S, Akkarachaneeyakorn S, Singhapol C. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of *Momordica cochinchinensis* (gac fruit) ethanol

extract. *Int J Pharm Sci Res* 2014; 5(8): 3163-3169.

8. Leevutinun P, Krisadaphong P, Petsom A. Clinical evaluation of Gac extract (*Momordica cochinchinensis*) in an antiwrinkle cream formulation. *J Soc Cosmet Chem* 2015; 66(3): 175-188.
9. Chantarangsee M. Antioxidant and antibacterial activities of ethanolic extracts from different parts of gac fruit. *KKU Sci J* 2015; 43(3):490-502.
10. Lin Z, Liu X, Yang F, et al. Structural characterization and identification of five triterpenoid saponins isolated from *Momordica cochinchinensis* extracts by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Int J Mass Spectrom* 2012; 328-329: 43-66.
11. Jiang T, Sun Q, Chen S. Oxidative stress a major pathogenesis and potential therapeutic target of antioxidative agents in Parkinson's disease and Alzheimer's disease. *Prog Neurobiol* 2016; 1468: 1-19.
12. Mateen S, Moin S, Khan AQ, Zafar A, Fatima N. Increased reactive oxygen species formation and oxidative stress in rheumatoid arthritis. *PLoS One* 2016; 11(4): 1-15.
13. Gaschler MM, Stockwell BR. Lipid peroxidation in cell death. *Biochem. Biophys Res Commun* 2017; 482(3): 419-425.
14. Rosillo M, Alarcon C, Sanchez M. An update on dietary phenolic compounds in the prevention and management of rheumatoid arthritis. *Chem Sci* 2016; 7(1): 2943-2969.
15. Zhao L, Dou J, Wu T, Haji AA. Investigating the antioxidant and acetylcholinesterase inhibition activities of *Gossypium herbaceum*. *Molecules* 2013; 18: 951-962.
16. เบญจมาศ คุณนี้, อัจฉรา พรหมลาภักษ์, ชญาณ์พิมพ์ บุญชู, ธนาวุธ เขาคดี, บุญญวัฒน์ บุญระดม, วณิชชกร สิงห์บรรณ, อชิตา จารุโชติภมม, ปวีตรา พูลบุตร. ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากผลมะเดื่ออุทุมพรด้วยเอทานอล. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.ชรมศาสตร์* 2562; 27(5): in print.
17. Krajčovičová-Kudláčková M, Pauková V, Bačková M, Dušinská M. Lipid peroxidation in relation to vitamin c and vitamin e levels. *Cent Eur J Publ Health*

- 2004; 12 (1): 46-48.
18. Badmus JA, Odunola OA, Yekeen TA, Gbadegesin AM, Fatoki JO, et al. Evaluation of antioxidant, anti-mutagenic, and lipid peroxidation inhibitory activities of selected fractions of *Holarrhena floribunda* (G. Don) leaves. *Acta Biochim Pol* 2013; 60(3): 435-442.
 19. Saha P, Mazumder UK, Haldar PK. *In vitro* antioxidant activity of *Cucurbita maxima* aerial parts. *Free Radical Antioxid* 2011; 1(1): 42-48.
 20. Saha P, Kundu Sen S, Bala A, Mazumder UK, Haldar PK. Evaluation of anticancer activity of *Lagenaria siceraria* aerial parts, *Int J Cancer Res* 2011; 7(3): 244-253.
 21. Oloyede OI, Aluko OM. Determination of antioxidant potential of *Momordica foetida* leaf extract on tissue homogenate. *Sci J Med Clin Trial* 2012; 225: 4 Pages.
 22. Shodehinde SA, Adefegha SA, Oboh G, Oyeleye SI, Olasehinde TA, et al. Phenolic composition and evaluation of methanol and aqueous extracts of bitter melon (*Momordica charantia* L.) leaves on angiotensin-converting enzyme and some pro-oxidant-induced lipid peroxidation *in vitro*. *J Evid Based Complementary Altern Med* 2016; 21(4): NP67-NP76.
 23. Kant K, Walia M, Agnihotri VK, Pathania V, Singh B. Evaluation of antioxidant activity of *Picrorhiza kurroa* (Leaves) extracts. *Indian J Pharm Sci* 2013; 75(3): 324-329.
 24. Fang QM, Zhang H, Cao Y, Wang C. Anti-inflammatory and free radical scavenging activities of ethanol extracts of three seeds used as "Bolengguazi". *J Ethnopharmacol* 2007; 114 (1): 61-65.
 25. Uddin N, Islam R, Hasan N, Hossain MS, Roy A, et al. DPPH scavenging assay of eighty-four Bangladeshi medicinal plants. *Int J Pharm Bio Sci* 2013; 6(5): 66-73.
 26. Vergara-Salinas JR, Pérez-Jiménez J, Torres JL, Agosin E, Pérez-Correa JR. Effects of temperature and time on polyphenolic content and antioxidant activity in the pressurized hot water extraction of deodorized thyme (*Thymus vulgaris*). *J Agric Food Chem* 2012; 60(44): 10920-10929.

ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl

Effects of *Nelumbo nucifera* Flower Extract on GK/Jcl Ratsเทพพิทักษ์ จิวกว้าง¹, นพรัตน์ พุทธกาล^{2*}Theppituk Jewkrang¹, Nopparat Buddhakala^{2*}

Received: 28 January 2019 ; Revised: 10 June 2019 ; Accepted: 25 June 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อการต้านอนุมูลอิสระ การลดระดับน้ำตาลในเลือด ค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลินในหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ทำการสกัดสารจากดอกบัวหลวงด้วยเอทานอล 95 % วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และทดสอบฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดโดยการแบ่งหนูทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 6 ตัว กลุ่มที่ 1 หนูควบคุมที่ได้รับน้ำกลั่น กลุ่มที่ 2 หนูที่ได้รับยาไกลเบนคลาไมด์ขนาด 0.25 mg/kg กลุ่มที่ 3, 4 และ 5 หนูที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 100, 250 และ 500 mg/kg ตามลำดับ บันทึกระดับน้ำตาลในเลือดหนูทดลองวันที่ 1 วันที่ 4 และวันที่ 8 เมื่อทดลองครบ 8 วัน เก็บตัวอย่างเลือดจากหัวใจหนูเพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลิน ผลการทดลองพบสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของสารสกัดจำนวน 87 ชนิดเป็นสารที่พบในปริมาณมาก 5 ชนิด คือ Nonacosan-10-ol (26.89%), *n*-Hexadecanoic acid (14.51 %), 9, 12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (9.47 %), 9, 12, 15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- (6.47 %) และ 6 α -beta-Aporphine, 1, 2-dimethoxy- (3.02 %) และสารปริมาณน้อย 82 ชนิด สารสกัดดอกบัวหลวงที่มีความเข้มข้น 400 μ g/ml มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสาร BHT โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระเป็น 87.25 \pm 1.05% และ 49.57 \pm 1.22% ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดดอกบัวหลวงที่ขนาด 100, 250 และ 500 mg/kg ทำให้หนูกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 มีระดับน้ำตาลในเลือดลดลงมาใกล้เคียงกับหนูกลุ่มที่ 2 แต่หนูที่ได้รับสารทดสอบทุกกลุ่มมีระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากหนูกลุ่มควบคุม การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดส่วนหนึ่งเกิดจากสารออกฤทธิ์ที่เป็นองค์ประกอบของสารสกัด โดยไม่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัม สารสกัดดอกบัวหลวงจึงเหมาะในการนำมารักษาผู้ป่วยที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูง หรือเริ่มเป็นเบาหวาน

คำสำคัญ: สารสกัดดอกบัวหลวง องค์ประกอบทางเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพ หนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl

Abstract

The aims of this research were to analyze the chemical components and to determine the biological activities of *Nelumbo nucifera* flower extract on antioxidant activity, hypoglycemic activity, blood chemistry and serum insulin levels in GK/Jcl rats. The *N. nucifera* flower extract was prepared by macerating *N. nucifera* flower powder in 95% ethanol. The chemical components of the extract were analysed using GC-MS. The antioxidant activity was tested using DPPH assay. To determine the hypoglycemic activity of the extract, the rats were equally divided into 5 groups with 6 rats in each; groups 1: control rats received distilled water, group 2: rats received 0.25 mg/kg Glibenclamide, groups 3, 4 and 5: rats received 100, 250 and 500 mg/kg *N. nucifera* flower extract, respectively. Blood glucose levels were recorded on day 1, 4, and 8. On day 8, the blood was collected by cardiac puncture and serum was separated for analysis of blood chemistry

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹ Master of Science Student, Program in Biology, ² Assist. Prof. Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi District, Pathum Thani 12110, Thailand

* Corresponding author: E-mail: nopparat_b@rmutt.ac.th

and serum insulin levels. The results revealed that 87 chemical components were found in the extract with 5 main compounds; Nonacosan-10-ol (26.89 %), *n*-Hexadecanoic acid (14.51 %), 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (9.47 %), 9, 12, 15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- (6.74 %) and 6a-beta-Aporphine, 1, 2-dimethoxy- (3.02 %), and 82 trace components. At a concentration of 400 µg/ml, the extract showed a higher antioxidant activity than BHT with a percentage radical scavenging of $87.25 \pm 1.05\%$ and $49.57 \pm 1.22\%$, respectively. The extract at doses of 100, 250 and 500 mg/kg lowered the blood glucose level of the rats in group 3, group 4 and group 5 closely to those in group 2. However, the serum insulin levels of all experimental groups and the control group were not significantly different. The results of this study indicate that *N. nucifera* flower extract possesses antioxidant and hypoglycemic activity. The underlying mechanism of hypoglycemic activity is partially due to the active compounds found in the extract excluding the responsibility of serum insulin. *N. nucifera* flower extract is feasible for treating people with high blood glucose levels or at an initial stage of diabetes.

Keywords: *Nelumbo nucifera* flower extract, Chemical components, Biological activity, GK/Jcl rat

บทนำ

ผู้ป่วยเบาหวานเรื้อรังพบได้ในทุกเพศ ทุกวัย แต่พบได้มากในผู้สูงอายุที่มีข้อมูลรายงานจากสหพันธ์เบาหวานนานาชาติ (International Diabetes- Federation, IDF) ว่าในปี พ.ศ.2558 มีผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลก (อายุ 20-79 ปี) จำนวน 415 ล้านคน และคาดว่าในปี พ.ศ. 2583 จะมีผู้ป่วยเบาหวานสูงถึง 642 ล้านคน ประมาณร้อยละ 90 ของผู้สูงอายุป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มักมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคแทรกซ้อน เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง โรคไตวาย และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น โรคดังกล่าวเป็นอันตรายต่อชีวิตและทำให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตเสื่อมลงอายุสั้นลง และมีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูง จึงเป็นปัญหาด้านสาธารณสุข¹ การรักษาเบาหวานโดยแพทย์แผนปัจจุบันต้องคอยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าปกติ (70-99 mg/dl) ด้วยการรับประทานยาเม็ด เช่น ยาอะคาร์โบส (Acarbose) เมทฟอร์มิน (Metformine) ไกลเบนคลาไมด์ (Glibenclamide) หรือฉีดฮอร์โมนอินซูลินโดยต่อเนื่องเนื่องจากยาเหล่านี้ก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อผู้ป่วยเบาหวาน เช่น ทำให้เกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องร่วง กระเพาะอาหารอักเสบ และเกิดบาดแผลในกระเพาะอาหาร² มีรายงานว่าร้อยละ 67 ของผู้ป่วยเบาหวานได้ใช้สมุนไพรในการรักษาควบคู่กับยาแผนปัจจุบัน การควบคุมอาหาร และการออกกำลังกาย ซึ่งทำให้ผู้ป่วยเบาหวานมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นอายุยืนมากขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการรักษาโรคเบาหวาน หรือลดโรคแทรกซ้อนจากเบาหวานได้ดีขึ้น สมุนไพรที่นิยมใช้ในการลดระดับน้ำตาลในเลือดผู้ป่วยเบาหวาน ได้แก่ บอระเพ็ด ขิง ใบชะพลู กระเทียม มะระ กระเจี๊ยบแดง ดอกคำฝอย พริก และบัวหลวง เป็นต้น³

บัวหลวง (*Nelumbo nucifera* Gaerth ; Sacred lotus) พบได้ในภูมิภาคเขตอบอุ่นและเขตร้อน บริเวณที่ราบลุ่มบ่อน้ำ

และหนองน้ำ โดยพบมากในประเทศแถบทวีปเอเชีย เช่น จีน ทิเบต อินเดียไทยและในประเทศออสเตรเลีย⁴ บัวหลวงถูกนำมาใช้ในการรักษาอาการของโรคต่าง ๆ ดังนี้

ดอกบัวหลวงใช้รักษาโรคความดันโลหิตสูง โรคเมเร็ง เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไต มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ขยายหลอดเลือด เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ ปรับสมดุลของอุณหภูมิในร่างกาย ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับไขมันในเลือด และต้านอนุมูลอิสระ⁵

ใบบัวหลวง ใช้รักษาอาการท้องร่วง อาการไข้สูง รักษาโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ โรคผิวหนังอักเสบ ป้องกันโรคอ้วน รักษาโรคหลอดเลือดหัวใจ ลดระดับไขมันในเลือด และต้านอนุมูลอิสระ⁶

รากบัวหลวง ใช้ในการรักษาอาการไข้สูง มีฤทธิ์ขับปัสสาวะ รักษาโรคอ้วน ลดระดับน้ำตาลในเลือด และต้านอนุมูลอิสระ¹⁰

เมล็ดบัวหลวง ใช้บำรุงม้าม แก้ไอ รักษาความผิดปกติของระบบประสาท อาการนอนไม่หลับ รักษาโรคความดันโลหิตสูง ต้านอักเสบ ต้านไวรัส ป้องกันโรคอ้วน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ¹¹ เนื่องจากบัวหลวงมีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น อัลคาลอยด์ (Alkaloids) สเตียรอยด์ (Steroids) ไตรเทอร์ปีนอยด์ (Triterpenoids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ไกลโคไซด์ (Glycosides) และพอลิฟีนอล (Polyphenol) เป็นต้น^{12,13} ชาริณีได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกลีบดอกบัวหลวงที่สกัดด้วยเอทานอล 95 % ด้วยวิธี DPPH assay โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1 และ 2mg/ml พบว่าสารสกัดทั้งสองชนิดของกลีบดอกบัวหลวงสีขาวและสีชมพูมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.25mg/ml โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ $94.95 \pm 0.00\%$ และ $95.44 \pm 0.22\%$

ตามลำดับ¹⁴ มีรายงานการศึกษาฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดพบว่าสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 250 mg/kg สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูเบาหวานที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย Streptozotocin ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับหนูเบาหวานกลุ่มควบคุม¹⁵

งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ซึ่งเป็นหนูที่พัฒนามาจากหนูขาวสายพันธุ์วิสตา (Wistar rats) ให้เป็นหนูกลุ่มโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่พัฒนาจากหนูขาวต่างสายเลือดกันจำนวน 30 รุ่น โดยโยชิโอะ โกโตะ และมาซาเอะ คาชิซากิ จากมหาวิทยาลัยโตโฮคุ ในปีค.ศ. 1975 ได้ผสมพันธุ์หนูขาวสายพันธุ์นี้เพื่อผลิตเป็นหนูเบาหวานชนิดที่ 2 ตั้งแต่อายุ 4 สัปดาห์ มีค่าระดับน้ำตาลในเลือดสูงถึง 200 mg/dl และระดับฮอร์โมนอินซูลินในเลือดต่ำ (Hypoinsulinemia)¹⁶ แต่มีระดับไขมันในเลือดปกติ (Normalipidemia) มีความต้านทานน้ำตาลกลูโคสบกพร่อง (Impaired glucose tolerance) และเริ่มมีอาการของโรคแทรกซ้อนเบาหวานเกิดขึ้น เช่น โรคแทรกซ้อนทางตา (Retinopathy) โรคแทรกซ้อนทางไต (Nephropathy) โรคเส้นประสาท (Neuropathy) โรคกล้ามเนื้อหัวใจเสื่อม (Cardiomyopathy) และการทำงานของตับบกพร่อง (Hepatic impairment)¹⁷ นอกจากนี้ Porthaet *al.* ได้รายงานเกี่ยวกับการลดลงของมวลตับอ่อน และการทำงานที่ผิดปกติของเบต้าเซลล์ มีสาเหตุมาจากพันธุกรรม ส่งผลให้ยีนควบคุมการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินบกพร่องและสารตัวรับน้ำตาลกลูโคส (GLUT4)¹⁸ มีการทำงานลดลง เนื่องจากเมแทบอลิซึมที่ผิดปกติทำให้เกิดภาวะของระดับน้ำตาลในเลือดสูง เบต้าเซลล์ในตับอ่อนลดจำนวนลงอย่างต่อเนื่องทำให้อินซูลินที่ผลิตขึ้นไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในภาวะปกติได้¹⁹

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดดอกบัวหลวง
2. เพื่อทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อการต้านอนุมูลอิสระการลดระดับน้ำตาลในเลือด ค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลินในหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารสกัดดอกบัวหลวง

เลือกเก็บดอกบัวหลวงที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีลักษณะดอกสมบูรณ์ไม่เป็นโรค และพร้อมที่จะบานจากบ่อน้ำสาธารณะบริเวณตำบลคลองหกอำเภอรัญบุรีจังหวัดปทุมธานี นำดอกบัวหลวงมาล้างให้สะอาด จากนั้นหั่นทุกส่วนของ

ดอกบัวเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาอบที่อุณหภูมิ 50°C จนแห้ง แล้วบดเป็นผงจากนั้นนำไปหมักในตัวทำละลายเอทานอล 95 % ในอัตราส่วนผงดอกบัว 400 กรัม ต่อเอทานอล 1 ลิตร หมักส่วนผสมทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์แล้วกรองเอาส่วนที่เป็นกากออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนที่กรองได้มาระเหยเพื่อกำจัดตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator จนกระทั่งได้ส่วนที่เป็นสารสกัดหยาบ (Crude extract) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C¹⁵ เพื่อรอการนำไปทดลอง

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer) การตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-MS ในครั้งนี้ใช้แก๊สฮีเลียม 99.99 % เป็นตัวพาคอลัมน์ที่ใช้คือ Agilent- CP9205 VF-WAXms (30 mx 0.25 ml x 0.25 ml) ที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 ml/min โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นของคอลัมน์เท่ากับ 45 °C เป็นเวลา 2 min จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 4.5 °C/min จนถึง 250°C แล้วฉีดสารทดสอบในส่วนของ Mass Spectrometer มีอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนเท่ากับ 230 °C และอุณหภูมิส่วนตัดแยกเท่ากับ 150 °C โดยพลังงานของอิเล็กตรอนที่วิ่งชนโมเลกุลของสารเท่ากับ 70 eV จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลใน Mass Hunter Software โดยส่งตรวจวิเคราะห์หาค่าดัชนีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

3. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ได้ประยุกต์จากวิธีการของสาวิตรีโดยเตรียมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 60 µg/ml ในเอทานอล 99% จากนั้นเตรียมสารทดสอบ (สารสกัดดอกบัวหลวง และสาร BHT) ความเข้มข้น 25, 50, 100, 200 และ 400 µg/ml ในตัวทำละลายเอทานอล 99% นำสารทดสอบแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 750 µl เติลงในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 750 µl ลงในหลอดทดลองตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 nm²⁰ และคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระจากสูตร

$$\% \text{ Radical scavenging} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

4. การเตรียมสัตว์ทดลอง

4.1 ใช้หนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl (ประเทศญี่ปุ่น) เพศผู้ อายุ 11 สัปดาห์ จำนวน 30 ตัวน้ำหนัก 200-250 g นำมาเลี้ยงที่ห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ซึ่งผ่านการรับรองจริยธรรมในสัตว์เพื่อการวิจัยเลขที่ PS-59004 โดยควบคุมอุณหภูมิ $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ให้ได้รับแสงสว่าง 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์และให้หนูได้รับอาหารและน้ำตลอดการทดลอง

4.2 วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งหนูทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 6 ตัวโดยประยุกต์วิธีการจากงานวิจัยที่สัมพันธ์กับงานวิจัยครั้งนี้^{21, 22, 23} ดังนี้

กลุ่มที่ 1 หนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำกลั่น

กลุ่มที่ 2 หนูที่ได้รับยาไกลเบนคลาไมด์ขนาด 0.25mg/kg

กลุ่มที่ 3 หนูที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 100mg/kg

กลุ่มที่ 4 หนูที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 250mg/kg

กลุ่มที่ 5 หนูที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 500mg/kg

บันทึกข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดในภาวะอดอาหารของหนูทุกตัวในวันที่ 1 วันที่ 4 และวันที่ 8 ของการทดลอง ทำให้หนูอดอาหารเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมงก่อนทำการเจาะเลือด การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดกระทำหลังจากให้สารสกัดแก่หนูทดลองแล้ว 2 ชั่วโมง โดยเจาะเลือดบริเวณปลายหางของหนูทุกตัวแล้วนำไปตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วย Glucose meter และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บรวบรวมตัวอย่างเลือดจากหัวใจของหนูทดลองเพื่อศึกษาค่าเคมีโลหิตและระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัม ค่าเคมีโลหิตที่ทำการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ALP (Alkaline phosphatase), ALT (SGPT; Alanineaminotransferase), AST (SGOT; Aspartate transaminase), TP (Total protein), ALB (Albumin), GLO (Globulin), BUN (Blood urea nitrogen), Cr (Creatinine), CHOL (Cholesterol), HDL (High density lipoprotein) และ LDL (Low density lipoprotein) โดยส่งตรวจวิเคราะห์ที่ศูนย์สัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ส่วนระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัม ใช้วิธีตรวจวัดด้วยเครื่อง Radio immunoassay kit และอ่านค่าโดยใช้เครื่อง Automatic gamma counter ณ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่น

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
- ทดสอบสมมุติฐานโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way analysis of Variance)
- เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดดอกบัวหลวง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดดอกบัวหลวงด้วยเครื่อง GC-MS พบสารทั้งหมด 87 ชนิด โดยจัดเรียงลำดับสารปริมาณมากจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Nonacosan-10-ol (26.89 %), *n*-Hexadecanoic acid (14.51 %), 9, 12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (9.47 %), 9, 12, 15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- (6.74 %) และ 6 α -beta-Aporphine, 1, 2-dimethoxy- (3.02%) ดังแสดงใน Figure 1 และสารปริมาณน้อยจำนวน 82 ชนิด (Table 1)

ซึ่งชนิดของสารที่พบเป็นองค์ประกอบในสารสกัด ดอกบัวหลวงจากงานวิจัยในครั้งนี้ ส่วนใหญ่เป็นจำพวก สารระเหย (Essential oil) ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคมีสำคัญที่พบเป็นองค์ประกอบของสารสกัดดอกบัวหลวงจากการวิจัยในครั้งนี้ มีบางชนิดที่เคยมีรายงานวิจัยการพบสารสำคัญในส่วนอื่น ๆ ของบัวหลวง เช่น พบสาร Nonacosan-10-ol ในสารสกัดจากขี้ผึ้งที่ผิวใบของบัวหลวง²⁴ *n*-Hexadecanoic acid ในเมล็ดบัวหลวงซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์²⁵ และ 9, 12-Octadecadienoic acid ในสารสกัดดอกบัวหลวงที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 % ซึ่งมีฤทธิ์ในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์²⁶ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สาร 9, 12-Octadecadienoic acid และ *n*-Hexadecanoic acid มีคุณสมบัติสำคัญในการช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (Hypoglycemia) ลดระดับไขมันในเลือด (Hypolipidemia) และลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Hypocholesterolemia) ได้ด้วย²⁷ อย่างไรก็ตาม การพบสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในพืช ขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่นำมาวิเคราะห์ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดรวมทั้งวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ขององค์ประกอบทางเคมี²⁸

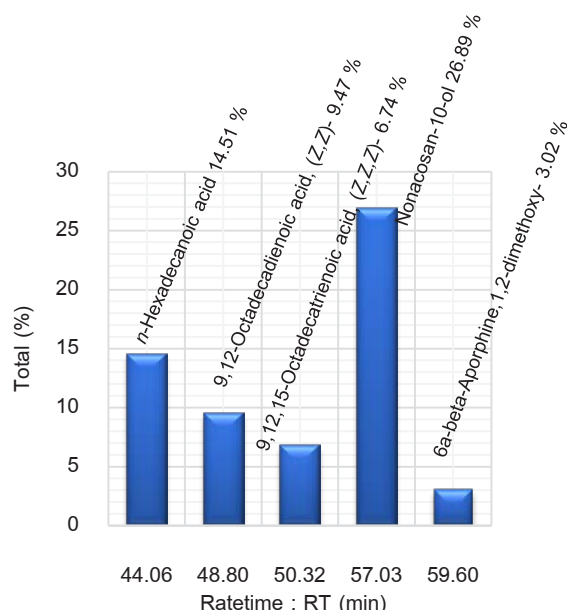


Figure 1 Main chemical components found in *N. nucifera* flower extract

Table 1 The lists of 82 trace chemical components found in *N. nucifera* flower extract (GC-MS)

No.	RT (min)	Name of the compound	Molecular formula	w/w (%)
1	5.0826	2-Butyl-(2-methylbutylidene)-amine	C ₉ H ₁₉ N	0.01
2	5.1270	N-ethylpyrrolidine	C ₆ H ₁₃ N	0.02
3	6.8133	1-Butanamine, 2-methyl-N-(2-methylbutylidene)-	C ₁₀ H ₂₁ N	0.03
4	7.3203	Alpha-Humulene	C ₁₅ H ₂₄	0.03
5	7.3603	1-Butanamine, 3-methyl-N-(3-methylbutylidene)-	C ₁₀ H ₂₁ N	0.04
6	13.6725	Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	0.06
7	15.1810	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	0.05
8	16.3103	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	0.04
9	17.0491	1-Pentadecene	C ₁₅ H ₃₀	0.01
10	18.1598	2-Butanol, 3-methyl-, (S)-	C ₅ H ₁₂ O	0.02
11	18.8658	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	0.08
12	19.2270	1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	C ₁₀ H ₁₆ O	0.02
13	20.6359	3-Methylbutanoic Acid	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.03
14	21.3181	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	0.05
15	21.5887	1-Cyclohexene-1-methanol, 2,6,6-trimethyl-	C ₁₀ H ₁₈ O	0.04
16	21.7139	8-Heptadecene	C ₁₇ H ₃₄	0.03
17	22.0138	3-Heptadecene, (Z)-	C ₁₇ H ₃₄	0.04
18	22.6504	6(E),8(E)-Heptadecadiene	C ₁₇ H ₃₂	0.05
19	23.3885	2-methylbutylidene 2-phenylethyl amine	C ₁₃ H ₁₉ N	0.02
20	23.6612	Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	0.07
21	25.9049	Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	0.28
22	25.9934	Benzeneethanol	C ₈ H ₁₀ O	0.11
23	26.1179	2,6-Bis (1,1-dimethylethyl)-4-methyl-phenol	C ₁₅ H ₂₄ O	0.04
24	26.5805	Z-5-Nonadecene	C ₁₉ H ₃₈	0.05

Table 1 The lists of 82 trace chemical components found in *N. nucifera* flower extract (GC-MS) (Cont.)

No.	RT (min)	Name of the compound	Molecular formula	w/w (%)
25	27.2562	1-Tetradecanol	C ₁₄ H ₃₀ O	0.01
26	28.0435	Eicosane	C ₂₀ H ₄₂	0.08
27	28.4987	2-Pyrrolidinone	C ₄ H ₇ NO	0.04
28	28.5864	2(3H)-Furanone, dihydro-3-hydroxy-4,4-dimethyl-	C ₆ H ₁₀ O ₃	0.05
29	28.9903	Tetradecanoic acid, ethyl ester	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.04
30	29.6652	Benzenemethanol	C ₇ H ₈ O	0.50
31	29.7501	1,2 Benzene dicarboxylic acid diethyl ester	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	0.01
32	29.9561	<i>n</i> -Tridecan-1-ol	C ₁₃ H ₂₈ O	0.03
33	30.1136	Heneicosane	C ₂₁ H ₄₄	0.86
34	30.5022	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl	C ₁₈ H ₃₆ O	0.06
35	30.7724	Henicos-1-ene	C ₂₁ H ₄₂	0.03
36	31.0543	Pentadecanoic acid, ethyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.05
37	31.8602	4 - vinyl - guaiacol	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.01
38	32.0683	Docosane	C ₂₂ H ₄₆	0.10
39	32.3249	Hexadecanoic acid, methyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.07
40	33.0541	Hexadecanoic acid, ethyl ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2.15
41	33.2026	4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	C ₆ H ₈ O ₄	0.04
42	33.3953	Benzenemethanol, 4-methoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.03
43	33.7614	Ethyl 9-hexadecenoate	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.18
44	33.9774	Tricosane	C ₂₃ H ₄₈	1.34
45	34.1374	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	C ₁₄ H ₂₂ O	0.06
46	34.6257	9-Tricosene, (Z)-	C ₂₃ H ₄₆	0.10
47	34.9405	Heptadecanoic acid, ethyl ester	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	0.04
48	35.5715	4-Vinylphenol	C ₈ H ₈ O	0.03
49	35.7782	Tetracosane	C ₂₄ H ₅₀	0.16
50	36.7723	Octadecanoic acid, ethyl ester	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.13
51	37.0911	(E)-9-Octadecenoic acid ethyl ester	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	0.33
52	37.5488	Pentacosane	C ₂₅ H ₅₂	1.21
53	37.9162	Linoleic acid ethyl ester	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	1.46
54	38.1998	1-Pentacosanol	C ₂₅ H ₅₂ O	0.24
55	38.4458	Acetic acid, phenyl-	C ₈ H ₈ O ₂	0.07
56	39.0345	9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	1.04
57	39.2307	Hexacosane	C ₂₆ H ₅₄	0.15
58	39.3225	Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	0.21
59	40.2348	Eicosanoic acid, ethyl ester	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	0.09
60	40.7100	Tetradecanoic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.23
61	40.8832	Heptacosane	C ₂₇ H ₅₆	1.47
62	41.5286	1-Heptacosanol	C ₂₇ H ₅₆ O	0.59
63	42.3761	Pentadecanoic acid	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.64
64	43.3103	(2E,6E,10E)-3,7,11,15-Tetramethylhexadeca-2,6,10,14-tetraen-1-ylformate	C ₂₁ H ₃₄ O ₂	0.07
65	43.4900	Docosanoic acid, ethyl ester	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	0.24

Table 1 The lists of 82 trace chemical components found in *N. nucifera* flower extract (GC-MS) (Cont.)

No.	RT (min)	Name of the compound	Molecular formula	w/w (%)
66	44.7086	Palmitoleic acid	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	1.91
67	45.1378	Nonacosan-10-one	C ₂₉ H ₅₈ O	0.17
68	45.3375	Behenic alcohol	C ₂₂ H ₄₆ O	0.18
69	45.4612	Benzeneethanol, 4-hydroxy-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.22
70	45.5416	Heptadecanoic acid	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.44
71	46.3456	Squalene	C ₃₀ H ₅₀	0.58
72	46.5224	2-(4-Methylcyclohex-3-en-1-yl)propan-2-yl-2-methylbutanoate	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	0.80
73	47.2028	1-Heptadecanecarboxylic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1.20
74	47.7354	Heptadecene-(8)-carbonic acid-(1)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	2.36
75	48.0783	9-Octadecenoic acid, (E)-	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	1.33
76	50.6422	6-Tridecanol, 3,9-diethyl-	C ₁₇ H ₃₆ O	0.56
77	51.6179	Eicosanoic acid	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.86
78	52.6977	Z-14-Nonacosane	C ₂₉ H ₅₈	1.20
79	53.2191	Nonacosan-10-one	C ₂₉ H ₅₈ O	2.03
80	58.5181	Docosanoic acid	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	1.82
81	65.9122	1,9-Decadiene, 4,4,7,7-tetramethyl-	C ₁₄ H ₂₆	0.42
82	69.3211	Tetracosanoic acid	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	2.43

2. ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อการต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกบัวหลวงด้วยวิธี DPPH assay พบว่า สารสกัดดอกบัวหลวงสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นโดยความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ 400 µg/ml มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระสูงถึง 87.25 ± 1.05 % ในขณะที่สาร BHT ที่ความเข้มข้นเดียวกัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระเพียง 49.57 ± 1.22 % (Table 2)

Table 2 Antioxidant activity of *N. nucifera* flower extract

Samples	Concentrations (µg/ml)	% Radical scavenging	n
<i>N. nucifera</i> flower extract	25	7.10 ± 0.43 ^a	3
	50	19.77 ± 1.94 ^b	3
	100	25.61 ± 1.19 ^c	3
	200	64.52 ± 0.65 ^d	3
	400	87.25 ± 1.05 ^e	3
BHT	25	8.38 ± 0.88 ^a	3
	50	14.85 ± 1.67 ^b	3
	100	21.48 ± 0.17 ^c	3
	200	32.16 ± 1.07 ^d	3
	400	49.57 ± 1.22 ^e	3

Mean values in the same column with the different superscripts were significantly different ($p < 0.05$)

มีรายงานการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดบัวหลวง 5 ส่วนได้แก่ฝักอ่อน เกสร กลีบดอก ก้านดอก และใบที่สกัดด้วยการแช่ในตัวทำละลายเอทานอล 95% เป็นระยะเวลา 7 วันเมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดจากส่วนดังกล่าวของบัวหลวงทั้ง 5 ส่วน สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ที่ความเข้มข้น 250 µg/ml โดยสารสกัดจากกลีบดอกมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 95.44±0.22% รองลงมาได้แก่ เกสรฝักอ่อน ใบ และก้านดอกมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 94.37±0.23 , 91.29±0.82 , 39.00±0.46 และ 20.16±0.65% ตามลำดับ¹⁴ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากส่วนต่างๆของบัวหลวงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน และจะเห็นได้ว่าสารสกัดจากกลีบดอกที่ความเข้มข้นเพียง 250 µg/ml มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดดอกบัวหลวงทั้งดอกจากงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งใช้ความเข้มข้นสูงถึง 400µg/ml แต่มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระเพียง 87.25±1.05% แม้ว่าจะใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวกัน และใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากันก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะส่วนประกอบอื่นๆของดอกบัวหลวงได้แก่ เกสร และฝักอ่อนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าส่วนกลีบดอก¹⁴ จึงส่งผลให้สารสกัดจากดอกบัวหลวงทั้งดอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าสารสกัดจากเฉพาะส่วนกลีบดอก ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของส่วนต่างๆ ของพืชที่แตกต่างกันอาจขึ้นอยู่กับชนิด และ

ปริมาณสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในส่วนนั้นๆ ของพืชที่มีความแตกต่างกัน²⁹ มีรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีที่พบในสารสกัดเมล็ดบัวหลวงที่สกัดด้วยเอทานอล 75 % คือพบว่ามีสาร 9, 12- Octadecadienoic acid หรือกรดไขมันไลโนเลอิกซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และปกป้องเซลล์ตับจากอนุมูลอิสระ³⁰ และ 9, 12, 15-Octadecatrienoic acid หรือกรดไขมันแอลฟา-ไลโนเลนิกซึ่งสามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระ³¹ Heptadecane, Tetradecanoic acid และ Squalene ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นต้น³² สารสกัดดอกบัวหลวงที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ก็พบสาร 9,12- Octadecadienoic acid และ 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Figure1), Heptadecane, Tetradecanoic acid และ Squalene (Table 1) ด้วยเช่นกัน ดังนั้นฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกบัวหลวงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ส่วนหนึ่งจึงเกิดจากการมีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระประกอบในสารสกัดดอกบัวหลวง

3. ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อระดับน้ำตาลในเลือดหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl

Table 3 แสดงค่าระดับน้ำตาลในเลือดและ Table 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง(การลดลง)ระดับน้ำตาลในเลือดของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (day 0) หนูทุกกลุ่มมีระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกันหลังจากการให้สารสกัดแก่หนูทดลองแล้ว พบว่า สารสกัดทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดของหนูทดลองกลุ่มที่ 3,4 และ 5 มีค่าลดลงทั้งในวันที่ 1, 4 และ 8 ของการทดลอง ยกเว้นหนูกลุ่มที่ 5 ซึ่งในวันที่ 8 ของการทดลองไม่มีการลดลงของระดับน้ำตาลในเลือด แต่กลับมีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้นและใกล้เคียงกับระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง อย่างไรก็ตามตลอดการทดลอง พบว่า สารสกัดทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดของหนูกลุ่มที่ 3 ลดลงได้มากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากหนูกลุ่มที่ 4 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดระดับน้ำตาลในเลือดของสารสกัดดอกบัวหลวงกับยาลดระดับน้ำตาลในเลือด ไกลเบนคลาไมด์ 0.25 mg/kg พบว่า ในวันที่ 1 และ 4 ของการทดลอง สารสกัดทุกขนาดสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้น้อยกว่ายาไกลเบนคลาไมด์ 0.25 mg/kg อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 8 ของการทดลอง สารสกัดกลับสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดในหนูกลุ่มที่ 3 และ 4 ได้มากกว่ายาไกลเบนคลาไมด์ 0.25 mg/kg เมื่อเปรียบเทียบในด้านขนาดของสารสกัด พบว่า ขนาดของสารสกัดจะแปรผกผันกับความสามารถในการลดระดับน้ำตาลในเลือด ตลอดการทดลอง พบว่า สารสกัดขนาด 100 mg/kg ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดของหนูลดลงได้มากกว่าและแตกต่าง

ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากสารสกัดขนาด 250 และ 500mg/kg โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของระดับน้ำตาลในเลือดเป็น 23.35, 13.39 และ 11.11 % ในหนูที่ได้รับสารสกัดขนาด 100 mg/kg เทียบกับ 20.63, 12.62 และ 5.83 % และ 14.14, 11.76 และ +1.24 % ในหนูที่ได้รับสารสกัด 250 และ 500 mg/kg ในวันที่ 1, 4 และ 8 ของการทดลองตามลำดับการที่สารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 100mg/kg สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูได้มากกว่าขนาด 250 และ 500 mg/kg แสดงให้เห็นว่า สารสกัดขนาด 100mg/kg เป็นขนาดที่เหมาะสม (Optimum dose) สำหรับการทดลองครั้งนี้ ทั้งนี้อาจมีปริมาณของสารออกฤทธิ์ในการลดระดับน้ำตาลในเลือดที่เหมาะสม แต่เมื่อเพิ่มขนาดของสารสกัดมากขึ้นอาจทำให้มีสารซึ่งไม่มีฤทธิ์ หรือต้านการลดระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มมากขึ้นด้วย Gao *et al.* ได้ศึกษาในระดับน้ำตาลในเลือดของหนูขาวสายพันธุ์ GK ตั้งแต่หนูอายุ 4, 8, 12, 18 และ 20 สัปดาห์ ตามลำดับ พบว่าหนูขาวสายพันธุ์ GK อายุ 8 สัปดาห์ เริ่มมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น และในสัปดาห์ที่ 12-18 พบว่า เบต้าเซลล์ของเนื้อเยื่อ Islet of Langerhans ภายในตับอ่อนเกิดการทำงานล้มเหลว และลดจำนวนลงทำให้ระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมลดลงต่ำกว่าปกติ จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น³³ การทดลองในครั้งนี้ยังพบว่า ความสามารถของสารสกัดในการลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูทดลองแปรผกผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหนูขาวสายพันธุ์ GK เมื่อมีอายุมากขึ้นระดับน้ำตาลในเลือดของหนูจะยิ่งสูงขึ้น³⁴ ทำให้สารสกัดขนาดดังกล่าวไม่สามารถเอาชนะหรือแข่งขันกับระดับน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ นี้ได้จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดดอกบัวหลวงในงานวิจัยครั้งนี้พบสาร 9, 12-Octadecadienoic acid และ *n*-Hexadecanoic acid ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญในการช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (Hypoglycemia)²⁷ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า การลดระดับน้ำตาลในเลือดของสารสกัดดอกบัวหลวง ส่วนหนึ่งเกิดจากสารออกฤทธิ์ (Active compounds) ที่มีอยู่ในสารสกัดสำหรับกลไกที่ ทำให้เกิดการลดลงของระดับน้ำตาลในเลือดนั้นอาจเกิดจากการกระตุ้นการหลั่งอินซูลิน การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอินซูลิน การทำหน้าที่เหมือนอินซูลิน การลดการดูดซึมน้ำตาลจากระบบทางเดินอาหารเข้าสู่กระแสเลือด การเร่งการนำน้ำตาลไปใช้เป็นพลังงาน และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส เป็นต้น เทพพิทักษ์ และคณะ พบว่า สารสกัดดอกบัวหลวงที่สกัดด้วยเอทานอล 95 % สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสได้ ส่งผลให้ร่างกายลดการสว้างน้ำตาลลงได้³⁵ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดดอกบัว

หลวงออกฤทธิ์ในการลดระดับน้ำตาลในเลือดจากการทดลอง ในครั้งนี้เกิดจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดซึ่งไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

4. ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อค่าเคมีโลหิต

จากการวิเคราะห์ค่าเคมีโลหิตของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างไปจากเกณฑ์ปกติของหนูขาวทั่วไป โดยค่า HDL, AST, ALT, และ ALP มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปกติ แต่ Cr และ GLO ต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ ส่วน BUN, CHOL, LDL, TP และ ALB เท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ภายหลังการให้สารสกัดแก่หนูทดลอง พบว่า สารสกัดทำให้ BUN, Cr และ LDL ในหนูกลุ่มที่ 5 มีค่าลดลง ทำให้ AST ในหนูกลุ่มที่ 3 มีค่าลดลง แต่ทำให้ AST ในหนูกลุ่มที่ 4 และ ALP ในหนูกลุ่มที่ 5 มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม (Table 5)

BUN เป็นค่าซึ่งใช้บ่งบอกการทำงานของไต พบว่า หนูกลุ่มที่ 5 มีค่า BUN ต่ำกว่าหนูทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดดอกบัวหลวงส่งเสริมการทำงานของไต โดยช่วยกำจัดของเสียที่เกิดจากร่างกายย่อยสลายโปรตีนของตับจึงขับออกทางไตในรูปของยูเรียที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน (N) ดังนั้นเมื่อไตสามารถกำจัดของเสียได้เป็นปกติย่อมพบปริมาณไนโตรเจนในเลือดลดลง ในทางตรงกันข้ามการพบปริมาณ BUN ในเลือดสูงอาจมีสาเหตุมาจากร่างกายขาดน้ำภาวะหัวใจล้มเหลว หรืออาจได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนสูง เป็นต้น³⁶

Cr ของหนูได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงทุกกลุ่มมีค่า Cr ใกล้เคียงกันแต่หนูกลุ่มที่ 5 มีค่า Cr ต่ำกว่าหนูทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และหนูทุกกลุ่มมีค่า Cr ต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ (0.6-1.2 mg/dl) ครีเอตินิน (Cr) เป็นของเสียจากครีเอติน (Creatine) และฟอสโฟครีเอติน (Phosphocreatine) ในกล้ามเนื้อลายหากยังใช้กล้ามเนื้อมากย่อมส่งผลให้ค่า Cr ในเลือดสูงขึ้นทำให้ไตต้องขับครีเอตินินมากขึ้น ค่า Cr จึงบ่งชี้การทำงานของไตโดยสะท้อนถึงอัตราการระหว่างการสร้าง และการกรองซึ่งปกติแล้วการขับครีเอตินินทางไตในแต่ละวันค่อนข้างคงที่จากผลการทดลองพบว่าหนูทุกกลุ่มมีค่า Cr ต่ำกว่าเกณฑ์ปกติซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากภาวะทุพโภชนาการเนื่องจากกินอาหารน้อย มวลกล้ามเนื้อมีน้อยจึงส่งผลให้ค่า Cr ในเลือดต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ³⁶

AST ของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 มีค่าสูงกว่าหนูกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 แต่หนูกลุ่มที่ 3 ที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงขนาด 100 mg/kg มีค่า AST ต่ำกว่าหนูกลุ่มที่ 1 แต่หนูทุกกลุ่มมีค่า AST สูงกว่าเกณฑ์ปกติ (10-35 U/l) แสดงให้เห็นว่า

สารสกัดดอกบัวหลวงที่ขนาดที่สูงขึ้น ทำให้เอนไซม์ที่แสดงถึงการทำงานของตับเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติมักไม่พบเอนไซม์ AST ในกระแสเลือดหากตรวจพบเอนไซม์ชนิดนี้มากในเลือด ย่อมแสดงถึงเซลล์ตับกำลังได้รับความเสียหาย โดยมีสาเหตุมาจากอาการตับอักเสบจากการติดเชื้อ ไชมันแทรกบริเวณเนื้อเยื่อตับ หรือได้รับสารพิษ เป็นต้น³⁷ มีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นพิษในสารสกัดดอกบัวหลวงที่สกัดด้วยเอทานอล 95 % โดยป้อนสารสกัดขนาด 2,000mg/kg ให้แก่หนูขาวสายพันธุ์ Albino แล้วสังเกตอาการของหนูเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าหนูไม่แสดงอาการผิดปกติ³⁸

ALP ของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 มีค่า ALP อยู่ในเกณฑ์ปกติ (20-140U/l) แต่หนูกลุ่มที่ 5 มีค่า ALP สูงกว่าเกณฑ์ปกติ จะเห็นว่าสารสกัดดอกบัวหลวงที่ขนาด 100 และ 250 mg/kg ไม่ทำให้ค่า ALP เพิ่มขึ้นหากมีค่า ALP สูงกว่าเกณฑ์ปกติ ย่อมแสดงถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น บริเวณท่อน้ำดี อาการที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูก เช่น โรคไขข้อเสื่อม และอาการผิดปกติของเนื้อเยื่อตับได้แก่ โรคมะเร็งตับ และโรคตับแข็ง เป็นต้น ดังนั้นสารสกัดดอกบัวหลวงขนาดที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 250 mg/kg³⁹

ALT ของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ทุกกลุ่มมีค่า ALT ไม่แตกต่างกันแต่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปกติ(10-40 U/l) ซึ่งค่า ALT มีความจำเพาะต่อตับมากกว่าค่า AST หากพบค่า ALT ในเลือดสูงย่อมบ่งชี้ถึงการผิดปกติในตับ เช่นเซลล์ตับตาย มีอาการตับแข็ง ตับอักเสบและตับขาดเลือด เป็นต้น หรือแม้แต่การรับประทานยา และสมุนไพรบางชนิดเข้าไปย่อมมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า ALT³⁹

TP, ALB และ GLO ของหนูทุกกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันและมีค่า TP และ ALB อยู่ในเกณฑ์ปกติซึ่งปริมาณของ ALB ในเลือดบ่งชี้ถึงการรักษาสสมดุลของน้ำในร่างกายหากค่า ALB ต่ำอาจมีสาเหตุมาจากสภาวะร่างกายขาดน้ำและอาหารการดูดซึมสารอาหารบริเวณลำไส้ผิดปกติ และเกิดโรคตับ ในส่วนของค่า GLO ในเลือดของหนูทุกกลุ่มต่ำกว่าเกณฑ์ปกติเล็กน้อย อาจแสดงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นในตับ ไต และโรคลำไส้อักเสบ เป็นต้น³⁹

HDL, LDL และ CHOL, ของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ที่ได้รับสารสกัดดอกบัวหลวงทุกขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันหนูทุกกลุ่มมีค่า HDL สูงกว่าเกณฑ์ปกติ (40-59 mg/dl) แต่หนูทุกกลุ่มมีค่า LDL อยู่ในเกณฑ์ปกติ (<100 mg/dl) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า CHOL ของหนูทุกกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ปกติ (<200 mg/dl)ค่า HDL ที่สูงเกินเกณฑ์ปกติอาจเกิดจากความผิดปกติทางพันธุกรรมและอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็น

โรคหัวใจโรคหลอดเลือดได้³⁶ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดดอกบัวหลวงที่ขนาดต่างๆซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อค่า HDL, LDL และ CHOL ในเลือดของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl

5. ผลของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อระดับฮอร์โมนอินซูลิน

จาก Table 6 พบว่าระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ในทุกกลุ่มมีระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมต่ำกว่าหนูขาวทั่วๆ ไป (1-15 $\mu\text{U/ml}$) และหลังจากให้สารสกัดแก่หนูทดลองแล้ว ระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน และยังคงต่ำกว่าระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูขาวทั่วๆ ไป หนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ได้รับการพัฒนาให้ป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยมีลักษณะของระดับน้ำตาลในเลือดสูง แต่มีระดับฮอร์โมนอินซูลินต่ำ และเริ่มมีอาการของโรคแทรกซ้อนเบาหวานเกิดขึ้นภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูงกระตุ้นให้ร่างกายมีการสร้าง Superoxide anion และ Hydrogen peroxide ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังทำให้กลไกการต้านอนุมูลอิสระลดลง⁴⁰ การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระย่อมนำไปสู่ภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) ซึ่งเป็นภาวะที่อนุมูลอิสระมีปริมาณมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระนั้นทำให้สารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิตถูกทำลาย เกิดการตายของเซลล์ (Apoptosis) หากเกิดภาวะเครียดออกซิเดชันในโรคเบาหวานย่อมเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนขึ้น⁴¹ ระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงขึ้น และภาวะเครียดออกซิเดชัน ส่งผลให้มวลตับอ่อน และเบต้าเซลล์ที่ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมนอินซูลินมีจำนวนลดลง³⁴ Koyama *et al.* ได้ศึกษาระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูขาวสายพันธุ์ GK ที่อายุ 8 และ 12 สัปดาห์ พบว่าระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูทั้ง 2 ช่วงอายุมีค่าเท่ากับ 0.15 $\mu\text{U/ml}$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม (Wistar rat) ที่ช่วงอายุเดียวกันพบว่ามีระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมใกล้เคียงกัน³⁴ Johnson *et al.* ได้รายงานความสัมพันธ์ของระดับของฮอร์โมนอินซูลินต่อการป่วยเป็นโรคเบาหวานในระยะแรกพบว่ามีค่าระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมที่ตรวจวัดหลังจากอดอาหาร 8-12 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 9.0 $\mu\text{U/ml}$ ⁴² โดยระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมที่ต่ำกว่าค่าปกติ (1-15 $\mu\text{U/ml}$) เป็นผลมาจากการลดลงของเบต้าเซลล์ในเนื้อเยื่อตับอ่อน⁴³

ผลจากการทดลองครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่า สารสกัดดอกบัวหลวงไม่มีผลต่อระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัม ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดดอกบัวหลวงต่อการต้านอนุมูลอิสระ การลดระดับน้ำตาลในเลือด ค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลินในซีรัมของหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl อาจเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีที่พบ ได้แก่กรดไขมันไลโนเลอิก และกรดไขมันแอลฟา-ไลโนเลอิกซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เนื่องจากกรดไขมันไลโนเลอิกเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจัดอยู่ในกลุ่มโอเมก้า 6 (Omega 6) มีส่วนช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยช่วยเพิ่มความทนทานต่อน้ำตาลในเลือด และลดการเกิดภาวะดื้อต่อฮอร์โมนอินซูลินได้อีกด้วย⁴⁴ ไม่เพียงแต่กรดไขมันไลโนเลอิกเท่านั้นที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพต่อหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl มีรายงานเกี่ยวกับกรดไขมันแอลฟา-ไลโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจัดอยู่ในกลุ่มโอเมก้า 3 (Omega 3) ซึ่งมีบทบาทป้องกันการกระบวนกรเกิดเมแทบอลิซึมซินโดรม (Metabolism syndrome) หรือภาวะอ้วนลงพุงในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระลดความดันโลหิต ลดระดับไขมัน และระดับน้ำตาลในเลือด อีกทั้งยังลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว และหลอดเลือดตีบ แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นสารเคมีหลักที่พบในสารสกัดดอกบัวหลวงมีประโยชน์ ในการรักษาป้องกันการเกิดโรคเบาหวานและโรคแทรกซ้อนอันเนื่องมาจากเบาหวานได้^{31,45} เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ ใช้ระยะเวลาในการทดลองที่ค่อนข้างสั้นจึงทำให้เห็นผลของสารสกัดต่อค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลินไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามพึงควรระวังในการใช้สารสกัดดอกบัวหลวงในขนาดสูง (500 mg/kg) เนื่องจากมีผลทำให้ปริมาณของเอนไซม์ ALP ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่บ่งชี้การทำงานของตับมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอันอาจมีผลต่อตับได้

ผลการวิจัยในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด ได้จึงเป็นองค์ความรู้สำคัญที่สามารถศึกษาต่อยอด เพื่อนำสารสกัดดอกบัวหลวงไปใช้ประโยชน์ในการรักษาผู้ป่วยเบาหวานในระยะแรกๆ หรือผู้ที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูง

Table 3 Effect of *N. nucifera* flower extract on fasting blood glucose levels in Gk/Jcl rats

Groups	Fasting blood glucose levels inGK/Jcl (Mean ± S.E.)			
	Day 0	Day1	Day4	Day8
1. Control (Distilled water)	133.00 ± 0.58 ^a	133.00 ± 0.58 ^d	134.00 ± 0.58 ^b	133.67 ± 0.88 ^b
2. Glibenclamide 0.25 mg/kg	134.00 ± 4.51 ^a	75.67 ± 1.45 ^a	112.00 ± 6.00 ^a	126.67 ± 2.73 ^{ab}
3. <i>N. nucifera</i> flower extract 100 mg/kg	131.33 ± 3.38 ^a	100.67 ± 4.84 ^b	113.00 ± 4.04 ^a	113.00 ± 3.79 ^a
4. <i>N. nucifera</i> flower extract 250 mg/kg	137.33 ± 3.17 ^a	109.00 ± 3.78 ^{bc}	120.00 ± 2.31 ^a	129.33 ± 8.74 ^{ab}
5. <i>N. nucifera</i> flower extract 500 mg/kg	134.33 ± 2.33 ^a	115.33 ± 1.76 ^c	118.53 ± 2.58 ^a	136.00 ± 9.00 ^b

Mean values in the same column with the different superscripts were significantly different ($p < 0.05$)

Table 4 Effect of *N. nucifera* flower extract on percentage change of blood glucose levels in Gk/Jcl rats

Groups	Day 0	Percentage change of blood glucose levels (%)		
		Day1	Day 4	Day8
1. Control (Distilled water)	133.00 ± 0.58 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
2. Glibenclamide 0.25 mg/kg	134.00 ± 4.51 ^a	43.53 ^e	16.42 ^e	5.47 ^b
3. <i>N. nucifera</i> flower extract 100 mg/kg	131.33 ± 3.38 ^a	23.35 ^d	13.96 ^d	11.11 ^d
4. <i>N. nucifera</i> flower extract 250 mg/kg	137.33 ± 3.17 ^a	20.63 ^c	12.62 ^c	5.83 ^c
5. <i>N. nucifera</i> flower extract 500 mg/kg	134.33 ± 2.33 ^a	14.14 ^b	11.76 ^b	+1.24 ^e

Mean values in the same column with the different superscripts were significantly different ($p < 0.05$)

Table 5 Effect of *N. nucifera* flower extract on blood chemistry in Gk/Jcl rats

Groups	BUN (mg/dl)	Cr (mg/dl)	CHOL (mg/dl)	HDL (mg/dl)	LDL (mg/dl)	AST (U/l)	ALT (U/l)	ALP (U/l)	TP (g/dl)	ALB (g/dl)	GLO (g/dl)
1. Control (Distilled water)	13.02 ± 0.32 ^b	0.26 ± 0.00 ^{bc}	87.35 ± 2.37 ^a	82.97 ± 2.04 ^a	12.25 ± 0.39 ^{ab}	82.18 ± 3.86 ^{ab}	67.65 ± 7.22 ^a	133.75 ± 4.80 ^a	6.50 ± 0.77 ^a	4.76 ± 0.04 ^a	1.75 ± 0.04 ^a
2. Glibenclamide 0.25 mg/kg	13.40 ± 0.6 ^b	0.26 ± 0.00 ^c	87.93 ± 1.08 ^a	83.57 ± 0.79 ^a	13.47 ± 0.33 ^b	79.43 ± 5.80 ^{ab}	63.28 ± 5.87 ^a	143.00 ± 1.10 ^b	6.63 ± 0.20 ^a	4.73 ± 0.06 ^a	1.90 ± 0.17 ^a
3. <i>N. nucifera</i> flower extract 100 mg/kg	12.00 ± 0.57 ^a	0.23 ± 0.00 ^{ab}	86.57 ± 3.04 ^a	82.80 ± 2.72 ^a	12.77 ± 0.71 ^{bc}	74.30 ± 7.09 ^a	52.15 ± 5.90 ^a	129.67 ± 1.90 ^{ab}	6.58 ± 0.09 ^a	4.80 ± 0.07 ^a	1.78 ± 0.06 ^a
4. <i>N. nucifera</i> flower extract 250 mg/kg	12.58 ± 0.2 ^b	0.25 ± 0.01 ^a	91.47 ± 4.18 ^a	86.45 ± 3.36 ^a	11.72 ± 0.35 ^a	109.12 ± 10.86 ^b	77.73 ± 4.41 ^a	132.00 ± 4.79 ^{ab}	6.76 ± 0.16 ^a	4.89 ± 0.09 ^a	1.87 ± 0.09 ^a
5. <i>N. nucifera</i> flower extract 500 mg/kg	10.57 ± 0.52 ^a	0.22 ± 0.01 ^a	84.65 ± 2.47 ^a	79.90 ± 1.98 ^a	11.12 ± 0.54 ^a	96.00 ± 14.80 ^{ab}	63.22 ± 15.62 ^a	144.75 ± 2.76 ^{ab}	6.56 ± 0.74 ^a	4.71 ± 0.07 ^a	1.86 ± 0.04 ^a

Mean values in the same column with the different superscripts were significantly different ($p < 0.05$)

ค่าปกติของเคมีโลหิต

BUN (Blood urea nitrogen = 5-20 mg/dl), Cr (Creatinine = 0.6-1.2 mg/dl), CHOL (Cholesterol <200 mg/dl), HDL (High density lipoprotein = 40-59 mg/dl), LDL (Low density lipoprotein <100 mg/dl) AST (Aspartate

Transaminase = 10-35 U/l), ALT (Alanine aminotransferase = 10-40 U/l), ALP (Alkaline phosphatase = 20-140 U/l), TP (Total Protein = 6.4-8.3 g/dl), ALB (Albumin = 3.5-5.3 g/dl), และ GLO (Globulin = 2.6-4.6 g/dl)

Table 6 Effect of *N. nucifera* flower extract on serum insulin levels in GK/Jcl rats

Groups	Serum insulin (µU/ml)	n
1. Control (Distilled water)	0.10 ± 0.04 ^a	6
2. Glibenclamide 0.25 mg/kg	0.08 ± 0.05 ^a	6
3. <i>N. nucifera</i> flower extract 100 mg/kg	0.07 ± 0.01 ^a	6
4. <i>N. nucifera</i> flower extract 250 mg/kg	0.08 ± 0.02 ^a	6
5. <i>N. nucifera</i> flower extract 500 mg/kg	0.10 ± 0.01 ^a	6

Mean values in the same column with the different superscripts were significantly different ($p < 0.05$)

*Serum insulin in normal rat (1-15 µU/ml)

สรุปผลการทดลอง

สารสกัดดอกบัวหลวงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีองค์ประกอบทางเคมี และมีฤทธิ์ทางชีวภาพต่อหนูขาวสายพันธุ์ GK/Jcl ดังนี้

1. พบสาร 87 ชนิดเป็นสารที่มีปริมาณมาก 5 ชนิด และสารที่มีปริมาณน้อย 82 ชนิด
2. มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ความเข้มข้น 400 µg/ml สารสกัดดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสาร BHT
3. มีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด
4. มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดเนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ (Active compounds) เป็นองค์ประกอบ
5. ไม่มีผลต่อค่าเคมีโลหิต และระดับฮอร์โมนอินซูลิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ทดลองสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

1. Ogurtsova K, da Rocha Fernandes JD, Huang Y, Linnenkamp U, Guariguata L, Cho NH, Cavan D, Shaw JE, Makaroff LE. IDF Diabetes atlas: global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040. *Diabetes Res Clin Pract* 2017; 128: 40–50.
2. American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes-2006. *Diabetes Care* 2006; 29: 4-42.
3. Hex N, Bartlett C, Wright D, Taylor M, Varley D. Estimating the current and future costs of type 1 and type 2 diabetes in the UK, including direct health costs and indirect societal and productivity costs. *Diabet Med* 2012; 29: 855–862.
4. สถาบันวิจัยและพัฒนาาระบบสาธารณสุขการจัดการเบาหวานแบบบูรณาการ. นนทบุรี : สถาบันวิจัยและพัฒนาาระบบสาธารณสุขชุมชน. 2552. 104 หน้า.
5. Su CH, Lai MN, Ng LT. Inhibitory effects of medicinal mushrooms on alpha -amylase and alpha-glucosidase - enzymes related to hyperglycemia. *Food Funct* 2013; 4(4): 644-649.

6. อารียา สุฉันทบุตร, ชุตีร์ ตลับมูข, สนอง จอมเกาะ. ผลของผงและสารสกัดจากใบชะพลูและลำต้น บอระเพ็ด ต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดและค่าทางโลหิตวิทยาในหนูเบาหวาน. *ว. วิทย เทคโนโลยี มมส* 2551; 27(3): 227–232.
7. Karki R, Jung MA, Kim KJ, Kim DW. Inhibitory effect of *Nelumbo nucifera* Gaertn. on the development of atopic dermatitis-like skin lesions in NC/Nga mice. *Evid-Based Complalt* 2012; 2012: 1-7.
8. Brindha B, Arthi D. Antimicrobial activity of white and pink *Nelumbo nucifera* Gaertn flowers. *JPRHC* 2010; 2(2): 147-155.
9. Ohkoshi E, Miyazaki H, Shindo K, Watanabe H, Yoshida A, Yajima H. Constituents from the leaves of *Nelumbo nucifera* stimulate lipolysis in the white adipose tissue of mice. *Planta Med* 2007; 73:1255-1259.
10. Mukherjee K, Saha K, Pal M, Saha B. Effect of *Nelumbo nucifera* rhizome extract on blood sugar level in rats. *J Ethnopharmacol* 1997; 58:207-213.
11. Ku-Lee H, Mun-Choi Y, Ouk-Noh D, Joo-Suh H. Antioxidant effect of Korean traditional Lotus liquor (Yunyupju). *IJFST* 2005; 40:709-787.
12. Mehta NR, Patel EP, Patani PV, Shah B. *Nelumbo nucifera* (Lotus) : A review on ethanobotany, phytochemistry and pharmacology. *IJPBR* 2013; 1(4): 152-167.
13. Subzar AS. Ethno-medicinal uses and pharmacological activities of lotus (*Nelumbo nucifera*). *JMPS* 2014; 2(6): 42-46.
14. ธาริณี แดงน้อย. การทดสอบสารพิษเฉียบและฤทธิ์ทางชีวภาพของบัวหลวง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2559.
15. Sakuljaitrong S, Buddhakala N, Chomko S, Talubmook C. Effects of flower extract from lotus (*Nelumbo nucifera*) on hypoglycemic and hypolipidemic in streptozotocin-induced diabetic rats. *IJSER* 2013; 4: 1441-1446.
16. Krook A, Kawano Y, Song XM, Efendic S, Roth RA, Wallberg-Henriksson H, Zierath JR. Improved glucose tolerance restores insulin-stimulated akt kinase activity and glucose transport in skeletal muscle from diabetic Gotokakizaki rats. *Diabetes* 1997; 46: 2110-2114.

17. Mulvey C, Harno E, Keenan A, Ohlendieck K. Expression of the skeletal muscle dystrophin-dystroglycan complex and syntrophin-nitric oxide synthase complex is severely affected in the type 2 diabetic Goto-kakizaki rat. *Eur J Cell Biol* 2005; 85: 867-883.
18. Portha B, Serradas P, Bailbe D, Suzuki K, Goto Y, Giroix MH. Beta-cell insensitivity to glucose in the GK rat, a spontaneous non-obese model for type 2 diabetes. *Diabetes* 1991; 40: 486-491.
19. Goto Y, Suzuki K, Ono T, Sasaki M, Toyota T. Development of diabetes in the non-obese NIDDM rat (GK rat). *Adv Exp Med Biol* 1988; 246: 29-31.
20. สาวิตรี โชติวรรณกุล.ฤทธิ์ต้านเบาหวานของสารสกัดเมล็ดกระถินและเมล็ดมะเฒ่าในหนูเบาหวาน.วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2556.
21. Abeeleh MA, Alazaben ZB, Abu-Halaweh SA, Al-Essa MK, Abuabeeleh J, Alsmady MN, Induction of diabetes mellitus in rats using intraperitoneal streptozotocin: A comparison between 2 strains of rats. *Eur J Sci Res* 2009; 32(3): 398-402.
22. Akbarzadeh A, Norouzian D, Mehrabi MR, Jamshidi SH, Farhangi A, Allah VA, Mofidian SMA, Lame RB. Induction of diabetes by streptozotocin in rats. *IJCB* 2007; 22: 60-64.
23. Anulukanapakorn K, Pancharoen O, Permipat U. Hypoglycemic activity of *Tridaxprocumbens* Linn. in rats. *TJPS* 2009; 21: 211-221.
24. Koch K, Dommissse A, Barthlott W. Chemistry and crystal growth of plant wax tubules of lotus (*Nelumbo nucifera*) and nasturtium (*Tropaeolummajus*) leaves on technical substrates. *Cryst Growth Des* 2006; 6: 2571-2578.
25. Khan S, Khan H, Ali F, Khan NM. GC-MS analysis of fixed oil from *Nelumbo nucifera* Gaertn seeds: evaluation of antimicrobial, antileishmanial and urease inhibitory activities. *J Chem Soc Pakistan* 2016; 38 : 1168-1173.
26. Gayathri K, Dhevi R. Biochemical characterization and hypolipidemic activity of *Nelumbo nucifera* Gaertn flowers. *WJPR* 2016; 5(7): 813-819.
27. Gunasekaran S, Sarumathyd T, Palanie K, Panneerselvamb RPS, Srinivasanba V. Phytoconstituents evaluation by GC-MS and therapeutic efficacy of *Grewiaumbellifera* on streptozotocin (STZ)-induced diabetic. *Int J Pharm Integrated Life Sci* 2013; 4: 2380-2386.
28. Neelapong W, Phonyotin B, Sittikijyothin W. Extraction of active compounds from Thai herb: steam distillation and solvent extraction. *The Journal of KMUTNB* 2018; 28(4): 901-910.
29. สุรัตน์วีดี วงศ์คลัง, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, อรุณพรอิฐรัตน์. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของบัวหลวง. *ว. วิทย.* กษ. 2557; 45(2)(พิเศษ): 673-676.
30. Ruvanthika PN, Manikandan S, Lalitha S. A comparative study on phytochemical screening of aerial parts of *Nelumbo nucifera* Gaertn by gas chromatographic mass spectrometry. *IJPSR* 2016; 8(5): 2258-2266.
31. Barre DE. The role of consumption of alpha-linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in human metabolic syndrome and type 2 diabetes a mini-review. *J. Oleo Sci* 2007; 56(7): 319-325.
32. Arora S, Kumer G, Meena S. Screen and evaluation of bioactive components of *Cenchrusciliaris* L. by GC-MS analysis. *Int. Res. J. Pharm* 2017; 8(6): 69-76.
33. Gao W, Bihorel S, DuBois DC, Almon RR, Jusko WJ. Mechanism-based disease progression modeling of type 2 diabetes in Goto-kakizaki rats. *J Pharmacokinetic Pharmacodyn* 2011; 38(1) : 143-162.
34. Koyama M, Wada R, Sakuraba H, Mizukami H, Yagihashi S. Accelerated loss of islet beta cells in sucrose-fed Goto-kakizaki rats, a genetic model of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Am J Pathol* 1997.40(8): 916-925.
35. เทพพิทักษ์ จีวร่าง, สุพรรณ โพธิ์ศรี, นพรัตน์ พุทธกาล. องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้ง การทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของ สารสกัดดอกบัวหลวง. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น; 2561. หน้า B11-10.

36. Fadem SZ, Rosenthal B. CKD-EPI and MDRD-GFR Calculator using standardized serum creatinine, age, race, gender.[serial online] Accessed on February 12, 2019 at http://nephron.org/cgi-bin/MDRD_GFR/cgi.
37. Thapa BR, Walia A. Liver function tests and their interpretation. *Indian J Pediatr* 2007; 74 (7) : 663-671.
38. Thu HTH, Xuan PTT, Hang NTT, Vu NN, Phuoc TH. Hypoglycemic effect of lotus (*Nelumbo nucifera*-Gaertn.) flower ethanolic extract on alloxan induced diabetes rat model. *HCMC* 2016; 1(17): 72-78.
39. Green RM, Flamm S. AGA technical review on the evaluation of liver chemistry tests. *Gastroenterology* 2002; 123: 1367-1384.
40. อนุสรณ์ ลังกาพันธ์. ผลกระทบของการเกิดอนุมูลอิสระจากโรคเบาหวานต่อการทำงานของไต. *ลำปางเวชสาร*. 2552; 30(2): 75-83.
41. เดช ดอกพวง, วรเชษฐ์ ขอบใจ. สภาวะเครียดออกซิเดชั่นของผู้ป่วยเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนของเบาหวานในโรงพยาบาลพะเยา. การประชุมมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4. 2556: 146-154.
42. Johnson J, Duick D, Chui M. and Aldasouqi S. Identifying prediabetes using fasting insulin levels. *EndocrPract* 2010; 16(1):47-52.
43. Movassat J, Saulnier C, Serradas P, Portha B. Impaired development of pancreatic beta-cell mass is a primary event during the progression to diabetes in the GK rat. *Diabetologia* 1997; 40: 916-925.
44. Rosenberg J. Linoleic Acid Is Beneficial for Prevention of Type 2 Diabetes,[serial online]2017:Available from : URL <https://www.ajmc.com/newsroom/study-linoleic-acid-is-beneficial-for-prevention-of-type-2-diabetes> Accessed 2 April 2019.
45. Blondeau N, Lipsky RH, Bourourou M, Duncan MW, Gorelick PB,Marini AM. Alpha-linolenic acid: an omega-3 fatty acid with neuroprotective properties ready for use in the stroke clinic.*Biomed Res Int* 2015;2015:1-8.

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคามด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล

Evaluation of Above-Ground Carbon Sequestration of Forest in Mahasarakham University Using Remote Sensing Data

ธนวุฒิ ทองมี¹, จตุรงค์ สมอาจ², วรวิทย์ จิตรสุขชา²

Tanavut Thongmee¹, Jaturong Som-ard², Worawit Jitsukka²

Received: 26 February 2019 ; Revised: 10 June 2019 ; Accepted: 25 June 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้น สามารถแก้ไขด้วยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคามด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินพื้นที่ป่าในปี 2561 ด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-Based Image Analysis: OBIA) แบบจุดภาพใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor: NN) เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าและเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง โดยทำการรวบรวมข้อมูลภาคสนามแปลงตัวอย่าง 10x10 เมตร จำนวน 44 แปลง ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง และจำนวนต้น เพื่อคำนวณค่ามวลชีวภาพและนำมาคำนวณค่าความสัมพันธ์กับค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (Excess Green Index: ExG) ร่วมกับข้อมูลภาคสนาม เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) ผลการศึกษาพบว่า การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้องโดยรวม 89% และ 68% ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้องสูงกว่าเพราะความละเอียดจุดภาพสูง การแบ่งภูมิภาควัตถุภาพได้ชัดเจน และค่าการสะท้อนที่ถูกรบกวนจากชั้นบรรยากาศค่อนข้างน้อย การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์พบว่า ค่ามวลชีวภาพกับดัชนีสีเขียวส่วนเกินมีความสัมพันธ์มากที่สุด ($r: 0.80$) และการประเมินค่ามวลชีวภาพได้จำนวน 16,166,339 กิโลกรัม และมีปริมาณกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด 7,598,179 กิโลกรัม งานที่เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นแนวทางการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเพื่อกระตุ้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในพื้นที่มหาวิทยาลัย

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ประเมินคาร์บอนเหนือพื้นดินการจำแนกเชิงวัตถุ

Abstract

At present, the increase of greenhouse gas has led to an increase in global temperature. This problem can be solved by extending green areas to reduce the amount of gas. The purposes of this study was to classify a forest area in Mahasarakham University by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Sentinel-2 images and to assess the above-ground carbon stock in 2018 using Object-Based Image Analysis (OBIA). In order to do this, a Nearest Neighbor (NN) method was applied to identify forest and validate the classification accuracy. Data for all 44 sampling plots were

¹ นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาภูมิศาสตร์ สาขาภูมิศาสตร์พัฒนาเพื่อการจัดการทรัพยากร คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² อาจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Undergraduate student, Department of Geography, Program of Development Geography for Resource Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand.

² Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand.

* Corresponding author; Mr. Jaturong Som-ard, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand. Email: Jaturong.somard@gmail.com

collected from field surveying including height, diameter, and number of tree. These were measured and biomass was calculated the, and the excess green index (EXG) with ground data generated using correlation coefficient (r) for carbon stock monitored by the allometry equation. The finding demonstrated the overall accuracy of UAV and sentinel-2 images as 89% and 68%, respectively. UAV images had higher accuracy than others because of very high spatial resolution, clear image object segmentation, and less effect from atmosphere. The biomass was high related with EXG index (r: 0.80). The EXG index was used to measure biomass covering the forest area as 16,166,339 kilograms and the amount of carbon stock of 7,598,179 kilograms. The related agencies can apply this method to evaluate carbon stock for increasing the green area in the University.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Sentinel-2 Image, Evaluate the above-ground carbon, OBIA

บทนำ

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซห่อหุ้มชั้นบรรยากาศที่จำเป็นต่อการรักษาความสมดุลอุณหภูมิของโลกให้คงที่¹ หากก๊าซเรือนกระจกไม่มีในชั้นบรรยากาศจะส่งผลให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้เพราะโลกมีอุณหภูมิลดลง² แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุดในชั้นบรรยากาศ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจาก กิจกรรมมนุษย์^{3,4} ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซจากภาคการผลิตไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และกิจกรรมทางการเกษตร⁵ ซึ่งควบคุมการปลดปล่อยได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลกจนทำให้เกิดภัยธรรมชาติ⁶

อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถควบคุมโดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเนื่องจากต้นไม้สามารถนำก๊าซมาใช้สร้างอาหารเพื่อเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพ ทั้งในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก จึงทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ทั่วโลกมีการสนับสนุนการพัฒนาพื้นที่สีเขียว⁷ มหาวิทยาลัยจึงเป็นส่วนหนึ่งของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวทำให้มีการจัดโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก ยูไอ กรีนเมตริก ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัยอินโดนีเซียเพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว เพื่อให้สถาบันการศึกษาตระหนักถึงการจัดการทรัพยากรที่ยั่งยืน โดยเฉพาะการลดการปลดปล่อยและเพิ่มศักยภาพการดูดซับก๊าซเรือนกระจกทำให้ปัจจุบันมีมหาวิทยาลัยเข้าร่วมกว่าโครงการทั้งหมด 719 แห่ง⁸

จากปี 2552 มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในประเทศไทยได้เล็งเห็นความสำคัญการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเข้าร่วมโครงการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างเข้มข้น (Green University) และได้เข้าร่วมการจัดอันดับกับทั่วโลกเพื่อดำเนินการมหาวิทยาลัยสีเขียว ปี 2561 พบว่า มี 10 อันดับของมหาวิทยาลัยสีเขียว ได้แก่ มหิดล เกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ ทรูทิจบัตินทรีย์เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ นครสวรรค์

สยาม เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาสารคาม และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตามลำดับซึ่งมีการกำหนดนโยบายและแนวทางการปฏิบัติสู่มหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างเข้มข้น โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยมหาสารคามถูกจัดอันดับที่ 181 ของโลก อันดับ 9 ของประเทศ และอันดับ 1 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพราะมีพื้นที่สีเขียวค่อนข้างมาก⁹

อดีตปี 2538 มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้มีการขยายวิทยาเขตพื้นที่มายังบริเวณพื้นที่สาธารณะป่าโคกหนองไผ่^{10,11} จึงทำให้ประชากรย้ายเข้ามาตั้งถิ่นฐานเพิ่มขึ้นบริเวณมหาวิทยาลัย ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่เพื่อสร้างอาคารเรียน หอพัก และสถานที่ราชการ แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ป่าที่เป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนที่สำคัญได้มีการรักษาและพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน นอกจากนี้มหาวิทยาลัยยังมีการสนับสนุนให้นิสิตและประชาชนดูแลพื้นที่ป่าไม้แบบมีส่วนร่วม¹² ดังนั้นหากมีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จะช่วยเพิ่มการสนับสนุนการตัดสินใจด้านนโยบายและปลูกฝังการปลูกป่าเพื่อช่วยลดปริมาณคาร์บอนด้วยพื้นที่สีเขียว

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้การรับรู้ระยะไกลมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วจากการศึกษางานวิจัยของ สุทธิ บุญสร้างและวันชัย อรุณประภรณ์¹³ วรณพร เป้าเนวล และคณะ¹⁴ นิชา โสภพิมานและคณะ¹⁵ ประเมินการกักเก็บคาร์บอนด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ 8 ด้วยการจัดจำแนกพื้นที่ป่าและค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณร่วมกับข้อมูลภาคสนามด้วยสมการแอลโลเมตรีพบว่า การจำแนกพื้นที่ป่ามีความถูกต้องต่ำ ส่งผลให้การประเมินคาร์บอนมีความผิดพลาดเนื่องจากความละเอียดจุดภาพค่อนข้างหยาบ การประยุกต์ใช้ภาพถ่าย Sentinel-2 รายละเอียดสูงเพื่อประเมินคาร์บอนพื้นที่ป่าซึ่งแสดงค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized difference vegetation index: NDVI) มีความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามค่อนข้างต่ำ การศึกษาควรประเมินป่าประเภทต่าง ๆ และพื้นที่ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน¹⁶ ธนวิทย์ ถมกระจ่างและเอกกมล วรณเมธี¹⁷ ใช้ข้อมูลความสูงปกคลุม

พื้นผิว (Digital surface model: DSM) จากอากาศยานไร้คนขับ ประเมินคาร์บอนร่วมกับข้อมูลภาคสนามในแต่ละแปลง ตัวอย่างพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมีความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนกับความสูงปกคลุมพื้นผิว นอกจากนี้ยังไม่มีการประเมินมวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีของพื้นที่ป่าทั้งหมดและไม่มีการแยกชนิดของพื้นที่ป่า ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่มีการจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าด้วยสมการแอลโลเมตรีจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบกริดเซลล์

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 มาทำการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) จากนั้นวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation: R) ข้อมูลภาคสนามร่วมกับค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินและดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์เพื่อใช้ดัชนีที่มีความสัมพันธ์ที่สุดมาวิเคราะห์หาค่ามวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการแอลโลเมตรีผลลัพธ์จะแสดงแผนที่พื้นที่ป่าปี 2561 และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวตามนโยบายของมหาวิทยาลัยและเป็นแนวทางการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่า

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล
- 2) เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าร่วมกับข้อมูลภาคสนาม

พื้นที่ศึกษา

การวิจัยเลือกพื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคามวิทยาเขตขามเริง เนื่องจากมีการเข้าร่วมโครงการอย่างเข้มข้นและเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอันดับที่ 1 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยมีพื้นที่ทั้งหมด 1265.36 ไร่ (Figure 1)

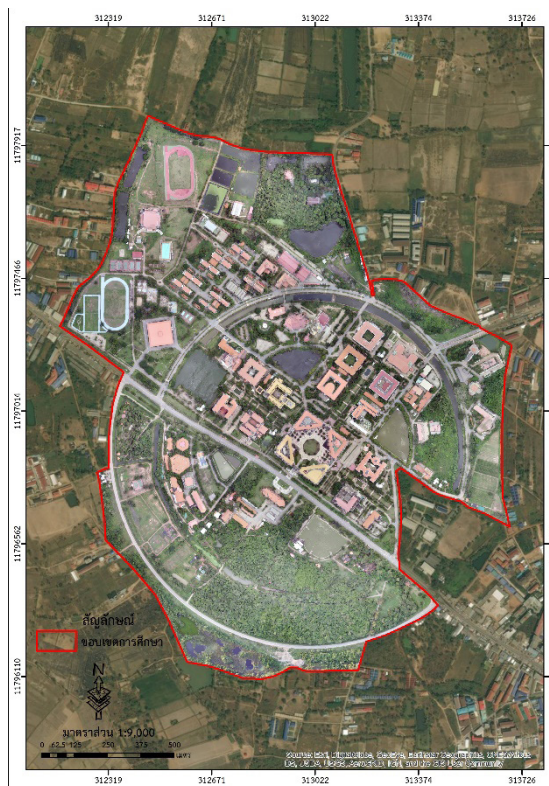


Figure 1 Study area

อุปกรณ์

การศึกษาครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ในการประมวลผลและเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย

- 1) อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 3 Professional ช่วงคลื่น Red Green Blue ใช้เพื่อถ่ายภาพทางอากาศครอบคลุมพื้นที่ศึกษา
- 2) แอปพลิเคชัน Pix4D Capture ใช้ในการวางแผนและควบคุมการบินภาพทางอากาศแบบอัตโนมัติ
- 3) เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ใช้จัดเก็บข้อมูลตำแหน่งแปลงตัวอย่าง
- 4) โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและจัดพิมพ์แผนที่

วิธีการศึกษา

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมีขั้นตอนการศึกษาได้แก่ การรวบรวมข้อมูล เตรียมข้อมูล จำแนกพื้นที่ป่าไม้ และการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินดัง Figure 2

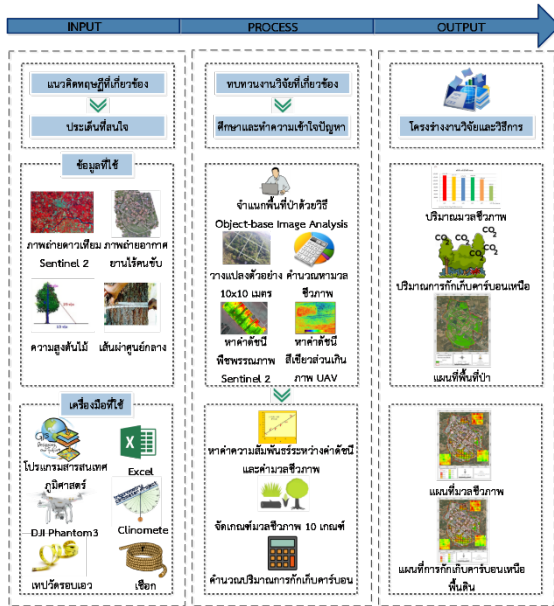


Figure 2 Concept framework

การรวบรวมข้อมูล

1) การจัดเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยการวางแผนในรูปแบบกริดเพื่อจัดข้อมูลภาพถ่ายของพืชพรรณประกอบด้วย ความสูงของต้นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลาง และจำนวนต้นโดยการศึกษทำการกำหนดแปลงตัวอย่างด้วยสมการทาโรยามาเน่ (Taro Yamane) รายละเอียดดังนี้¹⁸

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

- โดย n คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง
- N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด
- e คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

การศึกษครั้งนี้สุ่มและกำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 44 แปลงขนาดแปลง 10x10 เมตร กระจายครอบคลุมพื้นที่ป่าของพื้นที่ศึกษา เพื่อจัดเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งใช้สร้างเกณฑ์คำนวณชีวมวลและประเมินค่าคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมดในรูปแบบกริด (Figure 3)

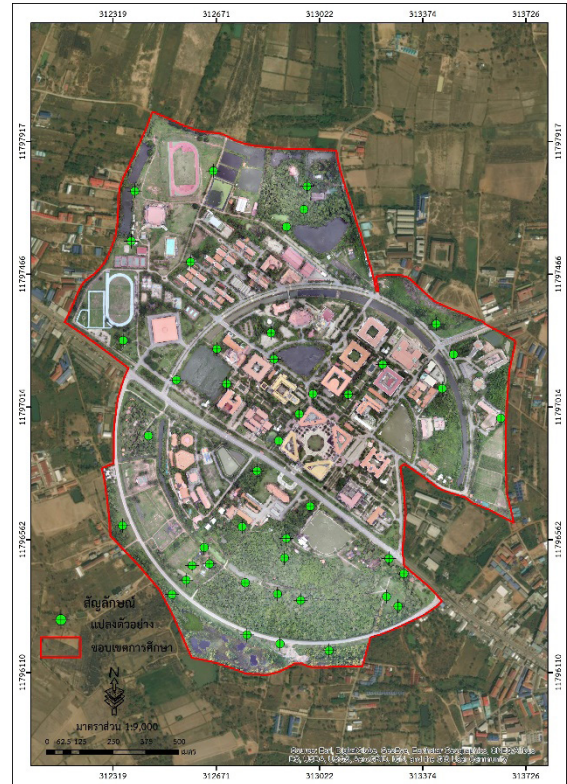


Figure 3 Sampling plots

2) การสำรวจถ่ายภาพทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับโดยบินถ่ายภาพแบบอัตโนมัติจำนวนทั้งหมด 8 แนวบินเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาซึ่งสำรวจวันที่ 14 กรกฎาคม 2561 การวิจัยครั้งนี้ทำการตั้งค่าคุณสมบัติการบินถ่ายได้แก่ กำหนดมุมกล้อง 90% เพื่อให้กล้องตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดการซ้อนทับด้านหน้า (Front overlap) เป็น 60% การซ้อนทับด้านข้าง (Side overlap) คือ 40% และกำหนดความสูงบินถ่ายเป็น 120 เมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความคมชัดและเหมาะสมต่อการจำแนกพื้นที่ป่า¹⁷

3) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยดาวนี้โหลดภาพถ่ายจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัย ข้อมูลภาพถ่ายบันทึกวันที่ 3 กรกฎาคม 2561 เป็นช่วงป่าไม้มีความอุดมสมบูรณ์ซึ่งเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ และมีลักษณะภาพถ่ายป่าไม้ไม่แตกต่างกันมาก

การเตรียมข้อมูล

1. ประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับมีขั้นตอนประกอบด้วย 1) กระบวนการเรียงภาพ (Align Photo) 2) สร้างจำนวน Tie point ของภาพ (Build dense cloud) 3) การรวมข้อมูลภาพ (Build mesh) และ 4) กระบวนการสร้างเนื้อภาพตามลักษณะภูมิประเทศจริง (Build texture) เพื่อแสดงผลพร้อมออกมาเป็นภาพออร์โธโรรี (Ortho photo) (Figure 4) เพื่อใช้จำแนกพื้นที่ป่าและประเมินการกักเก็บคาร์บอนร่วมกับข้อมูลภาคสนาม¹⁷

2. จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ก่อนการหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนาม มีขั้นตอนได้แก่ 1) รวมช่วงคลื่นภาพถ่ายดาวเทียม (Layer Stacking) การศึกษาครั้งนี้ทำเลือกช่วงคลื่นแบนด์ 2(Blue) 3(Green) 4(Red) และแบนด์ 8(NIR) เพื่อให้ได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ 2) การปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric correction) เป็นการปรับปรุงค่าสะท้อนเชิงคลื่น (Spectral reflectance) ซึ่งเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและค่าการสะท้อนรังสีจากวัตถุบนพื้นผิวในช่วงขณะที่ทำการถ่ายภาพ การวิจัยครั้งนี้ทำการปรับแก้โดยใช้เครื่องมือ sen2cor บนโปรแกรม SNAP Desktop เพื่อได้รับข้อมูลวัตถุในภาพมีความคมชัดและค่าการสะท้อนสอดคล้องกับวัตถุจริงบนพื้นผิว¹⁸ 3) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) เป็นกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้ได้ภาพที่มีความถูกต้องตรงกับความเป็นจริงเชิงตำแหน่งบนพื้นโลก¹⁹ และ 4) ตัดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Subset Image) ซึ่งนำภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มาทำการตัดขอบเขตเฉพาะพื้นที่ศึกษาคือ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เขตพื้นที่ขามเรียง (Figure 4)

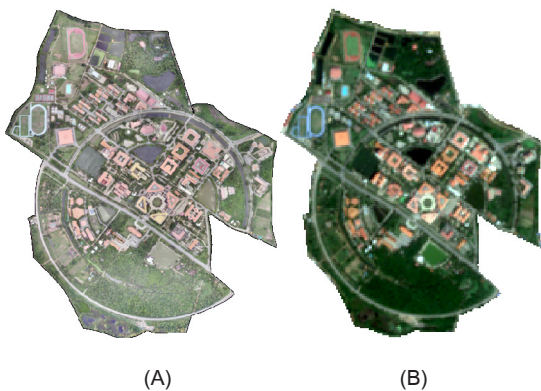


Figure 4 (A) UAV image (B) Sentinel-2 image

3. การคำนวณค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณเพื่อหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามและประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่า ดังนี้

1) การคำนวณค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) ของภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเป็นดัชนีที่ใช้ในการหาค่าสีเขียวที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ก่อนข้างสูง โดยการวิจัยได้ใช้กล้องบันทึกภาพช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue) เขียว (Green) และสีแดง (Red) เพื่อตรวจวัดความหนาแน่นของพืชพรรณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีสมการคำนวณดังนี้²⁰

$$\text{ExG} = 2 * \text{G} - \text{R} - \text{B} \quad (1)$$

โดย G หมายถึง ช่วงคลื่นสีเขียว
R หมายถึง ช่วงคลื่นสีแดง
B หมายถึง ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2) การหาค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel-2 เป็นการนำค่าความแตกต่างการสะท้อนของพื้นผิวดินระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดกับช่วงคลื่นสีแดงเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนค่าการสะท้อนต่อการบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโต โดยค่าสะท้อนจะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 หากค่าการสะท้อนเข้าใกล้ 1 แสดงว่าพืชพรรณมีความอุดมสมบูรณ์ และเข้าใกล้ -1 แสดงว่าไม่มีความอุดมสมบูรณ์ โดยมีสมการคำนวณดังนี้²¹

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (2)$$

โดย NIR หมายถึง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
Red หมายถึง ช่วงคลื่นสีแดง

การจำแนกพื้นที่ป่าไม้

การจำแนกพื้นที่ป่าจากข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 ด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) เป็นการจำแนกคุณลักษณะของวัตถุเชิงภาพหรือกลุ่มของจุดภาพร่วมกับค่าสะท้อนรังสีจุดภาพ โดยมีกระบวนการจำแนกประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่^{21,22}

1. การสร้างวัตถุภาพ (Image segmentation) เป็นกระบวนการสร้างรูปปิด ซึ่งสามารถสร้างได้หลายวิธีจากการรวมจุดภาพข้างเคียงที่เป็นภูมิภาคเดียวกันเข้าด้วยกัน งานวิจัยครั้งนี้ทำการเลือกสร้างวัตถุภาพแบบ Multiresolution segmentation เป็นการสร้างและแบ่งส่วนวัตถุภาพโดยอาศัยข้อมูลคุณลักษณะสี ขนาดวัตถุ และเนื้อภาพที่คล้ายกัน ซึ่ง

สามารถกำหนดปัจจัยแบ่งส่วนวัตถุประกอบด้วย 3 เกณฑ์ ได้แก่ขนาด (Scale) สี (Color) และ ความหนาแน่น (Compactness) ดังนี้

1) เกณฑ์ขนาด (Scale) เป็นการกำหนดการแบ่งส่วนวัตถุโดยพิจารณาจากจุดภาพของวัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0 - ∞ (Figure 5)



Figure 5 Scale parameter setting

2) เกณฑ์การกำหนดค่าสี (Color) หรือรูปร่าง (Shape) เป็นการพิจารณาจุดภาพเพื่อสร้างวัตถุเชิงภาพขึ้นมา สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะตั้งแต่ 0-1 เทียบค่า 1 เท่ากับ 100% มีสมการคือ

$$\text{Color} = 1 - \text{Shape} \quad (3)$$

นอกจากนี้การพิจารณารูปร่างวัตถุภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นปัจจัยพิจารณาเพื่อสร้างวัตถุเชิงภาพ สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะตั้งแต่ 0-1 โดย 1 มีค่าเทียบกับ 100% มีสมการคือ

$$\text{Shape} = \text{Compactness} + \text{Smoothness} \quad (4)$$

3) เกณฑ์ความหนาแน่นสี (Compactness) หรือความราบเรียบ (Smoothness) เป็นการพิจารณาวัตถุเชิงภาพที่จะสร้างด้วยปัจจัยรูปร่างที่มีลักษณะเกาะกลุ่มกันแน่น เช่น บริเวณป่าไม้ที่หนาแน่น สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะได้ตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่ง 1 เทียบค่า 100% มีสมการดังนี้

$$\text{Compactness} = \beta \text{Compactness} \times \text{Shape} \quad (5)$$

ส่วนความราบเรียบเป็นการพิจารณาค่าวัตถุเชิงภาพที่จะสร้างแบบใช้ปัจจัยด้านรูปร่างที่วางตัวสม่ำเสมอ เช่น บริเวณที่เป็นป่าชนิดเดียวกัน ลักษณะเนื้อภาพเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถกำหนดค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่ง 1 เทียบค่า 100% มีสมการเป็น

$$\text{Smoothness} = (1 - \beta \text{Compactness}) \times \text{Shape} \quad (6)$$

2. การจำแนกเชิงวัตถุภาพด้วยวิธีการจำแนกแบบจุดภาพที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest neighbor classification) เป็นการกำหนดวัตถุตัวอย่าง (Training area) ที่เป็นพื้นที่ป่าและไม่ใช่ป่าที่มีความแน่นอน เพื่อวิเคราะห์จุดข้างเคียงของพื้นที่ตัวอย่างด้วยค่าการสะท้อนช่วงคลื่นในแต่ละวัตถุซึ่งเป็นการรวมข้อมูลวัตถุภูมิภาคเดียวกันเข้าด้วยกัน (Homogeneous) โดยการตัดสินใจการจำแนกด้วยหลักการความน่าจะเป็นของความเป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกัน เพื่อการจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม²³

3. การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่พื้นที่ป่าไม้ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 ด้วยวิธีการคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) เพื่อตัดสินใจเลือกใช้แผนที่ที่มีถูกต้องมากที่สุดในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดการวิจัยเลือกวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) และกำหนดจุดตรวจสอบทั้งหมดจำนวน 200 จุด แบ่งเป็นพื้นที่ป่า 100 จุดและพื้นที่ไม่ใช่ป่า 100 จุด จากนั้นทำการลงภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องร่วมกับข้อมูลตำแหน่งจุดตรวจสอบด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS)

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: AGB) ของต้นไม้จากแปลงตัวอย่างจำนวน 44 แปลง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย ความสูงต้นไม้ (H) เส้นผ่าศูนย์กลาง (DBH) และจำนวนต้น จากนั้นคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน มีสมการคำนวณดังนี้²⁴

$$WS = 0.0396 \cdot (D^2 \cdot H)^{0.9326} \quad (7)$$

$$WB = 0.003487 \cdot (D^2 \cdot H)^{1.0270} \quad (8)$$

$$WL = ([28.0 / (WS + WB)] + 0.025)^{-1} \quad (9)$$

$$AGB = WS + WB + WL \text{ (กิโลกรัม)} \quad (10)$$

- โดย
- Ws = มวลชีวภาพส่วนลำต้น (กิโลกรัม)
 - Wb = มวลชีวภาพส่วนกิ่ง (กิโลกรัม)
 - WL = มวลชีวภาพส่วนใบ (กิโลกรัม)
 - D = เส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)
 - H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)
 - AGB = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

เนื่องจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายต้นไม้ในพื้นที่บริเวณกว้างเพื่อวิเคราะห์มวลชีวภาพต้องใช้เวลาและยากลำบาก^{13,14} การวิจัยครั้งนี้ทำการใช้ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกลเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าทั้งหมด การศึกษาจึงทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ที่เก็บรวบรวมจากการออกภาคสนามจากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient correlation: R) เป็นการนำค่าดัชนีกับปริมาณมวลชีวภาพต้นไม้จากแปลงตัวอย่างมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งสอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่ามวลชีวภาพและประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยทั้งหมดดังนั้นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์มีสมการดังนี้¹⁸

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

- โดย r หมายถึง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 X หมายถึง ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ
 Y หมายถึง ตัวแปรตาม
 \bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ
 \bar{Y} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม
 Σ หมายถึง ผลรวม

การวิจัยครั้งนี้นำค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดมาทำการจัดเกณฑ์ออกทั้งหมด 10 เกณฑ์ตามข้อมูลมวลชีวภาพจากแปลงตัวอย่างที่ได้จากการรวบรวมภาคสนาม จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มค่ามวลชีวภาพแปลงกริดครอบคลุมพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยมาจัดเกณฑ์ โดยทำการแบ่งกลุ่มมวลชีวภาพต่างกันจากค่าดัชนีเพื่อให้ได้มวลชีวภาพของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยทั้งหมด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนต่อแปลงทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ²⁵

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยทั่วไปค่ามวลชีวภาพจะมีปริมาณคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพ¹⁹ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) จึงทำการกำหนดสมการคำนวณปริมาณคาร์บอนของพื้นที่ป่าด้วยค่ามวลชีวภาพที่ได้จากสมการแอมไพเรติ โดยใช้ค่ามวลชีวภาพคูณกับ 0.47 เพื่อทราบปริมาณการกักเก็บคาร์บอน มีสมการคือ

$$\text{Carbon stock} = \text{AGB} \times 0.47 \quad (12)$$

- 0.47 หมายถึง สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ

เมื่อทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ศึกษาและทำการจัดทำแผนที่กริดแสดงคาร์บอนครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยทำการแบ่งกลุ่มปริมาณการกักเก็บต่อแปลงที่แตกต่างกัน การวิจัยทำการแบ่งแปลงออกทั้งหมด 10 กลุ่ม ต่อปริมาณการกักเก็บที่แตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เกณฑ์แบ่งแยกข้อมูลภาพถ่าย

1) การแบ่งส่วนข้อมูลภาพของภาพอากาศยานไร้คนขับ (UAV) พบว่า การกำหนดเกณฑ์แบ่งข้อมูลภาพที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ Scale; 30 Shape; 0.7 และ Compactness; 0.7 เนื่องจากข้อมูลภาพสามารถแยกพื้นที่ป่าออกจากกันของวัตถุได้อย่างเห็นชัดและมีจำนวนของวัตถุที่ไม่ใหญ่มากเกินไป เพราะคุณสมบัติของข้อมูลจุดภาพมีความละเอียดที่สูง นอกจากนี้ลักษณะกายภาพทางพื้นที่มีลักษณะเฉพาะค่อนข้างโดดเด่นมองเห็นครอบคลุมพื้นที่และสามารถเลือกพื้นที่ตัวอย่างในการจำแนกได้ง่าย²⁵ ส่งผลต่อการเลือกเกณฑ์แบ่งแยกวัตถุตัวอย่างในภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะสามารถเปรียบเทียบเกณฑ์ที่เหมาะสมร่วมกับข้อมูลภาคสนามได้อย่างชัดเจน (Figure 6)

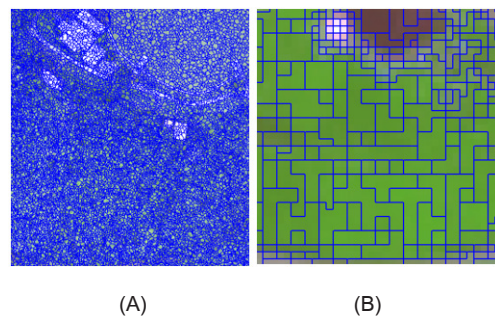


Figure 6 Segmentation of (A) UAV (B) Sentinel-2 image

2) การแบ่งส่วนข้อมูลภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า Scale;10 Shape;0.3 และ Compactness; 0.3 มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากการกำหนดขนาดของวัตถุมีค่าเป็น 10 เพราะภาพถ่ายดาวเทียมมีความละเอียดค่อนข้างสูง การพิจารณาค่าสีมากกว่ารูปร่าง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะสามารถสะท้อนค่าช่วงคลื่นสีเขียวของพืชพรรณได้ดีสามารถแบ่งภูมิภาคตามลักษณะของสีได้ดี ดังนั้นหากกำหนดการพิจารณารูปร่างมากกว่าสีอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการแบ่งภูมิภาคของวัตถุ เพราะภาพถ่ายมองเห็นลักษณะของรูปร่างบางวัตถุที่มีขนาดเล็กไม่ชัดเจน^{23,25}

ดังนั้นการแยกข้อมูลวัตถุของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัย มีลักษณะกายภาพสังคมพืชที่แตกต่างกัน สามารถทำการแบ่งแยกโดยการพิจารณาคุณสมบัติข้อมูลภาพ ตามหลักการแบ่งส่วนจุดภาพแบบภูมิภาค (Region-Based)²³ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาและเปรียบเทียบการแยกวัตถุของข้อมูลภาพร่วมกับข้อมูลภาคสนาม พบว่า ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสามารถแยกวัตถุได้ดีกว่า เพราะจุดภาพที่ละเอียดกว่าสามารถจัดกลุ่มภูมิภาคและแบ่งแยกเงาวัตถุได้ถูกต้องและชัดเจน

การจำแนกพื้นที่ป่า

การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพจากอากาศยานไร้คนขับพบว่า มีพื้นที่ป่าเป็น 550,573.52 ตารางเมตร หรือ 344.10 ไร่ ดัง (Figure 7)



Figure 7 Forest map using UAV image

การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพดาวเทียม Sentinel-2 พบว่ามีพื้นที่ป่า171,300 ตารางเมตร หรือ 107.06 ไร่ (Figure 8)

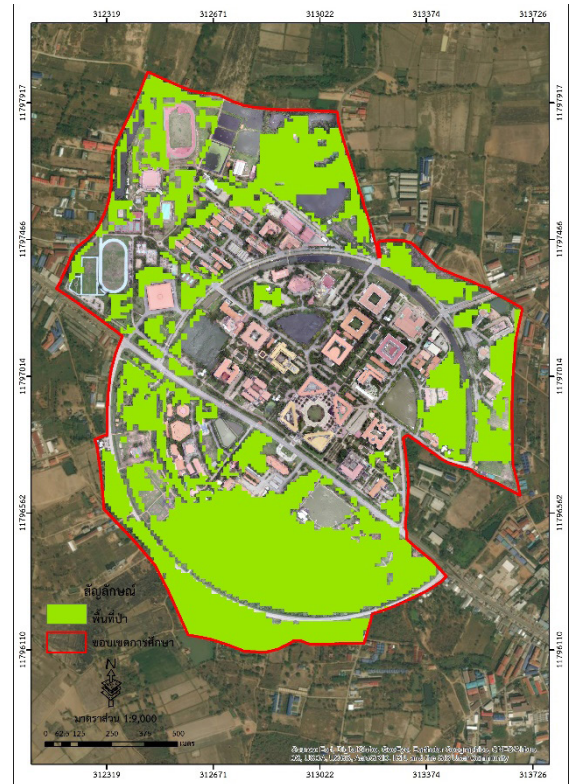


Figure 8 Forest map using Sentinel-2 image

การจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยด้วยข้อมูลภาพรายละเอียดสูงแสดงถึงการแยกข้อมูลวัตถุขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การจำแนกป่ามีค่าความถูกต้องสูง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะวัตถุที่คล้ายคลึงกันและขนาดเล็ก ข้อมูลจากเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ขนาดเล็กได้อย่างละเอียด

การตรวจสอบความถูกต้องแผนที่

การรวบรวมข้อมูลภาคสนามเพื่อตรวจสอบแผนที่พื้นที่ป่าได้เก็บข้อมูลจุดตรวจสอบพื้นที่ป่าและไม่ใช้ป่าจำนวน 200 จุด พบว่า แผนที่ป่าไม้ที่จำแนกจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องโดยรวม 89% และการจำแนกภาพดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้อง 68% การจำแนกด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับมีค่าความถูกต้องสูงกว่า เนื่องจากข้อมูลมีค่าความละเอียดของภาพมากกว่า สามารถแบ่งส่วนภูมิภาคได้ชัดเจนและมองเห็นพื้นที่ป่าได้ง่าย การศึกษาีความสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Som-ard *et al.*,²⁵ ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยวิธี OBIA แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายที่มีความละเอียดจุดภาพสูงสามารถจำแนกพื้นที่อ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจำแนกด้วยวิธีการ OBIA มีความถูกต้อง

มากเพราะการจำแนกเชิงวัตถุพิจารณาคุณสมบัติรายละเอียดภาพสูงและการสร้างวัตถุที่มีความเหมาะสม²⁵ การศึกษาจึงนำแผนที่ป่าไม้ที่มีความถูกต้องสูงมาใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับให้ความถูกต้องการจำแนกสูง การพิจารณาการสำรวจบินถ่ายภาพมีองค์ประกอบได้แก่ สภาพอากาศ ฤดูกาล ส่วนซ้อนทับ และคุณสมบัติเครื่องอากาศยาน²³ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ จึงมีความสำคัญเนื่องจากการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยข้อมูลอากาศยานไร้คนขับใช้วิธีการประมวลผลภาพ จะต้องมีการวิเคราะห์ความละเอียดค่าสี เนื้อภาพ และจุดภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การประเมินคาร์บอนพื้นที่ทั้งหมดด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล การวิจัยทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีและค่ามวลชีวภาพจากรวบรวมข้อมูลภาคสนาม เพื่อหาดัชนีที่ความสัมพันธ์มากที่สุดกับข้อมูลภาคสนามมาวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าทั้งหมด ซึ่งมีการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

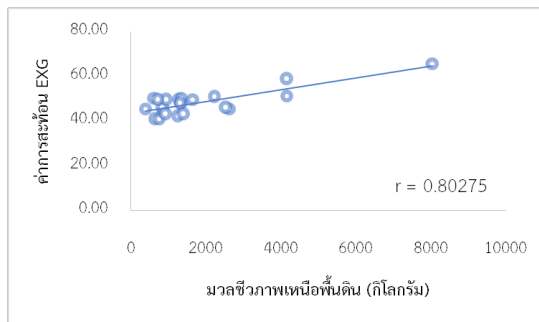


Figure 9 Correlation between biomass with EXG index

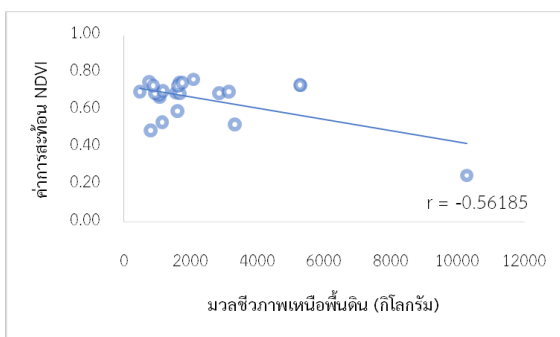


Figure 10 Correlation between biomass with NDVI index

กราฟ Figure 9 และ Figure 10 แสดงความสัมพันธ์ค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ โดยการศึกษากำหนดค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเป็นตัวแปรต้น (Independent variable, X) และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณเป็นตัวแปรตาม (Dependent variable, Y) พบว่า ค่าการสะท้อนของดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) มีความสัมพันธ์ทางบวก ($R: 0.80$) เนื่องจากบริเวณที่มีพื้นที่ป่าจะมีปริมาณมวลชีวภาพสูง ส่งผลให้ค่าการสะท้อนสีเขียวสูงตามไปด้วย เพราะลักษณะทางกายภาพของต้นไม้เมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีเรือนยอดปกคลุมหนาแน่นจึงส่งผลให้มีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงบวกส่วนค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) มีความสัมพันธ์ทางลบ ($R: -0.56$) เนื่องจากบริเวณมหาวิทยาลัยมีพื้นที่ป่าเบาบาง ส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณและเต็งรัง ขณะเดียวกันความละเอียดจุดภาพดาวเทียม Sentinel-2 มีขนาด 10x10 เมตร จึงทำให้ได้รับค่าการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างเข้าด้วยกันในแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์มีความแปรปรวนไปจากสภาพพื้นที่จริงของแต่ละแปลงตัวอย่างส่งผลให้ค่าดัชนีเกิดความผิดเพี้ยนต่อการประเมินคาร์บอนนอกจากนี้จากการสำรวจภาคสนามพบว่า พื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมีความหนาแน่นของสังคมพืชที่เบาบางและขนาดต้นไม้มีขนาดที่แตกต่างกัน ข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้มีการบันทึกช่วงเดือนกรกฎาคมมีพืชพรรณสมบูรณ์และปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ในใบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ทำให้ต้นไม้มีความสัมพันธ์กับขนาดพุ่มและต้น^{26,27} ส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) จึงมีผลลัพธ์ในทิศทางลบ ดังนั้นช่วงเวลาในการเลือกใช้ข้อมูลภาพมีความสำคัญต่อการพิจารณาลักษณะกายภาพพืชแต่ละชนิดที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติข้อมูลภาพถ่ายและขนาดของแปลงควรมีการทดสอบเพื่อทำการเลือกแปลงที่เหมาะสมต่อการพิจารณาลักษณะกายภาพของพืชพรรณ^{13,14,15}

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) พบว่า ดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) มีค่าความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุดการศึกษาทำการเลือกใช้ค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินเพื่อจัดเกณฑ์ช่วงค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินเทียบกับการคำนวณการสะสมมวลชีวภาพต่อแปลงตัวอย่างจึงสามารถจัดเกณฑ์ช่วงค่ามวลชีวภาพจำนวน 10 เกณฑ์เพื่อคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพื้นที่ป่าทั้งหมดพบว่า พื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมีมวลชีวภาพทั้งหมด 16,166,339 กิโลกรัม จากนั้นทำการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่า โดยทั่วไปมวลชีวภาพจะมีคาร์บอนเหนือพื้นดินสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 47 ดังนั้นจึงนำมวลชีวภาพที่ได้รับ *0.47 เพื่อทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแสดงดัง Table 1

Table 1 The amount of the above-ground biomass and carbon storage

Sequence	Rule-base		Above-ground carbon storage				
	ExGvalue	Number of plots	biomass (Kg./plot)	Number of covering plots	biomass (Kg./area)	Carbon (Kg./area)	Carbon (Ton/area)
1	23.41 – 27.68	2	726.79	1,258	914,301.80	429,721.90	429.72
2	27.68 – 31.95	6	1,273.09	1,556	1,980,928	931,036.20	931.03
3	31.95 – 36.22	2	1,456.04	1,843	2,683,482	1,261,236	1,261.23
4	36.22 – 40.48	5	1,476.68	1,716	2,533,983	1,190,972	1,190.97
5	40.49 – 44.75	7	1,576.58	1,454	2,292,347	1,077,403	1,077.40
6	44.76 – 49.03	7	1,868.09	1,068	1,995,120	937,706.50	937.70
7	49.03 – 53.30	8	1,989.20	769	1,529,695	718,956.60	718.95
8	53.30 – 57.57	2	2,080.76	468	973,795.70	457,684	457.68
9	57.57 – 61.84	3	2,179.67	313	682,236.70	320,651.30	320.65
10	61.84 – 66.11	2	3,154.62	184	580,450.10	272,811.50	272.81
Total	-	-	-	-	16,166,339	7,598,179	7,598.17

จาก Table 1 แสดงพื้นที่ป่าทั้งหมดมีปริมาณมวลชีวภาพเท่ากับ 16,166,339 กิโลกรัม และกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน 7,598,179 กิโลกรัม หรือ 7,598.17 ตัน ซึ่งสามารถแสดงแผนที่การกระจายตัวของพื้นที่กักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินดังแผนที่ Figure 11

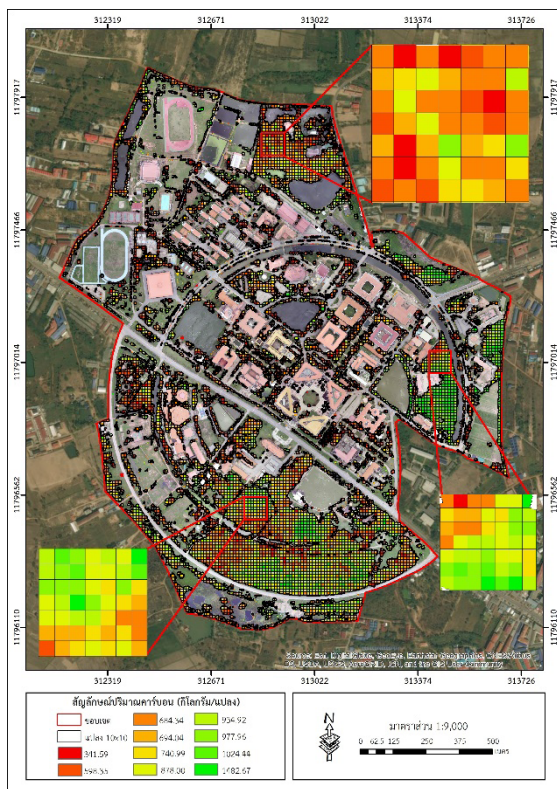


Figure 11 Quality of above-ground carbon stock per plot

จาก Figure 11 เมื่อนำข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้มาจัดทำแผนที่ให้อยู่ในรูปแบบแผนที่เชิงปริมาณ (Quantitative map) โดยแสดงลักษณะสีที่แตกต่างกันในรูปแบบกริดจึงกำหนดให้สีแดงเป็นแปลงที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ต่ำที่สุดจำนวน 341.59 กิโลกรัมต่อแปลงมีการกระจายตัวกันหนาแน่นอยู่ภายในมหาวิทยาลัยใกล้เคียงตึกอาคารเรียนเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก ความสูงน้อยและขนาดลำต้นเล็ก จึงส่งผลให้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้น้อย²⁸ และสีเขียวเป็นแปลงที่สามารถกักเก็บมวลชีวภาพได้มากที่สุดจำนวน 1,482.67 กิโลกรัมต่อแปลง มีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นอยู่บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติทางทิศใต้และทิศตะวันออกของมหาวิทยาลัย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ป่าที่มีมาก่อนก่อตั้งมหาวิทยาลัยและได้ทำการอนุรักษ์ไว้หลังจากก่อตั้ง¹² ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงมาก ทำให้สามารถดูดซับและกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณมากแผนที่สามารถวางแผนตัดสินใจในการบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืนการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากการศึกษาของธนวิทย์ ฤกษ์จ่างและเอกกมล วรธรรมศรี¹⁷ ที่ประยุกต์ใช้ข้อมูลความสูงพื้นผิวจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่าง และจากข้อเสนอแนะพบว่าควรทำการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดเพื่อใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาจึงนำข้อมูลจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับร่วมกับข้อมูลภาคสนามมาจำแนกและประเมินคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลลัพธ์ให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าภาพถ่าย

ดาวเทียม Sentinel-2 สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาพื้นที่อื่น ๆ เช่น ป่าชุมชน ป่าบุ่งทาม และสวนป่า¹⁷ การวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลข้อมูลภาพร่วมกับข้อมูลภาคสนาม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพิจารณาคุณสมบัติข้อมูลที่เกิดจากความแปรปรวนภายนอกและภายในระบบเครื่องอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งส่งผลต่อค่าความถูกต้องของการประมวลผลข้อมูลภาพ

สรุป

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ภาพอากาศยานไร้คนขับเพื่อจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางภูมิศาสตร์ที่ทันสมัยและประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย การวิจัยจึงนำมาใช้จำแนกด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) ร่วมกับแบบจุดภาพที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest neighbor) และคำนวณค่ามวลชีวภาพที่ได้จากค่าความสัมพันธ์กับค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ เพื่อเลือกใช้ค่าการสะท้อนที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดมาคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมด พบว่า การจำแนกภาพอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องโดยรวม 89% มีความถูกต้องมากกว่าภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เนื่องจากภาพมีความละเอียดสูงและการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุเหมาะสมกับภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถแบ่งส่วนรายละเอียดวัตถุของพื้นที่มหาวิทยาลัยได้อย่างชัดเจน การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน พบว่า มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมด 16,166,339 กิโลกรัม สามารถกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ 7,598,179 กิโลกรัมต่อไปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการใช้ที่ดินร่วมกับการใช้ยานพาหนะในพื้นที่มหาวิทยาลัยเพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้จำแนกพื้นที่ขนาดเล็กและประเมินการกักคาร์บอนพื้นที่ป่าได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และในอนาคตควรประยุกต์ใช้ประเมินการกักคาร์บอนของป่าชุมชน ป่าต้นน้ำ และพื้นที่แปลงเกษตร เพื่อวางแผนจัดการพื้นที่ป่าอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และคำปรึกษาการแก้ไขปัญหาเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์ใน ความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์ยุทธศาสตร์การวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. การเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2561. ได้จาก: <http://ccrc.nrct.go.th/การเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย>.
2. สุรินทร์ เหล่าสุขสถิต. ภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนคืออะไร ? วารสารพัฒนาเทคนิคนักศึกษา. 2551; (65): 22-28.
3. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานปี 2559. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUp&isearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&isearch=1).
4. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. การปลดปล่อย CO2 จากการใช้พลังงานของประเทศ. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders\[publishUp\]=publishUp&isearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders[publishUp]=publishUp&isearch=1).
5. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. การแปลตีความข้อมูลจากดาวเทียมด้วยสายตา. สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2561. ได้จาก: <https://www.gistda.or.th/main/th/node/997>.
6. กรีนพีซไทยแลนด์. ผลกระทบการเพิ่มขึ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2561. ได้จาก <http://www.greenpeace.org/seasia/th/solargen/climate-change/impacts/>.
7. สำนักนวัตกรรมไม่เศรษฐกิจ. โครงการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกพื้นที่สวนปาล์มการอุตสาหกรรมป่าไม้. สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2561. ได้จาก: <http://www.fico.th/p/km/document/km-530108.pdf>.
8. คู่มือการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก. ความร่วมมือระดับโลกเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2561 ได้ จาก http://green.wu.ac.th/wp-content/uploads/2017/11/UI-GreenMetric-Guideline-2017_Thai-1.pdf.
9. UI Green Metric World University Ranking. Overall Ranking 2018. [Serial Online] 10 April 2018; . Available from: <http://greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2018/>.
10. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาวิทยาลัยมหาสารคามสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน

2561. ได้จาก <http://www.web.msu.ac.th/sweb/Gmsu/gmsu.ph>.
12. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ประวัติความเป็นมา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2561. ได้จาก : http://www.web.msu.ac.th/msucont.php?mn=mhistory&paction=SHOW_ABOUTMSU.
 13. จตุรงค์สมอาจสวัสดิ์รัตนโนภาส สุวรรณลีไพบูลย์บุญไชย และบุศรินทร์เอมโอซ. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินก่อนและหลังก่อตั้งมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561;37(1):141-156.
 14. สุชี บัญสร้าง และวันชัย อรุณประภารัตน์. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋ำ จังหวัดตาก. วารสารวนศาสตร์. 2554;30(3):14-23.
 15. วรณพร เป็นนวล กาณจน์เชจร ชูชีพ และวิพัทธ์ จินตนา. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าพรุควนเค็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม. วารสารวนศาสตร์. 2558;34(1):16-28.
 16. ทิชา โลลูพิมานกาญจนา นาคะภากรอัจฉรา อัครจุฑกุล ชัยสิริกร กาญจนสุนทร และสุเพชร จิรขจรกุล. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพาราโดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลกรณีศึกษา จังหวัดระยอง. วารสารวนศาสตร์. 2559;24(6):914-926.
 17. Pandit S, Tsuyuki S, Dube T. Estimating above-ground biomass in sub-tropical buffer zone community forests, Nepal, using Sentinel-2 data. Remote Sensing. 2018 Apr;10(4):601.
 18. ธนวิทย์ ถมกระจำงและเอกกมล วรณเมธี. การประเมินปริมาณคาร์บอนของป่าชุมชนด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับกรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านบุตาต๋อง จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2561; 5(2): 34-42.
 19. Gascon F, Bouzinac C, Thépaut O, Jung M, Francesconi B, Louis J, Lonjou V, Lafrance B, Massera S, Gaudel-Vacaresse A, Languille F. Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. Remote Sensing. 2017;9(6):584.
 20. ธนสิทธิ์ ศิริวารินทร์วีระภาส คุณรัตน์สิริวันชัย และอรุณประภารัตน์. การใช้แบบจำลอง Markov Chain และ ภาพดาวเทียม Landsat 5 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอุทยานแห่งชาติ หมู่เกาะช้าง จังหวัดตราด. วารสารจัดการป่าไม้. 2558;(17-18):1-19.
 21. Meyer GE, Neto JC. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Computers and electronics in agriculture. 2008 Oct 1;63(2):282-93.
 22. นวลปราง นวลอุไร. การเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าจากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
 23. สุภาสพงษ์ ภูทำนอง. หลักการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ. สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2561. ได้จาก: <https://www.goto-know.org/posts/492648>.
 24. Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. 2010 Jan 1;65(1):2-16.
 25. Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira, T. 1965. Comparative ecological studies on threemain type of forest vegetation in Thailand.II. Plant Biomass. Nature and Life in SoutheastAsia 4: 49-80.
 26. Som-ard J, Hossain MD, Ninsawat S, Veerachitt V. Pre-harvest Sugarcane Yield Estimation Using UAV-Based RGB Images and Ground Observation. Sugar Tech. 2018 Dec 1;20(6):645-57.
 27. A Medium Corporation. สถิติเบื้องต้นที่จะทำให้คุณเข้าใจการวิเคราะห์ได้มากขึ้น. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : https://medium.com/@info_46914/.
 28. ฉันทภัทร์ ดวงทิพย์ ปวีณา ไกรวิจิตรและเสวีวัน เปรมประสิทธิ์. การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักษ์อนุรักษ์พันธุ์กรรมพีชอันเนื่องมาจากพระราชด าริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. วิจัยและนวัตกรรมพัฒนาประเทศ ครั้งที่ 12, 99-112.
 29. อาหนู ศิริรัฐนิคม, ทิพย์ทิว่า สัมพันธ์มิตร. ปริมาณคาร์บอนสะสมของป่าชุมชนบ้านหนองถิ่น ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2556;(16): 34-40.

ความหลากหลายของแบคทีเรียในน้ำทะเล บริเวณสถานีอนุรักษพันธุ์เต่าทะเล อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Diversity of Bacteria in Seawater at Sea Turtle Conservation Center, Sriracha District, Chonburi Province

สุบัตินทิธ นิมรัตน์^{1*}, สุวรรณมา มากรัตน์², วีรพงษ์ วุฒิพันธ์ชัย³

Subuntith Nimrat^{1*}, Suwanna Makrat², Verapong Vuthiphandchai³

Received: 24 April 2019 ; Revised: 19 June 2019 ; Accepted: 10 July 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณและชนิดของแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำทะเลบริเวณสถานีอนุรักษพันธุ์เต่าทะเล อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงเต่าทะเล เป็นระยะเวลา 5 เดือน พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำทะเลเท่ากับ $5.00 \pm 1.73 \times 10^4 - 1.52 \pm 0.09 \times 10^6$ CFU/mL เมื่อทำการจำแนกชนิดของแบคทีเรียทั้งหมดพบแบคทีเรีย ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp., *Brevibacillus laterosporus*, *Cytophaga* sp., *Erysipelothrix* sp., *Escherichia coli*, *Flavobacterium* sp., *Kocuria kristinae*, *Kocuria varians*, *Listeria* sp., *Micrococcus* sp., *Moraxella* sp., *Serratia* sp., *Staphylococcus lentus*, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus* sp., *Vibrio* sp. และแบคทีเรียที่ไม่สามารถจำแนกได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียที่พบทุกเดือนพบว่าปริมาณแบคทีเรียที่พบในเดือนตุลาคมและเดือนมกราคมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และกุมภาพันธ์

คำสำคัญ: น้ำทะเล เต่าทะเล แบคทีเรียทั้งหมด

Abstract

In this study, numbers and genus of total bacteria were investigated monthly in seawater at a Sea Turtle Conservation Center, Sriracha District, Chonburi Province, Thailand, used for marine turtle culture for 5 months. Numbers of total bacteria in seawater ranged from $5.00 \pm 1.73 \times 10^4$ to $1.52 \pm 0.09 \times 10^6$ CFU/ml. Bacteria found in this study were identified as *Azotobacter* sp., *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp., *Brevibacillus laterosporus*, *Cytophaga* sp., *Erysipelothrix* sp., *Escherichia coli*, *Flavobacterium* sp., *Kocuria kristinae*, *Kocuria varians*, *Listeria* sp., *Micrococcus* sp., *Moraxella* sp., *Serratia* sp., *Staphylococcus lentus*, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus* sp., *Vibrio* sp. and unidentified species. Numbers of total bacteria found in October were not significantly different ($P > 0.05$), compared to those in January, but significantly different ($P < 0.05$), compared to those in November, December and February.

Keywords : Seawater, Marine turtle, Total bacteria

¹ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

² นิสิตปริญญาตรี, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

³ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

¹ Associate Professor, Department of Microbiology and Environmental Science Program, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

² Bachelor degree student, Department of Microbiology, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

³ Associate Professor, Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

* Corresponding author : E-mail: subunti@buu.ac.th

บทนำ

เต่าทะเลเป็นทรัพยากรสัตว์น้ำที่มีคุณค่าและประโยชน์หลายด้านโดยเฉพาะในเชิงเศรษฐกิจ เนื่องจากเนื้อและไขของเต่าทะเลสามารถนำมาประกอบอาหารและสามารถนำมาบริโภคได้ ทั้งยังสามารถนำมาใช้ทำเครื่องประดับ เครื่องประดับเพอร์นิเจอร์ เครื่องหนัง และเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่น หวี กระดุม และพัด เป็นต้น^{1,2} ในปัจจุบันเต่าทะเลในธรรมชาติลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วจนอยู่ในสถานะที่ใกล้จะสูญพันธุ์ ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งจากการกระทำโดยเจตนาและโดยอุบัติเหตุ อาทิ การวางอวน การลักลอบขุดไขเต่าทะเลมลภาวะจากการท่องเที่ยวทางทะเล ตลอดจนการสูญเสียแหล่งวางไข่ เป็นต้น³ ดังนั้นเพื่อเป็นการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล จึงได้มีการเพาะเลี้ยงเต่าทะเลขึ้น

การเพาะเลี้ยงเต่าทะเลต้องคำนึงถึงความสะดวกของอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัยมากที่สุด เนื่องจากทั้งความสะดวกของอาหารและแหล่งน้ำที่ใช้ล้วนส่งผลต่อสุขภาพของเต่าทะเลที่เลี้ยงได้ นอกจากนี้ตัวของเต่าทะเลและแหล่งที่อยู่มีแบคทีเรียประจำถิ่นอาศัยอยู่ ซึ่งเมื่อใดที่เต่าเกิดความเครียดอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ แบคทีเรียเหล่านี้สามารถเข้าไปทำให้อาการของโรครุนแรงขึ้น ดังนั้นถ้าแหล่งที่อยู่อาศัยหรืออาหารมีการปนเปื้อนของเชื้อแล้ว โอกาสของการเกิดโรคในเต่าย่อมมีสูงมากตามไปด้วย^{4,5} โดยสาเหตุของการป่วยและเสียชีวิตของเต่าทะเลส่วนหนึ่งมาจากการติดเชื้อ ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และปรสิต เป็นต้น มีรายงานการพบแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิดในน้ำทะเลธรรมชาติ เช่น *Proteus* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, *Streptococcus* sp. และ *Mycobacterium marinum* เป็นต้น⁶ เต่าทะเลอาจติดเชื้อได้ทั้งจากแบคทีเรียก่อโรคและแบคทีเรียฉวยโอกาสที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งที่อยู่อาศัยและอาหาร โดยแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ที่พบการติดเชื้อในเต่าทะเลทั่วโลก ได้แก่ *Aeromonas hydrophila*, *Aureobacterium* sp., *Bacillus* sp., *Citrobacter freundii*, *Corynebacterium* sp., *Edwardsiella* sp., *Micrococcus* sp., *Moraxella* spp., *Pseudomonas* sp., *Salmonella* sp., *Streptococcus* sp. และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม^{4,7,8} โดยแบคทีเรียที่พบการติดเชื้อบ่อยที่สุดในเต่าทะเลคือ *Vibrio alginolyticus*⁴ และจากการศึกษาของ Storelli and Zizzo⁹

พบแบคทีเรีย ได้แก่ *Acinetobacter calcoaceticus*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter* sp., *Escherichia coli* และ *Pasteurella* sp. ในเต่าทะเลแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน นอกจากนี้พบว่าจุลินทรีย์บางชนิดที่ปนเปื้อนในแหล่งเพาะเลี้ยงที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคในเต่าทะเลอาจแพร่เชื้อส่งต่อมายังมนุษย์ได้ ยกตัวอย่างเช่น พบการแพร่ระบาดของโรคซัลโมเนลโลซิส (*Salmonellosis*) ที่มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อ *Salmonella* sp. จากเต่ามายังมนุษย์^{10,11}

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาถึงความหลากหลายของแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำทะเล เพื่อให้มีแหล่งข้อมูลทางด้านความหลากหลายของแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำทะเลในช่วงเวลาดังกล่าวและเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อประโยชน์ต่อการป้องกันการโรคระบาดในเต่าทะเลและมนุษย์ให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงเต่าทะเลต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

การศึกษานี้ครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแบคทีเรียในน้ำทะเลที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงเต่าทะเลในช่วงระยะเวลา 5 เดือน ตั้งแต่ตุลาคม พ.ศ. 2548 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณสถานีอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นน้ำก่อนนำมาใส่ในบ่อเลี้ยงเต่าทะเล โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจำนวน 1 จุด ที่ระดับความลึกของน้ำ 3-5 เซนติเมตร ห่างจากชายฝั่ง 30 เซนติเมตร (Figure 2) เดือนละ 1 ครั้ง (จำนวน 3 ครั้ง) และนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของแบคทีเรียทั้งหมดต่อไป



Figure 1 Marine turtle (*Chelonia mydas*, Linnaeus 1758)

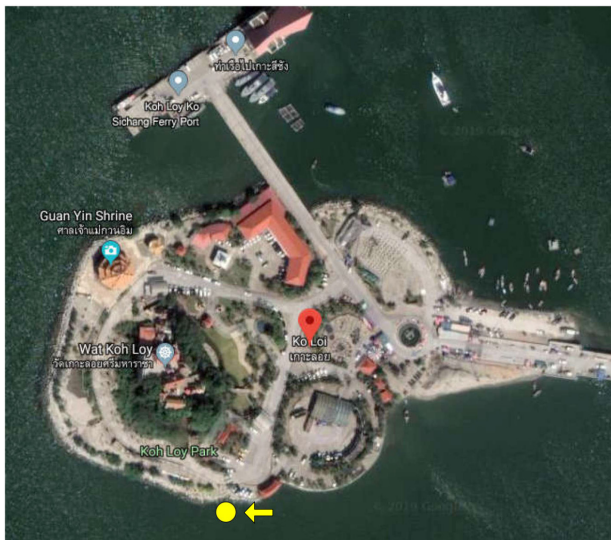


Figure 2 Sampling site (yellow arrow) at Sea Turtle Conservation Center, Sriracha District, Chonburi Province

2. การศึกษาปริมาณและชนิดของแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างน้ำทะเล¹²

การศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างน้ำทะเล ทำโดยนำตัวอย่างน้ำทะเลจากข้อ 1. ปริมาตร 1 mL ใส่ลงใน Butterfield's phosphate-buffered water ปริมาตร 9 mL เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างน้ำทะเลที่ระดับความเจือจางเริ่มต้นคือ 10^{-1} และทำการเจือจางต่อจนถึงระดับความเจือจางต่าง ๆ ปริมาตร 0.1 mL ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Marine agar (บริษัท Difco, Becton Dickinson, Sparks, MD, USA) ที่ประกอบด้วย Peptone 5 g/L, Yeast extract 1 g/L, Ferric Citrate 0.1 g/L, Sodium Chloride 19.45 g/L, Magnesium Chloride 8.8 g/L, Sodium Sulfate 3.24 g/L, Calcium Chloride 1.8 g/L, Potassium Chloride 0.55 g/L, Sodium Bicarbonate 0.16 g/L, Potassium Bromide 0.08 g/L, Strontium Chloride 34 mg/L, Boric Acid 22 mg/L, Sodium Silicate 4 mg/L, Sodium Fluoride 2.4 mg/L, Ammonium Nitrate 1.6 mg/L, Disodium Phosphate 8 mg/L, Agar 15 g/L จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างน้ำทะเลให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อโดยวิธี Spread plate (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) ทั้งให้ผิวหน้าอาหารแห้ง แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และคำนวณปริมาณแบคทีเรียในหน่วย CFU/mL

การศึกษาชนิดของแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างน้ำทะเล ทำโดยนำโคโลนีของแบคทีเรียที่มีลักษณะแตกต่างกันมาย้อมสีแกรม ศึกษาลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และทำการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี เพื่อจำแนกชนิดของแบคทีเรีย ตามวิธีของ Bergey's manual of determinative bacteriology, Bergey's manual of systematic bacteriology และ Color atlas and textbook of diagnostic microbiology¹³⁻¹⁶

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (Version 13) โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ($P < 0.05$)

ผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างน้ำทะเลก่อนนำมาใช้เลี้ยงเต่าทะเลที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในช่วง $5.00 \pm 1.73 \times 10^4 - 1.52 \pm 0.09 \times 10^6$ CFU/mL โดยพบว่าน้ำทะเลมีปริมาณแบคทีเรียสูงสุดในเดือนธันวาคม เท่ากับ $1.52 \pm 0.09 \times 10^6$ CFU/mL และมีปริมาณต่ำสุดในเดือนมกราคม เท่ากับ $5.00 \pm 1.73 \times 10^4$ CFU/mL เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียที่พบทุกเดือนพบว่าปริมาณแบคทีเรียในเดือนตุลาคมและเดือนมกราคมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกับเดือนพฤศจิกายน ธันวาคมและกุมภาพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1

เมื่อนำแบคทีเรียที่พบมาทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีเพื่อจำแนกชนิดของแบคทีเรีย พบแบคทีเรียแพร่กระจายในน้ำทะเลทั้งหมด 18 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp., *Brevibacillus laterosporus*, *Cytophaga* sp., *Erysipelothrix* sp., *Escherichia coli*, *Flavobacterium* sp., *Kocuria kristinae*, *Kocuria varians*, *Listeria* sp., *Micrococcus* sp., *Moraxella* sp., *Serratia* sp., *Staphylococcus lentus*, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus* sp., *Vibrio* sp. และแบคทีเรียที่ไม่สามารถจำแนกได้ ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งลักษณะทางชีวเคมีของแบคทีเรียที่แยกได้ในการศึกษาในครั้งนี้แสดงใน Table 3-5

Table 1 Number of total bacteria in sea water at different sampling period of times

Sampling periods	Number of total bacteria (CFU/ml)
October	9.00 ± 1.41×10 ⁴ ^d
November	5.25 ± 1.63×10 ⁵ ^c
December	1.52 ± 0.09×10 ⁶ ^a
January	5.00 ± 1.73×10 ⁴ ^d
February	1.06 ± 0.28×10 ⁶ ^b

Data were expressed as mean ± S.D. Means with superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

Table 2 Abundance of bacteria isolated from sea water

Sampling periods	Bacteria isolated from sea water		
	Bacterial isolates	No. of isolates	Percentage of bacteria found
October	<i>Bacillus megaterium</i>	1	9.09
	<i>Bacillus</i> sp.	2	18.18
	<i>Cytophaga</i> sp.	1	9.09
	<i>Escherichia coli</i>	1	9.09
	<i>Micrococcus</i> sp.	4	36.36
	<i>Staphylococcus lentus</i>	1	9.09
	Unidentified	1	9.09
November	<i>Cytophaga</i> sp.	1	14.28
	<i>Escherichia coli</i>	1	14.28
	<i>Flavobacterium</i> sp.	1	14.28
	<i>Serratia</i> sp.	1	14.28
	<i>Staphylococcus lentus</i>	1	14.28
	<i>Staphylococcus</i> sp.	2	28.57
December	<i>Bacillus</i> sp.	1	7.69
	<i>Brevibacillus laterosporus</i>	1	7.69
	<i>Escherichia coli</i>	2	15.30
	<i>Flavobacterium</i> sp.	1	7.69
	<i>Kocuria kristinae</i>	3	23.07
	<i>Micrococcus</i> sp.	1	7.69
	<i>Moraxella</i> sp.	1	7.69
	<i>Staphylococcus lentus</i>	1	7.69
	<i>Staphylococcus lugdunensis</i>	1	7.69
<i>Vibrio</i> sp.	1	7.69	
January	<i>Kocuria varians</i>	2	33.33
	<i>Listeria</i> sp.	1	16.66
	<i>Micrococcus</i> sp.	1	16.66
	<i>Moraxella</i> sp.	1	16.66
	<i>Staphylococcus</i> sp.	1	16.66
February	<i>Azotobacter</i> sp.	1	16.66
	<i>Erysipelothrix</i> sp.	3	50.00
	<i>Micrococcus</i> sp.	1	16.66
	Unidentified	1	16.66

Table 3 Biochemical tests of rod-shaped Gram-negative bacteria

Characters	<i>Escherichia coli</i>	<i>Serratia sp.</i>	<i>Flavobacterium sp.</i>	<i>Moraxella sp.</i>	<i>Vibrio sp.</i>	<i>Azotobacter sp.</i>	<i>Cytophaga sp.</i>
Gram stain	-	-	-	-	-	-	-
Cell shape	Short rod	Short rod	Short rod	Short rod	Short rod	Short rod	Long rod
Spore forming	-	-	-	-	-	-	-
Oxidase test	-	-	+	+	+	nd	+
Catalase test	-	+	+	+	+	+	+
Motility	+	+	-	-	+	+	nd
Growth on McConkey medium	+	+	-	-	-	nd	nd
Growth on TCBS	-	-	-	-	+	nd	nd
Indole	+	-	+	-	+	+	-
Methyl red	+	-	nd	nd	+	nd	nd
Voges-Proskauer	-	+	nd	-	+	nd	nd
Citrate	-	+	nd	-	+	nd	nd
Urease test	-	-	-	-	nd	+	-
Nitrate reduction	+	+	nd	nd	nd	nd	nd
H ₂ S production	-	-	nd	nd	nd	+	-
O/129 Sensitivity	nd	nd	nd	nd	+	nd	nd
O/F test	F	F	Non-F	Non-F	F	nd	nd
Arginine Dehydrogenase	-	-	-	nd	-	nd	nd
Hydrolysis of Gelatin	-	+	-	-	nd	nd	-
Starch	nd	nd	+	nd	nd	nd	-
Casein	nd	+	-	nd	nd	nd	+
Chitin	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd
Fermentation of Arabinose	+	+	nd	nd	nd	nd	nd
Fructose	nd	+	nd	nd	nd	+	nd
Glucose	+	+	-	-	-	+	nd
Inositol	+	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lactose	+	-	nd	nd	nd	nd	nd
Maltose	+	+	nd	nd	nd	+	nd
Mannitol	+	+	nd	nd	nd	nd	nd
Mannose	+	+	nd	nd	nd	nd	nd
Raffinose	+	-	nd	nd	nd	nd	nd

Note: + = positive reaction; - = negative reaction; F = fermentative; Non-F = non-fermentative; nd = not done

Table 4 Biochemical tests of rod-shaped Gram-positive bacteria

Character	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Brevibacillus laterosporus</i>	<i>Listeria</i> sp.	<i>Erysipelothrix</i> sp.
Gram stain	+	+	+	+	+
Cell shape	Large rod	Large rod	Small rod	Small rod	Small rod
Endospore forming	+	+	-	-	-
Motility	+	+	+	+	-
Oxidase test	+	nd	nd	nd	-
Catalase test	+	+	+	+	-
Indole	-	-	+	-	nd
Methyl red	+	-	nd	+	nd
Voges-Proskauer	+	+	-	+	nd
Citrate utilization	+	+	nd	-	nd
Urease test	-	+	-	-	nd
H ₂ S production	nd	nd	nd	-	+
Growth at 30 °C	+	+	nd	+	+
37 °C	+	+	nd	+	+
45 °C	+	+	nd	-	-
60 °C	+	+	nd	-	-
Acid production from Glucose	-	+	+	+	+
Lactose	+	+	nd	nd	nd
Xylose	+	-	nd	-	nd
Mannitol	+	+	+	-	nd
Maltose	nd	+	-	nd	nd
Hydrolysis of Gelatin	+	+	+	-	nd
Starch	+	+	-	nd	nd
Casein	+	+	+	-	nd

Note: + = positive reaction; - = negative reaction; nd = not done

Table 5 Biochemical tests of spherical-shaped Gram-positive bacteria

Character	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Kocuria kristinae</i>	<i>Kocuria varians</i>	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Staphylococcus lentus</i>	<i>Staphylococcus lugdunensis</i>
Gram stain	+	+	+	+	+	+
Cell shape	Cocci	Cocci	Cocci	Cocci	Cocci	Cocci
Motility	-	-	-	-	-	-
Endospore forming	-	nd	nd	-	-	nd
Catalase	+	+	+	+	+	+
Oxidase	+	+	-	-	+	-
Coagulase	-	nd	nd	-	-	-
Arginine dihydrolase	-	nd	nd	nd	-	-
Nitrate reduction	nd	-	+	+	+	+
Resistant to bacitracin	nd	nd	nd	+	nd	nd

Table 5 Biochemical tests of spherical-shaped Gram-positive bacteria (Continue)

Character	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Kocuria</i> <i>kristinae</i>	<i>Kocuria</i> <i>varians</i>	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> <i>lentus</i>	<i>Staphylococcus</i> <i>lugdunensis</i>
Urease	-	-	+	nd	nd	-
Novobiocin resistance	nd	nd	nd	nd	+	-
Acid production from Sucrose	nd	+	nd	nd	+	+
Glucose	-	+	+	+	nd	+
Trehalose	nd	nd	nd	nd	+	+
Ribose	nd	nd	nd	nd	+	-
Mannitol	-	-	-	nd	nd	-
Mannose	-	+	-	nd	nd	+
Hydrolysis of Esculin	nd	+	-	nd	nd	nd
Gelatin	nd	-	+	nd	nd	nd
Starch	nd	-	-	nd	nd	nd

Note: + = positive reaction; - = negative reaction; nd = not done

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำทะเลซึ่งมีปริมาณอยู่ระหว่าง $5.00 \pm 1.73 \times 10^4$ - $1.52 \pm 0.09 \times 10^6$ CFU/mL โดยพบปริมาณสูงสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 และพบปริมาณต่ำสุดในเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 สอดคล้องกับรายงานของ Austin¹⁷ ที่ระบุว่าน้ำทะเลมีปริมาณแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 10^3 - 10^6 CFU/mL เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียที่พบในแต่ละเดือนนั้นมีความเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนตลอดระยะเวลาการทดลอง 5 เดือน อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลและการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ประกอบกับการมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้จำนวนของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย¹⁸ โดยความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการแพร่กระจายและการเจริญของแบคทีเรีย¹⁸⁻²⁰ ส่วนเดือนมกราคมที่เป็นช่วงเดือนในฤดูหนาวจึงมีปริมาณแบคทีเรียต่ำ ปริมาณความเค็มของน้ำทะเลสูง ขณะที่เดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นเดือนในช่วงฤดูหนาว ความเค็มของน้ำทะเลยังคงมีค่าสูง ส่งผลให้แบคทีเรียบางชนิดไม่สามารถเจริญได้ โดยความเค็มจะมีค่าแตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเจือจางและการระเหยของน้ำทะเล²¹ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในเดือนกุมภาพันธ์กลับมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในปริมาณสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่าง มีการทิ้งสิ่งปฏิกูลและระบายน้ำเสียจากบ้านเรือน แหล่งชุมชนอาศัย ท่าเรือ สถานที่ประกอบการท่องเที่ยว และเรือประมงลงสู่ทะเล ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณเดิมที่มักพบการปนเปื้อนดังกล่าวสูงส่งผลให้พบปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น²² โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้าใกล้ชายฝั่งมากเท่าใดย่อมมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น²³

เมื่อทำการจำแนกชนิดของแบคทีเรียกลุ่มนี้พบแบคทีเรียทั้งหมด 18 สายพันธุ์ โดยแบคทีเรียที่พบปริมาณสูงที่สุด คือ *Micrococcus* sp. รองลงมาคือ *Erysipelothrix* sp. และ *Kocuria kristinae* และพบแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่มีการแพร่กระจายในตัวอย่างน้ำทะเล คือ *Azotobacter* sp., *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp., *Brevibacillus laterosporus*, *Cytophaga* sp., *E. coli*, *Flavobacterium* sp., *K. varians*, *Listeria* sp., *Moraxella* sp., *S. lentus*, *S. lugdunensis*, *Staphylococcus* sp., *Serratia* sp., *Vibrio* sp. และแบคทีเรียที่ไม่สามารถจำแนกได้ เป็นต้น สอดคล้องกับรายงานของ เอกวิทย์ เส็งประชา²² ที่ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายและความหลากหลายทางชีวภาพของแบคทีเรียในทะเลบริเวณปากแม่น้ำ และพบแบคทีเรียสกุล *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Chromobacterium*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Cytophaga* และ *Photobacterium* ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งไอโอเนียน แถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนประเทศอิตาลี²⁴

แบคทีเรียที่พบในการศึกษาครั้งนี้บางชนิดเป็นแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Vibrio* sp. ก่อให้เกิดโรคผิวหนังในเต่าหัวค้อน การอักเสบของเยื่อหุ้มหัวใจในเต่ามะเฟือง เยื่อเมือกในช่องจมูกอักเสบ ปอดบวม เยื่อเมือกในปากอักเสบ และเลือดเป็นพิษในเต่าตนุ^{4,7,8,25,26} ส่วน *Bacillus* sp. และ *Staphylococcus* sp. ก่อให้เกิดอาการอักเสบ เยื่อเมือกอักเสบและเนื้อเยื่อตาย^{4,7,27} และจากรายงานวิจัยของ ธนาพร ชื่นอ้อม²⁸ พบการติดเชื้อแบคทีเรียในอวัยวะต่าง ๆ ของลูกเต่าทะเลที่ตายจากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล เมื่อทำการจำแนกชนิดของ

แบคทีเรีย พบจำนวน 10 ชนิด คือ *A. hydrophila*, *Aureobacterium* sp., *Citrobacter freundii*, *Corynebacterium* spp., *Edwardsiella* sp., *Micrococcus* sp., β -haemolytic *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* group C, *V. alginolyticus* และ *V. parahaemolyticus* นอกจากนี้ยังพบการติดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในเต่าทะเล คือ *V. parahaemolyticus* และ *Lactococcus garviae* โดยพบว่าแบคทีเรียดังกล่าวเป็นสาเหตุที่ทำให้เต่าทะเลป่วยและเต่าทะเลอาจเป็นพาหะนำเชื้อก่อโรคทั้งสองชนิดไปสู่ปลาและมนุษย์ได้²⁹

ดังนั้น น้ำที่ใช้เลี้ยงเต่าทะเลจึงจำเป็นต้องได้รับการควบคุมในเรื่องของการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคชนิดต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุและหรือทำให้เต่าทะเลป่วยและตายไป รวมถึงเป็นพาหะนำโรคมานุษย์และสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของธนาพร ชื่นอ้อม และคณะ²⁸ พบว่ามีอัตราการตายของลูกเต่าทะเลระหว่างการอนุบาลโดยเฉลี่ย 30-70% รวมทั้งจากการสำรวจตัวอย่างลูกเต่าทะเลที่ตายจากศูนย์อนุรักษ์ของกองทัพเรือ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง 2550 จำนวนทั้งหมด 65 ตัว พบบาดแผลและอาการผิดปกติทางคลินิกทั้งอวัยวะภายนอก เช่น กระดอง รยางค์ บริเวณผิวหนัง หางและกัน และอวัยวะภายในร่างกายของลูกเต่าทะเล เช่น หัวใจ ตับ กระเพาะอาหาร ลำไส้ ไต เป็นต้น จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าไม่พบลักษณะการติดเชื้อพยาธิปรสิต หรือไข่ของพยาธิหรือปรสิต อาการโรคชนิดต่างๆ ที่ตรวจสรุปได้ดังนี้ บาดแผลเน่าเป็นหนองบนผิวหนัง ตามลำตัว และที่บริเวณกระดอง (Ulcerative dermatitis) แผลเปื่อยและแผลอักเสบของเยื่อเมือกในช่องปาก (Ulcerative stomatitis) ตับอักเสบซึ่งบางครั้งพบอาการลามไปที่ลำไส้เล็กด้วย (Necrotizing hepatitis) กระเพาะอาหารที่อักเสบมีอาการบวมพอง (Gastrextasis) และลำไส้เล็กอักเสบมีอาการบวมพอง เมื่อทำการแยกเชื้อแบคทีเรียจากบาดแผล พบรวมทั้ง 10 ชนิดด้วยกันคือ *A. hydrophila*, *Aureobacterium* sp., *Citrobacter freundii*, *Corynebacterium* sp., *Edwardsiella* sp., *Micrococcus* sp., β -haemolytic *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* group C, *V. alginolyticus* และ *V. parahaemolyticus*²⁸ นั่นคือลูกเต่าทะเลเหล่านี้ติดเชื้อแบคทีเรียจากสภาพแวดล้อมได้ง่ายส่งผลให้ป่วยเป็นโรคและหายจากโรคนานกว่าจึงตายในที่สุด ลักษณะการแพร่กระจายของเชื้อแบคทีเรียที่มีแนวโน้มว่าเป็นเชื้อก่อโรคในเต่าทะเลในแต่ละท้องที่อาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในแต่ละท้องที่จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานแต่มีความสำคัญต่อการป้องกันและรักษาโรคในสัตว์ต่อไป²⁵⁻²⁹

จากรายงานของดลภูมิ สุริยันต์⁷ ได้ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบแบคทีเรียในน้ำทะเลจากบ่ออนุบาลเต่าทะเลและเนื้อปลาที่ใช้เป็นอาหารของศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ในระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ผลการศึกษาพบแบคทีเรียแกรมลบที่พบบ่อยที่สุดและมีปริมาณมากที่สุดได้แก่ กลุ่ม *Vibrio* sp. สำหรับแบคทีเรียแกรมบวกพบกลุ่ม *Staphylococcus* sp. มากที่สุด นอกจากนี้ยังตรวจพบกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ Beta hemolytic bacteria, Enteric bacteria และ Coliform, *Salmonella* sp., *Shigella* sp. และ *Staphylococcus aureus* โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีประโยชน์ในการบริหารจัดการการอนุรักษ์เต่าทะเลในสวนของการป้องกันและการรักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรียต่อไป

นอกจากนั้นพบว่าเมื่อทำการตรวจสอบแบคทีเรียในน้ำทะเลจากบ่ออนุบาลลูกเต่าทะเลในช่วง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ผลการทดลองตรวจพบเชื้อ *Vibrio* sp. บ่อยที่สุดและมีปริมาณมากที่สุด ส่วนแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่ตรวจพบ ได้แก่ Enteric และ Coliform bacteria, Gram negative bacteria, Hemolytic bacteria, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Staphylococcus* sp. และ *S. aureus*³⁰ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการป้องกันและรักษาการติดเชื้อในลูกเต่าทะเลต่อไป

ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการบริหารจัดการการเพาะเลี้ยงเต่าทะเล และการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล ในด้านการป้องกันโรคติดเชื้อจากแบคทีเรียที่ปะปนในน้ำทะเลต่อไป นอกจากนี้ควรติดตามความหลากหลายของแบคทีเรียในน้ำทะเลบริเวณสถานีอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี อย่างสม่ำเสมอ เพื่อการป้องกันการติดเชื้อของเต่าทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

รวมทั้งในการศึกษาค้นคว้าจะเป็นข้อมูลของความหลากหลายของแบคทีเรียในน้ำทะเล บริเวณสถานีอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2548 - 2549 และสามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่นๆที่มีรายงานอยู่เพื่อทำให้ทราบถึงแนวโน้มของวิวัฒนาการของความหลากหลายของแบคทีเรียในน้ำทะเล บริเวณสถานีอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รวมทั้งเป็นการเพิ่มข้อมูลที่ขาดหายไปของข้อมูลทางวิชาการในการเพาะเลี้ยงและการอนุรักษ์เต่าทะเลนั่นเอง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. เฉษฐา อีสหะ, สุภาวดี โกยกุลย์, ทิพรรัตน์ พงศ์ธนาพานิช, วรณนภา สมบุญสำราญ. การศึกษาการพัฒนาระบบการเลี้ยงตะพาน้ำและการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจการผลิตและการตลาดของตะพาน้ำพันธุ์ไต้หวัน. รายงานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ; 2544
2. Mudiyansele R, Rathnayake W. Turtle watching: a strategy for endangered marine turtle conservation through community participation in Sri Lanka, *Ocean Coast Manage* 2016;119:199-207
3. บุญเลิศ ผาสุก. จรรยาบรรณในการทำการประมงด้วยการรับผิดชอบ. วารสารการประมง 2539;49 (6):511-514
4. Chuen-Im T, Areekijseer M, Chongthammakun S, Graham SV. Aerobic bacterial infections in captive juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) and hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) from Thailand, *Chelonian Conserv Biol* 2010;9:135-142
5. Chuen-Im T, Phengpan P, Panishkan K. Effects of environmental parameters on bacterial levels in seawater from juvenile green turtle (*Chelonia mydas*) kept in captivity, *Fish Aquac J* 2010;FAJ-9:1-8
6. Pougnet R, Pougnet L, Allio I, Lucas D, Dewitte JD, Loddé B. Maritime environment health risks related to pathogenic microorganisms in seawater, *Int Marit Health* 2018;69:35-45
7. ดลภูมิ สุริยันต์. การตรวจสอบและทดสอบความไวต่อยาต้านจุลชีพของแบคทีเรียที่หายใจแบบใช้ออกซิเจนที่แยกได้จากบ่ออนุบาลเต่าทะเลของศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2557
8. Glazebrook JS, Campbell RSF. A survey of the diseases of marine turtles in Northern Australia," I. Farmed turtles. *Dis Aquat Organ* 1990;9(2):83-95
9. Storelli MM, Zizzo N. Occurrence of organochlorine contaminants (PCBs, PCDDs and PCDFs) and pathologic findings in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, from the Adriatic Sea (Mediterranean Sea), *Sci Total Environ* 2014;472:855-861
10. Soto E, Ives AK, Stewart K, Francis S, Sithole F, Kearney MT, Griffin MJ. Prevalence and persistence of *Salmonella enterica* in sea turtles and beach sand on the island of St. Kitts, West Indies, Available from: <https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?pld=14818&meta=Generic&catId=75132&id=7312324&ind=134&objTypeID=17> Accessed February 4, 2019
11. Alfaro A, Koie M, Buchmann K. Synopsis of infections in sea turtles caused by virus, bacteria and parasites: An ecological review. Available from: http://www.seaturtle.org/library/AlfaroA_2010_Synopsisofinfectionsinseaturtlescau.pdf Accessed February 4, 2019
12. Maturin L, Peeler JT. BAM: Aerobic plate count, bacteriological analytical manual chapter 3 aerobic plate count. Available from: <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm063346.htm> Accessed March 12, 2009
13. Holt JG, Krieg NR, Sneath PHA, Staley JT, Williams ST. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 1994
14. Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT, Garrity GM. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (vol. 2) 2nd ed., New York: Springer-Verlag; 2005
15. Staley JT, Bryant MP, Pfennig N, Holt JG. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (vol. 3) Baltimore: Williams and Wilkins; 1989
16. Winn W, Allen S, Janda W, Koneman E, Procop G, Scherenberger P, Woods G. *Color atlas and textbook of diagnostic microbiology*. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2006
17. Austin B. *Marine microbiology*. New York: Cambridge University Press; 1988.
18. Suh SS, Park M, Hwang J, Kil EJ, Jung SW, Lee S, Taek-Kyun Lee TK. Seasonal dynamics of marine microbial community in the South Sea of Korea, *PLoS ONE* 2015;10: e0131633. doi:10.1371/journal.pone.0131633

19. เสถียรพงษ์ ขาวหิวด, เกษม จันทร์แก้ว. การประเมินการปนเปื้อนแบคทีเรียบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ย ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 2559;8(15): 78-87
20. WHO. Health-based monitoring of recreational waters: The feasibility of a new approach (the Annapolis protocol), WHO/SDE/WSH/99.1. Geneva: World Health Organization; 1999.
21. Munn CB. Marine microbiology: Ecology and application. London: BIOS Scientific; 2001.
22. เอกวิทย์ เส็งประชา. การศึกษาการแพร่กระจายและความหลากหลายทางชีวภาพของแบคทีเรียในทะเล บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ถึง เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี, ปัญหาทางจุลชีววิทยาปริญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยบูรพา; 2541
23. Pandey PK, Kass PH, Soupier ML, Biswas S, Singh VP. Contamination of water resources by pathogenic bacteria, *AMB Express* 2014;4:51. doi:10.1186/s13568-014-0051-x
24. Cavallo RA, Acquaviva MI, Stabili L. Culturable heterotrophic bacteria in seawater and *Mytilus galloprovincialis* from a Mediterranean area (Northern Ionian Sea – Italy), *Environ Monit Assess* 2009;149:465-475
25. Wiles M, Rand TG. Integumental ulcerative disease in a loggerhead turtle, *Caretta caretta*, at the Bermuda Aquarium: Microbiology and histopathology, *Dis Aquat Organ* 1987;3(2):85-90
26. Glazebrook JS, Campbell RSF. A survey of the diseases of marine turtles in northern Australia II: Oceanarium-reared and wild turtles, *Dis Aquat Organ* 1990;9:97-104
27. Orós J, Torrent A, Calabuig P, Déniz S. Diseases and causes of mortality among sea turtles stranded in the Canary Islands, Spain (1998-2001), *Dis Aquat Organ* 2005;63:13-24
28. ธนาพร ชื่นอ้อม. การสำรวจโรคเพื่อการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลจากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล กองทัพเรือ จ.ชลบุรี. ได้จาก: http://www.tnrr.in.th/?page=result_search&record_id=60254 Accessed February 4, 2019.
29. Fichi G, Cardeti G, Cersini A, Mancusi C, Guarducci M, Di Guardo G, Terracciano G. Bacterial and viral pathogens detected in sea turtles stranded along the coast of Tuscany, Italy, *Vet Microbiol* 2016;15:56-61
30. พันธิตรา เฟิงปาน. การสำรวจและทดสอบประสิทธิภาพการดื้อยาของแบคทีเรียที่หายใจแบบใช้ออกซิเจนจากบ่ออนุบาลลูกเต่าทะเลของศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล จังหวัดชลบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2554. ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2554

ความเชื่อมโยงในปริภูมิเชิงทอพอโลยีวางนัยทั่วไปอุดมคติ

Connectedness in a set of ideal generalized topological spaces

ณัฐยาน์ บุญแย้ม¹, ดร.ณิ บุญชารี², จีระนันท์ คำภักดิ์³

Natthaya Boonyam¹, Daruni Boonchari², Jeeranunt Khampakdee³

Received: 23 January 2019 ; Revised: 17 April 2019 ; Accepted: 23 April 2019

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของบทความนี้ คือการศึกษาสมบัติของความเชื่อมโยงของเซตในปริภูมิเชิงทอพอโลยีวางนัยทั่วไปอุดมคติ เราได้ให้ลักษณะของเซตเชื่อมโยงในรูปของ μ^* เซตเชื่อมโยงในรูปของ μ^{*s} เซตที่แยกกันได้ในรูปของ μ^* และส่วนประกอบในรูปของ μ^*

คำสำคัญ : ปริภูมิเชิงทอพอโลยีวางนัยทั่วไปอุดมคติ เซตเชื่อมโยงในรูปของ μ^* เซตเชื่อมโยงในรูปของ μ^{*s} เซตที่แยกกันได้
ในรูปของ μ^* ส่วนประกอบในรูปของ μ^*

Abstract

The aim of this paper is to study properties of connectedness in ideal generalized topological spaces. Precisely, we provide characterization of μ^* -connected sets, μ^{*s} -connected sets, μ^* -separated sets and μ^* -component.

Keywords : ideal generalized topological spaces, μ^* -connected sets, μ^{*s} -connected sets, μ^* -separated sets, μ^* -component.

Introduction

Kuratowski, (1966) and Vaiyanathaswamy, (1933) introduced the concept of an ideal topological space. They also studied concept of localization theory. An ideal is a nonempty collection of subsets which are closed under heredity and finite union. An ideal I on a topological space (X, τ) is a nonempty collection of subsets of X which satisfies : (1) $A \in I$ and $B \subseteq A$ implies $B \in I$ and (2) $A \in I$ and $B \in I$ implies $A \cup B \in I$.

The notion of connectedness in ideal topological spaces has been introduced by E. Ekici and T. Noiri, (2008). The concept of generalized topological space was introduced by A. Csaszar, (2005). He found the theory of generalized topology to study the extremely elementary character of these classes.

A subfamily μ of the power set $P(X)$ of a nonempty set X is called a generalized topology on X if and only if $\emptyset \in \mu$ and the union of elements of μ belong to μ . We call the pair (X, μ) a generalized topological space on X . The member of μ is called a μ -open set and the complement of a μ -open set is called a μ -closed set.

For $A \subseteq X$, we denote by $c_\mu(A)$ the intersection of all μ -closed sets containing A , and by $I_\mu(A)$ the union of all μ -open sets contained in A . For the ideal I of X , the triple (X, μ, I) is called an ideal generalized topological space.

The purpose of this paper is to introduce and study the union of connectedness in an ideal generalized topological space. We study the notion of properties of

¹ นิสิตปริญญาโท, ^{2,3} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master's Degree student, ^{2,3} Assist. Prof., Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District Maha Sarakham 44150, Thailand,

* Corresponding author ; Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District Maha Sarakham 44150, Thailand, 59010257002@msu.ac.th , daruni.b@msu.ac.th

μ^* -connected sets, μ^{*s} -connected sets, μ^* -separated sets and μ^* -component sets. Next we recall some concepts and definitions which are useful in the results. Some examples are given to illustrate our concepts.

Preliminaries

In this section, we introduce concepts and definitions which are useful in the results.

Definition 1 (S. Modak, 2016) Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. A mapping $(\cdot)^{* \mu} : P(X) \rightarrow P(X)$ is defined as follows :
 $A^{* \mu} = \{x \in X : A \cap U \notin I, \forall U \in \mu(x)\}$ for $A \subseteq X$ where $\mu(x) = \{U \in \mu : x \in U\}$.

This mapping is called the local function associated with the ideal I and generalized topology μ .

Definition 2 (S. Modak, 2016) Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. The set operator $c^{* \mu}$ is called a generalized $*$ -closure and is defined as $c^{* \mu}(A) = A \cup A^{* \mu}$ for $A \subseteq X$. We denote by $\mu^*(\mu, I)$ the generalized structure, generated by $c^{* \mu}$, that is $\mu^*(\mu, I) = \{U \subseteq X : c^{* \mu}(X \setminus U) = X \setminus U\}$. $\mu^*(\mu, I)$ is called a $*$ -generalized structure which is finer than μ . The elements of $\mu^*(\mu, I)$ are called μ^* -open and the complement of μ^* -open set are called μ^* -closed. We simply write $A^{* \mu}$ for $A^{* \mu}(\mu, I)$.

Theorem 3 (S. Modak, 2016) The set operator $c^{* \mu}$ satisfies the following conditions :

- (1) $A \subseteq c^{* \mu}(A)$ for $A \subseteq X$,
- (2) $c^{* \mu}(\emptyset) = \emptyset$ and $c^{* \mu}(X) = X$,
- (3) $c^{* \mu}(A) \subseteq c^{* \mu}(B)$, if $A \subseteq B \subseteq X$,
- (4) $c^{* \mu}(A) \cup c^{* \mu}(B) \subseteq c^{* \mu}(A \cup B)$,
- (5) $c^{* \mu} \in \Gamma(X)$ where $\Gamma(X)$ is the collection of

all mappings having the property monotony (i.e. such that $A \subseteq B$ implies $\gamma(A) \subseteq \gamma(B)$).

Throughout the paper μ will represent a generalized topological spaces such that $\emptyset, X \in \mu$ and the union of elements of μ belong to μ .

Theorem 4 Let (X, μ) be a generalized topological space. Then $\mu^*(\mu, I)$ is a generalized topological space.

Proof. Since $\mu^*(\mu, I) = \{U \subseteq X : c^{* \mu}(X \setminus U) = X \setminus U\}$, we have \emptyset, X are in $\mu^*(\mu, I)$. Next, we will show that if

$A_n \in \mu^*$ for all $n \in \Delta$, then $\bigcup_{n \in \Delta} A_n \in \mu^*$. Let $A_n \in \mu^*$ for all $n \in \Delta$. Since $X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n \subseteq c^{* \mu}(X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n)$, we have to show that $c^{* \mu}(X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n) \subseteq X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n$. Consider

$$\begin{aligned} c^{* \mu}(X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n) &= c^{* \mu}\left(\bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n)\right) \\ &= \left(\bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n)\right) \cup \left(\bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n)\right)^{* \mu} \\ &\subseteq \left(\bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n)\right) \cup \left(\bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n)^{* \mu}\right) \\ &\subseteq \bigcap_{n \in \Delta} [(X \setminus A_n) \cup (X \setminus A_n)^{* \mu}] \\ &= \bigcap_{n \in \Delta} [c^{* \mu}(X \setminus A_n)] \\ &= \bigcap_{n \in \Delta} (X \setminus A_n) \\ &= \bigcap_{n \in \Delta} (X \cap A_n^c) \\ &= X \cap \left(\bigcap_{n \in \Delta} A_n^c\right) \\ &= X \cap \left(\bigcup_{n \in \Delta} A_n\right)^c \\ &= X \setminus \bigcup_{n \in \Delta} A_n. \end{aligned}$$

A subset A of an ideal generalized topological space (X, μ, I) is said to be μ^* -dense if $c^{* \mu}(A) = X$. An ideal generalized topological space (X, μ, I) is said to be μ^* -hyperconnected if A is μ^* -dense for every nonempty μ -open subset A of X . A generalized topological space (X, μ) is said to be μ -hyperconnected if every pair of nonempty μ -open sets of X has nonempty intersection.

So that if (X, μ, I) is an ideal generalized topological space and K is a subset of X , then (K, μ_K, I_K) , where μ_K is the relative generalized topological on K and $I_K = \{K \cap J : J \in I\}$ is an ideal on K .

Lemma 5 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space and $M \subseteq K \subseteq X$.

Then $M^{*\mu}(\mu_K, I_K) = M^{*\mu}(\mu, I) \cap K$.

Proof. Let $x \in M^{*\mu}(\mu_K, I_K)$. Then $x \in K$. Suppose that $x \notin M^{*\mu}(\mu, I)$. Then there exists a μ -open set U such that $U \cap M \in I$. Since $U \cap K \in \mu_K(x)$. Then $(U \cap K) \cap M = (U \cap M) \cap K \in I_K$. So $x \in M^{*\mu}(\mu, I)$ and $x \in K$. This is a contradiction. Thus $x \in M^{*\mu}(\mu, I) \cap K$. Conversely, let $y \in M^{*\mu}(\mu, I) \cap K$. Assume that $y \notin M^{*\mu}(\mu_K, I_K)$. Then there exists $G \in \mu_K(y)$ such that $G \cap M \in I_K$. Since $G \in \mu_K(y)$, there exists μ -open set U such that $G = U \cap K$. Since $M \subseteq K$ and $I_K \subseteq I$, $(U \cap K) \cap M \in I$ So $y \in U \cap M \in I$. This is a contradiction. Hence $y \in M^{*\mu}(\mu_K, I_K)$.

Definition 6 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space and $M \subseteq K \subseteq X$. A generalized $*$ -closure on K is defined as $c_K^{*\mu}(M) = c^{*\mu}(M) \cap K$.

Connectedness in a set of ideal generalized topological spaces

In this section, we introduce the concept of μ^* -connected sets, μ^{*s} -connected sets, μ^* -separated sets and μ^* -component. Moreover, we study characterization of μ^* -dense and μ^* -hyperconnected.

Definition 1 An ideal generalized topological space (X, μ, I) is called μ^* -connected if X cannot be written as disjoint union of a nonempty μ -open set and a nonempty μ^* -open set.

Definition 2 A generalized topological space (X, μ) is called μ -connected if X cannot be written as disjoint union of two nonempty μ -open sets.

Example Let $X = \{a, b, c, d\}$,

$\mu = \{\emptyset, X, \{a, b\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}\}$, $I = \{\emptyset, \{b\}\}$.

Then $\mu^* = \{\emptyset, X, \{a\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\},$

$\{a, c, d\}, \{b, c, d\}\}$.

Therefore, (X, μ, I) is μ^* -connected.

Definition 3 A subset A of an ideal generalized topological space (X, μ, I) is called μ^* -connected if (A, μ_A, I_A) is μ^* -connected.

Example Let $X = \{a, b, c, d\}$,

$\mu = \{\emptyset, X, \{a, b\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}\}$, $I = \{\emptyset, \{b\}\}$ and

$A = \{a, b, d\}$. Then $\mu_A = \{\emptyset, A, \{b\}, \{a, b\}\}$, $I_A = \{\emptyset, \{b\}\}$

and $\mu_A^* = \{\emptyset, A, \{a\}, \{a, b\}, \{a, c\}\}$. Therefore, (A, μ_A, I_A) is μ^* -connected.

Remark 4 (1) Generally, it is known that every μ -hyperconnected generalized topological space is μ -connected, but not conversely.

(2) Every μ^* -hyperconnected generalized topological space is μ^* -connected, but not conversely.

(3) Every μ^* -hyperconnected generalized topological space is μ -hyperconnected, but not conversely.

(4) Every μ^* -connected generalized topological space is μ -connected, but not conversely.

Example (1) Let $X = \{a, b, c\}$ and

$\mu = \{\emptyset, X, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}$. Then the space (X, μ) is μ -connected but (X, μ) is not μ -hyperconnected.

(2) Let $X = \{a, b, c, d\}$,

$\mu = \{\emptyset, X, \{a\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{a, b, c\}, \{a, c, d\}\}$ and

$I = \{\emptyset, \{b\}\}$. Then the space (X, μ, I) is μ^* -connected but (X, μ, I) is not μ^* -hyperconnected.

(3) Let $X = \{a, b, c, d\}$,

$\mu = \{\emptyset, X, \{a, b\}, \{a, c\}, \{a, b, c\}\}$ and $I = \{\emptyset, \{a\}, \{d\}, \{a, d\}\}$.

Then the space (X, μ) is μ -hyperconnected but (X, μ, I) is not μ^* -hyperconnected.

(4) Let $X = \{a, b, c, d\}$,

$\mu = \{\emptyset, X, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{a, b, c\}\}$ and $I = \{\emptyset, \{b\}\}$. Then

the space (X, μ) is μ -connected but (X, μ, I) is not μ^* -connected.

Definition 5 Nonempty subsets M, K of an ideal generalized topological space (X, μ, I) are called μ^* -separated if $c^{*\mu}(M) \cap K = M \cap c_\mu(K) = \emptyset$.

Definition 6 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space and (Y, μ_Y, I_Y) be a subspace of X . Nonempty subsets M, K of (Y, μ_Y, I_Y) are called μ^* -separated if $c_Y^{*\mu}(M) \cap K = M \cap c_Y^\mu(K) = \emptyset$.

Theorem 7 If M and K are μ^* -separated sets of X and $M \cup K \in \mu$, then M is μ -open and

K is μ^* - open.

Proof. Let M and K be μ^* - separated sets of X . Then we get that $K \subseteq X \setminus c^{*\mu}(M)$. Since $c^{*\mu}(M)$ is μ^* - closed and $K = (M \cup K) \cap (X \setminus c^{*\mu}(M))$. K is a μ^* - open set. We get that M is a μ - open set likewise.

Theorem 8 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space and $M, K \subseteq Y \subseteq X$. M, K are μ^* - separated in Y if and only if M, K are μ^* - separated in X .

Proof. Suppose that M, K are μ^* - separated in Y . By Lemma 2.5, we get that

$$c_Y^{*\mu}(M) \cap K = (c^{*\mu}(M) \cap Y) \cap K = c^{*\mu}(M) \cap K.$$

Thus

$$c^{*\mu}(M) \cap K = c_Y^{*\mu}(M) \cap K = \emptyset = (M \cap c_Y^\mu(K)) \cap K = M \cap (c_Y^\mu(K) \cap Y) = M \cap ((Y \cap c_\mu(K)) \cap Y)$$

$$= M \cap c_\mu(K). \text{ Therefore } M, K \text{ are } \mu^* \text{ - separated in } X.$$

Conversely, suppose that subsets M, K are μ^* - separated in X . Since $M, K \subseteq Y$ and by Definition 3.5, we get that $c^{*\mu}(M) \cap K = M \cap c_\mu(K) = \emptyset$. So

$$c_Y^{*\mu}(M) \cap K = c^{*\mu}(M) \cap K = \emptyset = M \cap c_\mu(K) = (M \cap Y) \cap c_\mu(K) = M \cap (c_\mu(K) \cap Y) = M \cap c_Y^\mu(K). \text{ Thus } c_Y^{*\mu}(M) \cap K = \emptyset = M \cap c_Y^\mu(K).$$

Therefore M, K are μ^* - separated in Y .

Definition 9 A subset M of an ideal generalized topological space (X, μ, I) is called μ^{*s} - connected if M is not the union of two μ^* - separated sets in (X, μ, I) .

Theorem 10 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. If M is a μ^{*s} - connected set in X and H, K are μ^* - separated sets in X with $M \subseteq H \cup K$, then either $M \subseteq H$ or $M \subseteq K$.

Proof. Let M be a μ^{*s} - connected set in X and H, K be μ^* - separated sets in X with $M \subseteq H \cup K$. Then $M = M \cap (H \cup K) = (M \cap H) \cup (M \cap K)$ and $c^{*\mu}(H) \cap K = H \cap c_\mu(K) = \emptyset$. Thus $(M \cap K) \cap c^{*\mu}(M \cap H) \subseteq K \cap c^{*\mu}(H) = \emptyset$. Likewise, we have $(M \cap H) \cap c_\mu(M \cap K) = \emptyset$. If $M \cap H \neq \emptyset$

and $M \cap K \neq \emptyset$, then $M \cap H$ and $M \cap K$ are μ^* - separated sets in X , so M is not a μ^* - separated set. This is a contradiction. Thus either $M \cap H$ or $M \cap K$ are empty. Assume that $M \cap H = \emptyset$. Then $M = M \cap K$ implies that $M \subseteq K$. In a similar way, we have that $M \subseteq H$.

Theorem 11 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. If M is a μ^{*s} - connected set and $M \subseteq K \subseteq c^{*\mu}(M)$, then K is μ^{*s} - connected.

Proof. Assume that K is not μ^{*s} - connected.

Then there exist μ^* - separated sets A and B such that $K = A \cup B$ i.e. A, B are nonempty and

$$c^{*\mu}(A) \cap B = A \cap c_\mu(B) = \emptyset. \text{ By Theorem 3.10, we get that either } M \subseteq A \text{ or } M \subseteq B.$$

Assume that $M \subseteq A$. Then $c_\mu(M) \subseteq c_\mu(A)$ and $B = B \cap c^{*\mu}(M) \subseteq B \cap c_\mu(M) = \emptyset$. Thus B is an empty set. This is a contradiction. Suppose $M \subseteq B$.

Then we have $c^{*\mu}(M) \subseteq c^{*\mu}(B)$ and $A = A \cap c^{*\mu}(M) \subseteq A \cap c^{*\mu}(B) = \emptyset$. Thus A is nonempty. This is a contradiction. Therefore, K is μ^{*s} - connected.

Corollary 12 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. If M is a μ^{*s} - connected set, then $c^{*\mu}(M)$ is μ^{*s} - connected.

Theorem 13 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space. If $\{M_n : n \in \Omega\}$ is nonempty family of μ^{*s} - connected sets with $\bigcap_{n \in \Omega} M_n \neq \emptyset$, then $\bigcup_{n \in \Omega} M_n$ is a μ^{*s} - connected set.

Proof. Suppose that $\bigcup_{n \in \Omega} M_n$ is not a μ^{*s} - connected set. Then we have that $\bigcup_{n \in \Omega} M_n = A \cup B$ where A and B are μ^* - separated sets. Since $\bigcap_{n \in \Omega} M_n \neq \emptyset$, we have a point $x \in \bigcap_{n \in \Omega} M_n$. Thus $x \in M_n$ and $M_n \subseteq A \cup B$ for all $n \in \Omega$. It follows from $A \cap B = \emptyset$ that either $x \in A$ or $x \in B$. Case $x \in A$. For any $n \in \Omega, M_n \cap A \neq \emptyset$. Using Theorem 3.10, we have $M_n \subseteq A$ or $M_n \subseteq B$. So $M_n \subseteq A$ for all $n \in \Omega$ and

then $\bigcup_{n \in \Omega} M_n \subseteq A$. This implies that $B \neq \emptyset$. This is a contradiction. In the same way for a case $x \in B$, we have $A = \emptyset$. This is a contradiction. Hence $\bigcup_{n \in \Omega} M_n$ is a μ^{*s} -connected set.

Definition 14 Let (X, μ, I) be an ideal generalized topological space and $x \in X$. The union of all μ^{*s} -connected subsets of X containing x is called the μ^* -component of X containing x

Theorem 15 Each μ^* -component of an ideal generalized topological space (X, μ, I) is a maximal μ^{*s} -connected set.

Proof. Let $x \in X$. Suppose that C_x is μ^* -component of X such that $x \in C_x$ so $C_x = \bigcup_{j \in J} \{M_j \subseteq X\}$ where M_j is a μ^{*s} -connected set containing x . Then $\bigcap_{j \in J} \{M_j \subseteq X : x \in M_j\} \neq \emptyset$. Since M_j is μ^{*s} -connected for all $j \in J$, theorem 3.13, implies that C_x is μ^* -connected. Next, let $A \subseteq X$ and A be μ^{*s} -connected such that $C_x \subseteq A$. Then $x \in A$, by definition of C_x we have $A \subseteq C_x$. Thus $C_x = A$. Therefore, C_x is a maximal μ^{*s} -connected set of X .

Theorem 16 The set of all distinct μ^* -component of an ideal generalized topological space (X, μ, I) forms a partition of X .

Proof. Let M and K be two distinct μ^* -components of X . Suppose that $M \cap K \neq \emptyset$. By Theorem 3.13, $M \cup K$ is μ^{*s} -connected in X . Since $M \subseteq M \cup K$. Then M is not maximal. Thus M and K are disjoint. Since M and K are distinct μ^* -components of X . By Theorem 3.15, we get that M and K are maximal μ^{*s} -connected set of X . So, $M = X \setminus K$. Hence $M \cup K = (X \setminus K) \cup K = X$.

Theorem 17 Each μ^* -component of an ideal generalized topological space (X, μ, I) is μ^* -closed.

Proof. Let A be μ^* -component of X . Then, by Theorem 3.15, and Corollary 3.12, we get that A is

maximal μ^{*s} -connected and $c^{*\mu}(A)$ is μ^{*s} -connected. Thus $A = c^{*\mu}(A)$. This implies that A be μ^* -closed.

References

1. A. Csaszar.(2005). Generalized open sets in generalized topologies. Acta Math. Hungar.,115(1-2), 29-36.
2. E. Ekici. and T. Noiri.(2008). Connectedness in ideal topological spaces. Novi Sad J. Math, 38, 65–70.
3. K. Kuratowski.(1966). Topology. Academic Press, Vol. I. New York. R. Vaidyanathaswamy.(1945). The localization theory in set topology. Proc. Indian Acad. Sci. 20, 51-61.
4. S. Modak.(2016). Ideal on generalized topological spaces. Scientia Magna, 11, 14-20.

การใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุเทศบาลตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

Traditional Herbal Utilization for Elderly Health Promotion in Suthep Municipality Muangchiangmai District, Chiangmai Province

สามารถ ใจเตี้ย^{1*}, สิวลี รัตนปัญญา², วรณลักษณ์ แสงโสภา³, ดารารัตน์ จำเกิด⁴

Samart Jaitae^{1*}, Siwalee Rattanapunya², Wannaluk Seangsoda³, Dararat Jumkead⁴

Received: 16 January 2019 ; Revised: 27 June 2019 ; Accepted: 2 July 2019

บทคัดย่อ

การใช้สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในผู้สูงอายุเป็นแนวคิดเชิงบูรณาการเพื่อดูแลสุขภาพแบบองค์รวม การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จาก 265 ครัวเรือนและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในผู้สูงอายุ จำนวน 12 คน เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม การสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการและการสนทนากลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการศึกษา พบว่า จากข้อมูล 265 ครัวเรือนระดับการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.87 ± 0.69) จากคะแนนเต็ม 3 ผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านโดยการนำมาเป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหาร การเพิ่มรายได้ และมีการนำสมุนไพรพื้นบ้านมาปลูกบริเวณที่พักอาศัย ทั้งนี้ผู้สูงอายุใช้ตำรับยาต้มในการดูแลสุขภาพอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้สมุนไพรในผู้สูงอายุได้เสนอแนะการใช้สมุนไพรพื้นบ้านแบบยั่งยืน คือ ให้นำหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสร้างการมีส่วนร่วมของทุกภาค ส่วน และสร้างแหล่งเรียนรู้ชุมชนภายใต้แบบแผนภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนา

คำสำคัญ : สมุนไพรพื้นบ้าน การสร้างเสริมสุขภาพ ผู้สูงอายุ การใช้ประโยชน์

Abstracts

Traditional herbal utilization is an integral concept for promoting the enhancement of elderly health with holistic health care. The objective of this study was to investigate the utilization of traditional herbs for health promotion in the elderly. Samples were 265 elderly households and 12 in the area of Suthep sub-district Municipality Muang Chiangmai District,

¹ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300 ประเทศไทย โทรศัพท์ 053 – 885651 E-mail: Samartcmru@gmail.com

² อาจารย์ประจำภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300 ประเทศไทย โทรศัพท์ 053 – 885651

³ อาจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300 ประเทศไทย โทรศัพท์ 053 – 885646

⁴ นักวิชาการสุขาภิบาล กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลสุเทพ 50200 ประเทศไทย โทรศัพท์

* ผู้รับผิดชอบบทความ: รองศาสตราจารย์ ดร.สามารถ ใจเตี้ย ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300 ประเทศไทย โทรศัพท์ 053 – 885651 E-mail: Samartcmru@gmail.com

¹ Associate Professor, Department of Public Health, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University 50300 THAILAND. Phone: 053-885651

² Lecturer, Department of Public Health, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University 50300 THAILAND. Phone: 053-885651

³ Lecturer Department of Environment Science, Faculty of Science and Technology, Chiangmai Rajabhat University 50300 THAILAND. Phone: 053-885651

⁴ Sanitation Technical Officer, Public Health and Environment Division, Suthep sub - district Municipality, Chiang Mai 50300 THAILAND. Phone: 053 - 329251

* Corresponding author; Assistant Professor Dr. Samart Jaitae, Phone: 053-885651 E-mail: Samartcmru@gmail.com

Chiangmai Province. Data were collected by using questionnaires, informal interview, and focus group. Data were analyzed by using descriptive statistics and content analysis. The results from 265 households indicated the utilization of traditional herbs was at a moderate level with mean score of 1.87 ± 0.69 from and overall score of 3. The elderly use traditional herbs as cooking ingredients, revenue addition and planting in residential areas. The most common herbal use was decoction. However, the participants suggested the establishment of all stakeholders participation and the initiation of a community learning center for the Lanna Folk wisdom in traditional herbs.

Keywords: Traditional herbs, Health Promotion, Elderly, Utilization

บทนำ

พืชสมุนไพรนิยมใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเสริมสุขภาพโดยใช้ส่วนต่าง ๆ ของพืชชนิดเดียวหรือหลายชนิดพร้อมกันมาปรุงเป็นตำรับโดยหมอยาพื้นบ้านหรือผู้มีประสบการณ์รูปแบบในการปรุงตำรับสมุนไพรพื้นบ้านในแต่ละภูมิภาคจะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับภูมิปัญญา สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ความนิยม วัฒนธรรมในการรับประทานและการอยู่อาศัยทำให้เกิดการใช้สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการดูแลสุขภาพที่หลากหลาย ซึ่งการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการดูแลสุขภาพแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่¹ อย่างไรก็ตามการนำสมุนไพรพื้นบ้านมาใช้เป็นยาต้องคำนึงถึงธรรมชาติของสมุนไพรแต่ละชนิด พันธุ์สมุนไพร ฤดูกาล และช่วงเวลาที่เก็บสมุนไพรนับเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพของสมุนไพรในการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรพบว่า ผู้สูงอายุนำสมุนไพรมาใช้เพื่อรักษาโรคมากถึงร้อยละ 62.2 โดยได้รับคำแนะนำจากบุคลากรสาธารณสุขเป็นส่วนใหญ่ อายุและระดับรายได้ของผู้สูงอายุส่งผลต่อทัศนคติของผู้สูงอายุต่อสมุนไพร ประกอบกับทัศนคติเชิงบวกของผู้สูงอายุต่อสมุนไพรที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพมีค่าต่ำที่สุดอาจเป็นการบ่งชี้ถึงการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการของผู้สูงอายุเกี่ยวกับประโยชน์และการใช้สมุนไพรยังไม่เหมาะสมและเพียงพอ มีรายงานการศึกษา พบว่า ผู้สูงอายุร้อยละ 67.88 ยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สมุนไพร และมีพฤติกรรมการใช้สมุนไพรที่ยังไม่ถูกต้อง ร้อยละ 17.26³ นอกจากนี้องค์ความรู้ด้านสมุนไพรพื้นบ้านที่สั่งสมเป็นทุนทางภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านสุขภาพที่มีอยู่ได้เผชิญการเปลี่ยนแปลงภายในที่สำคัญทั้งองค์ความรู้ที่ขาดการสืบทอด และองค์ความรู้ที่มีอยู่ก็ยากต่อการทำความเข้าใจของคอนุ่นใหม่ หมอยาสมุนไพรพื้นบ้านซึ่งมีบทบาทหลักในการสืบทอดความรู้ ล้วนแต่เป็นผู้สูงอายุ ขาดการรับรองจากหน่วยงานภาครัฐ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงภายนอกที่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านอย่างมากคือ แนวคิดการบริโภคนิยมของชนชั้นกลางในเมืองซึ่งมีอำนาจซื้อสูงได้เข้ามากระตุ้นและสร้างแรงจูงใจการพัฒนาสมุนไพรเดี่ยว

มากกว่าการพัฒนาตำรับสมุนไพรพื้นบ้านการใช้เทคโนโลยีและความทันสมัยทางการแพทย์สมัยใหม่ทำให้สมุนไพรถูกลดคุณค่าลง⁴ สอดคล้องกับผู้สูงอายุในชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาที่มีการใช้ประโยชน์สมุนไพรเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความรู้ในการใช้สมุนไพรพื้นบ้านจากการได้รับการถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษ⁵ สำหรับผู้สูงอายุในพื้นที่เทศบาลตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งสภาพทางกายภาพมีการเปลี่ยนแปลงจากพัฒนาทั้งทางเศรษฐกิจ การศึกษา และการพาณิชย์ รวมถึงโครงสร้างทางชุมชนที่มีความหลากหลายของประชากรที่ผสมผสานวัฒนธรรมที่แตกต่างกัน ในส่วนการใช้สมุนไพรเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ มีการสำรวจ พบว่า มีสมุนไพรจำนวน 22 ชนิดที่ผู้สูงอายุใช้บ่อยครั้งซึ่งการใช้สมุนไพรส่วนใหญ่จะต้มแล้วนำน้ำดื่มมาดื่ม⁶

ทั้งนี้ผู้สูงอายุยังขาดความรู้ทั้งชนิดของสมุนไพร รูปแบบการใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเสริมสุขภาพที่ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งปัจจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการใช้สมุนไพรเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพสมาชิกกลุ่มผู้สูงอายุในเขตนี้จึงต้องการให้มีการส่งเสริมและอนุรักษ์การใช้สมุนไพรเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพโดยความร่วมมือของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งนักวิชาการและหมอยาสมุนไพรพื้นบ้าน โดยเปิดโอกาสให้ทุกภาคส่วนได้มีส่วนร่วมเช่น การจัดทำเอกสารแนะนำการใช้สมุนไพรเพื่อป้องกันและรักษาโรคการจัดทำโครงการการอบรมเกี่ยวกับการส่งเสริมและอนุรักษ์สมุนไพรพื้นบ้านการตั้งกลุ่มการปลูกพืชสมุนไพรในแต่ละชุมชนและพัฒนาสู่การเป็นศูนย์การเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรมและช่วยสืบสานความรู้ในการนำสมุนไพรพื้นบ้านมาปรุงเป็นตำรับยาเพื่อรักษาและป้องกันโรคและกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้การใช้สมุนไพรที่มีอยู่ในชุมชนให้กับนักเรียนในชุมชน⁶ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในผู้สูงอายุเพื่อนำข้อมูลสู่การวางแผนการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องบนฐานภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนาและการมีส่วนร่วมของชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุในเขตเมือง

วิธีการศึกษา

รูปแบบการศึกษาการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study) โดยใช้วิธีการศึกษาแบบผสมผสานทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Mixed Method) กล่าวคือศึกษาเชิงปริมาณใช้การสำรวจโดยแบบสอบถาม ศึกษาเชิงคุณภาพใช้การสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการและการสนทนากลุ่ม

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาเชิงปริมาณประชากรเป็นครัวเรือนผู้สูงอายุที่อยู่ในครัวเรือนเขตเทศบาลตำบลสุเทพ อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ 15 หมู่บ้าน จำนวน 1,491 ครัวเรือนการคำนวณขนาดตัวอย่าง ผู้วิจัยได้เลือกใช้การคำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรของ Daniel⁷ ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 265 ครัวเรือน ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างระดับหมู่บ้าน ร้อยละ 30 เพื่อให้ได้ผู้สูงอายุ 265 คนจากแต่ละครัวเรือน โดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายจากการจับฉลากเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างในระดับหมู่บ้านการคัดเลือกครัวเรือนแต่ละหมู่บ้านผู้วิจัยใช้ตารางสุ่ม (Random number table) ตามสัดส่วนของจำนวนหลังคาเรือนในแต่ละหมู่บ้าน

การศึกษาเชิงคุณภาพ ทำการคัดเลือกจากผู้สูงอายุที่เข้าร่วมกิจกรรมโครงการการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุในเขตเมืองจัดโดยภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2560 ทั้งนี้ทำการสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการจำนวน 6 คน การสนทนากลุ่ม จำนวน 12 คน ประกอบด้วยตัวแทนผู้สูงอายุ จำนวน 6 คน ผู้ดูแลผู้สูงอายุ จำนวน 2 คน ตัวแทนอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน จำนวน 2 คน และตัวแทนเจ้าหน้าที่จากเทศบาลตำบลสุเทพ จำนวน 2 คน

เครื่องมือในการศึกษาประกอบด้วย 2 ชุด ดังนี้

เครื่องมือชุดที่ 1 เป็นแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุกลุ่มตัวอย่าง ลักษณะคำถามเป็นทั้งชนิดเติมคำและเลือกคำตอบ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในผู้สูงอายุลักษณะแบบสอบถามเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามแบบของ Likert Scale⁸ มีทั้งหมด 3 ระดับคือ 1 ใช้ประโยชน์น้อย 2 ใช้ประโยชน์ปานกลาง 3 ใช้ประโยชน์มาก ครอบคลุมการใช้

ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในด้าน 1) การแก้ไข้ 2) บำรุงกำลัง 3) บรรเทาอาการปวดเมื่อย 4) แก้โรคผิวหนัง และ 5) การเป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารพื้นบ้านเพื่อวัตถุประสงค์ในการสร้างเสริมสุขภาพ การแปลความหมายของการใช้ประโยชน์สมุนไพร ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.67 หมายถึง ผู้สูงอายุมีการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านล้านนาเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในระดับน้อย ค่าเฉลี่ย 1.69 - 2.32 หมายถึง ผู้สูงอายุมีการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 2.33 - 3.00 หมายถึง ผู้สูงอายุมีการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในระดับมากการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ (Validity) อาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านพฤติกรรมศาสตร์ 1 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านสมุนไพร 1 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผล และประเมินผล 1 คน และแบบสอบถามมีค่าความเที่ยงด้วยวิธีการหา Alpha Coefficient⁹ เท่ากับ 0.78

เครื่องมือชุดที่ 2 เป็นแบบสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการและหัวข้อในการสนทนากลุ่มเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุทั้งด้านการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารการสร้างรายได้ การแปรรูปเป็นตำรับยาสมุนไพร และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรพื้นบ้านด้วยผู้ช่วยวิจัย

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้เก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ประกอบด้วยคณะผู้วิจัยและผู้ช่วยนักวิจัยในพื้นที่ (อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน จำนวน 14 คน) ผู้วิจัยได้ทำการอบรมชี้แจงรายละเอียดของข้อคำถาม และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลให้กับผู้ช่วยวิจัยเพื่อให้มีความเข้าใจตรงกันเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการเก็บให้ถูกต้องมีหลักการและรวบรวมข้อมูลตามหลักจริยธรรมในการทำวิจัยเพื่อให้การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้การดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการชี้แจงถึงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และขอความร่วมมือของกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมโครงการวิจัยด้วยความสมัครใจและมีสิทธิ์ถอนตัวออกจากการวิจัยได้ถ้าต้องการข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจะถูกเก็บไว้เป็นความลับและใช้ข้อมูลเฉพาะการศึกษานี้เท่านั้น การนำเสนอข้อมูลจะนำเสนอโดยภาพรวมซึ่งจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป มีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลส่วนบุคคลและการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในผู้สูงอายุ วิเคราะห์โดยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ร้อยละค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์และประเด็นในการสนทนากลุ่ม วิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ตรวจสอบข้อมูลโดยวิธีรวบรวมข้อมูลสามเส้า (Methodological triangulation) ร่วมกับวิธีการสังเกต และข้อมูลจากแหล่งเอกสารที่เกี่ยวข้อง¹⁰

ผลการศึกษา

ข้อมูลทั่วไปของผู้สูงอายุ พบว่า มีผู้สูงอายุตอบแบบสอบถามกลับมา ร้อยละ 100 โดยผู้สูงอายุส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 46.20 มีอายุเฉลี่ย 69.92±8.71 ปี มีระยะเวลาการอาศัยอยู่ในชุมชน เฉลี่ย 49.78±21.00 ปี ระดับการศึกษา ระดับประถมศึกษา ร้อยละ 49.80 รายได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,912.08±5,542.11 บาทต่อเดือน จำนวนสมาชิกในครอบครัวเฉลี่ย 3.73±1.44 คน ส่วนใหญ่ป่วยด้วยโรคเรื้อรัง ร้อยละ 49.10 ความเชื่อที่ทำให้หายจากการเจ็บป่วยส่วนใหญ่จะทานยาแผนปัจจุบัน ร้อยละ 82.30 เมื่อมีการเจ็บป่วยจะใช้บริการจากสถานบริการสุขภาพของเทศบาล ร้อยละ 84.50 เข้ารับบริการในสถานบริการสุขภาพในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมาเฉลี่ย 2.06±1.72 ครั้ง ผู้สูงอายุเคยใช้ภูมิปัญญาพื้นบ้านด้านสุขภาพแก้ไขปัญหาคือความเจ็บป่วย ร้อยละ 43.00 โดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อตนเอง ร้อยละ 57.80 ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมด้านภูมิปัญญาพื้นบ้านด้านสุขภาพในชุมชน ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา เฉลี่ย 0.99±1.30 ครั้ง และผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมชุมชนในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา เฉลี่ย 2.14±2.16 ครั้ง

การใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพในผู้สูงอายุ พบว่า ระดับการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (1.87±0.69) จากคะแนนเต็ม 3 คะแนน เมื่อแยกรายประเด็น พบว่าผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในการเป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารพื้นบ้านเพื่อวัตถุประสงค์ในการสร้างเสริมสุขภาพ (2.35±0.74) รองลงมาผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในการบรรเทาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ (1.80±0.69) ผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในการแก้ไข้ (1.76±0.72) ผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในการแก้โรคผิวหนัง (1.75±0.72) และผู้สูงอายุใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านในการบำรุงกำลัง

(1.63±0.64) ดังแสดงระดับประโยชน์ในการใช้สมุนไพรพื้นบ้าน (Table 1)

Table 1 Traditional herbal utilization for Eldery health promotion (n = 265)

Purpose of traditional herbal utilization	Mean	S.D.	Level of Utilization
Cooking local food for health	2.35	0.74	High
Relieving muscle pain	1.80	0.69	Moderate
Antipyretics	1.76	0.72	Moderate
Skin disease treatment	1.75	0.72	Moderate
Nourish	1.63	0.64	Low
Total	1.87	0.69	Moderate

(total 3 scores)

การสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการและการสนทนากลุ่ม ยังพบว่า ผู้สูงอายุจะปลูกสมุนไพรพื้นบ้านที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหาร (ผักพื้นบ้าน) และเป็นส่วนประกอบในเครื่องปรุงอาหารในครัวเรือนของตนเอง ทั้งนี้แยกชนิดของสมุนไพรพื้นบ้านตามการใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1. เป็นวัตถุดิบหลักในการปรุงอาหาร เช่น บอน (ตูน) ชะอม (ผักหละ) เพกา (ลิดไม้) เป็นต้น
2. เป็นส่วนผสมในเครื่องปรุงอาหาร เช่น กระชาย (หัวละแอน) ขมิ้น (ข้าวขมิ้น) ไพล (ปูลุย) สะค้าน (จะค่าน) ใบย่านาง (จ้อยนาง) เป็นต้น



Figure 1 *Piper ribesoides* Wall. Planting in residential area by elderly

3. เป็นผักแกลัมน้ำพริกหรือลาบหรือตำรับอาหารที่มีรสเผ็ด เช่น พลูดาว (ดาวทอง) มะระขี้นก (ป่าห้อยขี้นก) มะแว้งต้น (ป่าแขวงขม) เป็นต้น

ซึ่งผู้สูงอายุท่านหนึ่งกล่าวว่า “สมุนไพรพื้นบ้านในป่าธรรมชาติบางชนิดลดลง บางชนิดหาไม่ได้จากธรรมชาติ

แล้ว การปลูกไว้ในพื้นที่พักอาศัยนำมาใช้ปรุงอาหารได้สะดวก ลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้ และยังช่วยให้ไม่ป่วย” (ผู้สูงอายุ ม, ผู้ให้สัมภาษณ์ เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2561)

นอกจากนี้สมุนไพรพื้นบ้านบางชนิดที่สร้างรายได้ให้กับผู้สูงอายุในชุมชน เช่น ดีปลีและใบพลู เป็นต้น โดยบางครัวเรือนผู้สูงอายุจะปลูกให้เลื้อยบริเวณรั้วบ้านซึ่งผู้สูงอายุให้เหตุผลว่านอกจากจะสร้างรายได้เสริมให้ครอบครัวแล้วสมุนไพรพื้นบ้านเหล่านี้ยังให้ความชุ่มชื้นในที่พักอาศัยทำให้อากาศเย็นสบายในช่วงฤดูร้อน



Figure 2 Piper betle at fence at elderly house

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์สมุนไพรของผู้สูงอายุยังสะท้อนว่า การใช้สมุนไพรพื้นบ้านได้ลดความสำคัญลงในกลุ่มวัยทำงานและกลุ่มเยาวชน สมุนไพรพื้นบ้านบางชนิดเมื่อนำมาปลูกในพื้นที่พักอาศัยจะมีคุณภาพลดลง เช่น จะค่าน (สะค่าน) จะมีขนาดของเถาเล็กเมื่อเทียบกับเถาในพื้นที่ป่า ผู้สูงอายุบางส่วนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่สูงที่มีองค์ความรู้ด้านสมุนไพรพื้นบ้านจะเข้าไปแสวงหาสมุนไพรจากป่าชุมชนมาปรุงตำรับยาไว้ใช้ในครัวเรือนและแจกจ่ายให้กับผู้สูงอายุและผู้สนใจซึ่งผู้สูงอายุท่านหนึ่งกล่าวว่า

“การใช้สมุนไพรพื้นบ้านเป็นการดูแลสุขภาพกายที่ปฏิบัติได้ง่าย แต่ไม่ได้ให้ความสนใจมากนักภูมิปัญญาเหล่านี้เริ่มสูญหายไป วิทยุหนุ่มสาวไม่สืบทอดองค์ความรู้ ถึงแม้จะมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาฟื้นฟูให้เป็นทางเลือกในการสร้างเสริมสุขภาพ” (ผู้สูงอายุ อ, ผู้ให้สัมภาษณ์ เมื่อวันที่ 12 มกราคม 2561)

ในส่วนของสมุนไพรพื้นบ้านที่แปรรูปเป็นตำรับยาผู้สูงอายุมักจะใช้ยามัดนำมาต้มแล้วดื่ม น้ำ ซึ่งตำรับยาต้มจะซื้อหาจากแหล่งจำหน่ายในพื้นที่และนอกพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่ไม่รู้ว่ายามัดประกอบด้วยสมุนไพรชนิดใดบ้าง ผู้สูงอายุจะต้มยาในหม้อดินและใช้ข้าวเปลือกจ้าวในการตุ๋นพิษจากสมุนไพร ดังเช่น ผู้สูงอายุท่านหนึ่งกล่าวว่า

“ยาต้มลดอาการปวดเมื่อยได้ ถ้าต้องการใช้ต้องไปซื้อจากหมอสุมไพรในชุมชนหรือไม่ก็ร้านขายสมุนไพรทั่วไป แต่ไม่รู้ว่ายาต้มมีสมุนไพรอะไรบ้าง ทุกวันนี้จะใช้ตามคำบอกเล่าของผู้สูงอายุด้วยกัน” (ผู้สูงอายุ ป, ผู้ให้สัมภาษณ์ เมื่อวันที่ 12 มกราคม 2561)

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์สมุนไพรของผู้สูงอายุยังสะท้อนแนวทางการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อให้เกิดความยั่งยืนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนควรสร้างการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนสู่การสร้างแหล่งเรียนรู้ชุมชนภายใต้แบบแผนภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนาท่านหนึ่งกล่าวว่า

“ในชุมชนมีความหลากหลายของกลุ่มชาติพันธุ์ที่อาศัยอยู่ร่วมกันมาเป็นเวลานานแล้ว ก่อเกิดการผสมผสานองค์ความรู้ด้านการใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุได้ ทั้งนี้ผู้เกี่ยวข้องต้องสนับสนุนองค์ความรู้และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างแท้จริง” (นักวิชาการสาธารณสุขท, ผู้ให้สัมภาษณ์ เมื่อวันที่ 31 มกราคม 2561)

อีกท่านหนึ่งกล่าวว่า “การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสังคมที่ก้าวกระโดดสู่สังคมเมืองทำให้การสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุต้องพึ่งพาการแพทย์สมัยใหม่มากขึ้น การอนุรักษ์และฟื้นฟูภูมิปัญญาด้านสมุนไพรพื้นบ้าน โดยสร้างแหล่งเรียนรู้และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องจะเป็นแนวทางในการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่เหมาะสมกับชุมชน” (ผู้นำชุมชน ข, ผู้ให้สัมภาษณ์ เมื่อวันที่ 31 มกราคม 2561)

วิจารณ์และสรุปผล

ผู้สูงอายุมีระดับการประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านปานกลางภายใต้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสังคมในพื้นที่ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า สมุนไพรพื้นบ้านหลายชนิดสามารถนำมาปลูกได้ในบริเวณที่พักอาศัยถึงแม้คุณภาพผลผลิตอาจไม่สมบูรณ์มากนัก ผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะใช้สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการเป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารพื้นบ้านรับประทานในครัวเรือนอันเป็นการสะท้อนปรากฏการณ์ที่ผู้สูงอายุได้ปรับเปลี่ยนวิถีการบริโภคอาหารของตนเอง โดยการปรุงอาหารที่มีคุณค่าเพื่อรับประทานโดยเน้นตำรับอาหารที่มีส่วนประกอบของสมุนไพรพื้นบ้านที่สามารถเก็บผลผลิตและหาซื้อได้ทั่วไปซึ่งจะแตกต่างกันตามภาวะสุขภาพและชาติพันธุ์¹¹ ส่วนการใช้ประโยชน์เพื่อบำรุงกำลังอยู่ในระดับน้อยที่สุด อาจเป็นไปได้ว่าสมุนไพรที่นำมาปรุงตำรับยาบำรุงกำลังหายากและบางชนิดมีราคาสูงรวมถึงมีสมุนไพรเชิงการค้าหลายประเภทที่เน้นสรรพคุณบำรุงร่างกายมาเป็นทางเลือกให้ผู้สูงอายุใช้ประโยชน์ทั้งนี้แหล่ง

สมุนไพรที่นำมาใช้ได้สะดวกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการใช้สมุนไพรรักษาโรค ดังนั้นแหล่งสมุนไพรจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สนับสนุนให้มีการใช้สมุนไพรรักษาโรคเพิ่มขึ้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุนให้มีการใช้สมุนไพรรักษาโรคเป็นทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพทุกกลุ่มรายได้ และมีการสนับสนุนทางสังคมด้านการใช้สมุนไพร¹² การใช้ประโยชน์สมุนไพรพื้นบ้านของผู้สูงอายุยังต้องมีการเสริมสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งการนำสมุนไพรพื้นบ้านจากป่าธรรมชาติมาปลูกในพื้นที่พักอาศัยที่อาจจะเป็นการคุกคามการแพร่กระจายของสมุนไพรในป่าธรรมชาติ รวมถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับประเภท สรรพคุณ ความเป็นพิษ และวิธีการใช้ตำรับยาตั้งแต่ละตำรับ ดังนั้นการใช้สมุนไพรพื้นบ้านอาจเป็นแนวทางที่นำมาบูรณาการสู่ทางเลือกการสร้างเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุที่สามารถปฏิบัติได้โดยง่าย ต้นทุนต่ำ รวมถึงก่อเกิดการใช้ประโยชน์ในพื้นที่พักอาศัยในเขตเมืองที่มีข้อจำกัดอย่างเต็มศักยภาพ ทั้งนี้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานด้านสาธารณสุข การเกษตร และด้านการศึกษาควรสร้างกิจกรรมที่ก่อเกิดการประยุกต์ใช้สมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่สะท้อนสถานการณ์ที่แท้จริงอันจะส่งผลต่อการแก้ไขปัญหาสุขภาพที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ

การวิจัยนี้สำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินโดยการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปี พ.ศ. 2561 ผู้สูงอายุและผู้มีส่วนได้เสียในการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- Sackett K, Carter M, Stanton M. Elders' Use of Folk Medicine and Complementary and Alternative Therapies, Professional and Alternative Therapies, Professional Case Management 2014; 19(3): 113 – 123.
- ปิยะวัน วงษ์บุญหนัก ปวีณา ว่องตระกูล พรรษา มหามงคล วริญญา เนียมขำ. การสำรวจปัญหาและพฤติกรรมการใช้ยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและสมุนไพรของผู้สูงอายุกรณีศึกษาชุมชนศิระชะระเข้หน้า จังหวัดสมุทรปราการ. วารสาร มจร.วิชาการ 2559; 20 (39): 97 – 108.
- ธิดา สุทธิรักษ์. ประสิทธิผลของโปรแกรมส่งเสริมพฤติกรรมการใช้สมุนไพร เพื่อสุขภาพของผู้สูงอายุ ตำบลนาใต้ อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี วารสารการพัฒนาสุขภาพชุมชน มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2558; 3(3): 469 - 480.
- ดารณี อ่อนชมจันทร์. สถานการณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านสุขภาพและการแพทย์พื้นบ้านไทย. เชียงราย: สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดเชียงราย. 2552.
- จุฬาลักษณ์ เลิศ. การพัฒนาสื่อการสอนทางอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง สมุนไพรเพื่อสุขภาพโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนในเทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารมหาวิทยาลัยฟาอีสเทอร์น 2560; 11(4): 111 – 127.
- รพีพร เทียมจันทร์. การพัฒนาบทเรียนวิทยาศาสตร์ท้องถิ่น เรื่อง การเสริมสร้างสุขภาพผู้สูงอายุในเขตเมืองด้วยภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนาด้านสมุนไพรพื้นบ้าน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. 2557.
- Daniel, W.W. Biostatistics: Basic Concepts and Methodology for the Health Sciences (9th ed.). New York: John Wiley & Sons. 2010.
- Anderson, L.W. Likert Scales, Education Research Methodology and Measurement : An International Handbook. John, D. Keeves, eds, Victoria : Pergamon. 1988.
- Cronbach, L.J. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. Psychometrika 1951; 16: 297 – 334.
- Matthew, B.M., Michael, A.H. Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook (2nd ed). California: SAGE Publications, Inc. 1994.
- Thomas A., Arcury J.G., Grzywacz R.A., Bell R. H., Neiberg W.L., Quandt A. Herbal Remedy Use as Health Self-Management Among Older Adults .*The Journals of Gerontology: Series B* 2007; 62, (2) : S142–S149,
- สุกิจ ไชยชมภู พูนสุข ช่วยทองวิราสิริ วีสิริสิริสุนันท์ ศลโกสม. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สมุนไพรรักษาโรคของประชาชน ในเขต 11 กระทรวงสาธารณสุข. วารสารเกื้อการุณย์. 2555; 19(2): 60 -74.

การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพรไทย Evaluation of the antioxidant activity in Thai herbs

วัชรพล พรหมสุต^{1,2*}, ธนพร อัสวพัฒน์กุล^{1,2}

Watcharapon Promsut^{1*}, Thanaporn Asawapathanakul¹

Received: 29 March 2019 ; Revised: 23 April 2019 ; Accepted: 31 May 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพรไทย จำนวน 15 ชนิด ตัวอย่างสมุนไพรสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สารสกัดที่ทดสอบความเข้มข้นร้อยละ 2 ทดสอบหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช ผลการทดลองพบค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบแมงลัก ใบตะไคร้ และใบกะเพรา มีค่าเท่ากับร้อยละ 68.16, 67.68 และ 67.50 ตามลำดับ 2) การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดสอบพบว่าสารสกัดจากใบสะเดามีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก สูงสุดเท่ากับ 788.69 mM Fe²⁺/mg และ 3) การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมโดยวิธี Folin's method พบว่าสารสกัดจากใบสะเดา มีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมสูงสุดเท่ากับ 228.36 mgGAE/g การทดสอบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในพืชแต่ละชนิดโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ สะเดา แมงลัก

Abstract

The objective of this study was to appraise and investigate the antioxidant properties of fifteen Thai herbal plants. Samples were extracted by 95% ethanol and then diluted to 2% concentration. All samples were evaluated by three techniques as 1) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay, 2) ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay, and 3) total phenolic compound analysis by Folin's method. Results showed that percentage antioxidant index in hairy basal was 68.16%, with lemongrass 67.68% and holy basil 67.50%. The FRAP value of Siamese neem tree was highest at 788.69 mM Fe²⁺/mg, while amount of phenolic compound in Siamese neem tree was highest at 228.36 mgGAE/g. When analyzed with one-way ANOVA, the result was statistically significant at the 0.05 level.

Keywords: antioxidant, Siamese neem tree, hairy basal

¹ สำนักวิชาการ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

² หน่วยปฏิบัติการวิจัยภาวะเครียดและภาวะเครียดออกซิเดชันทางสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Academic Affairs, Faculty of Veterinary Sciences, Mahasarakham University, Mueang District, Maha Sarakham, Thailand. 44000

² Stress and Oxidative Stress in Animals Research Unit, Faculty of Veterinary Sciences, Mahasarakham University, Mueang District, Maha Sarakham, Thailand. 44000

* Corresponding Author: watcharapon.p@msu.ac.th

บทนำ

อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวในออร์บิทัลวงนอกสุดที่ไม่เสถียรและไวต่อการทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น อนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบออกซิเจน (reactive oxygen species, ROS) และสารประกอบไนโตรเจน (reactive nitrogen species, RNS) ร่างกายได้รับอนุมูลอิสระมาจาก 2 แหล่ง ได้แก่ จากกระบวนการเกิดอนุมูลอิสระภายในร่างกายและอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย โดยอนุมูลอิสระที่เกิดภายในร่างกายมาจากการบวนการเมตาบอลิซึมและกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ ส่วนอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอกมาจากสารเคมีและมลพิษในสิ่งแวดล้อม เช่น ยา สารเคมี รังสี อาหาร คิวบ และมลพิษทางอากาศ เป็นต้น¹ ภาวะที่ร่างกายมีสารอนุมูลอิสระในร่างกายจะส่งผลกระทบต่อเซลล์และกลไกการทำงานของร่างกายให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมของเซลล์และเป็นสาเหตุของการเกิดโรค เช่น โรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคทางระบบประสาท โรคเมเร็ง และเนื้องอก โรคเสื่อมและความแก่ เป็นต้น² โดยปกติร่างกายมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีกลไกในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้หลายกลไก ได้แก่ การดักจับอนุมูลอิสระ การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน การจับกับโลหะที่มีคุณสมบัติทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน การยับยั้งปฏิกิริยาที่สร้างอนุมูลอิสระ การเสริมฤทธิ์และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์³ โดยร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระมาจาก 2 แหล่ง ได้แก่ จากกระบวนการสังเคราะห์ภายในร่างกายและได้รับจากภายนอกร่างกาย โดยร่างกายมีการสร้างเอนไซม์ชนิดต่างๆ เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส เอนไซม์กลูตาไทโอน และเปอร์ออกซิเดส เป็นต้น ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากภายนอกร่างกาย เช่น อาหาร และยา เป็นต้น โดยพืช ผัก และผลไม้มีองค์ประกอบของสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี วิตามินเอ เบตาแคโรทีน แครโทีนอยด์ ซีลีเนียม ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอล เป็นต้น^{3,4,5}

ในประเทศไทยมีพืช ผักและสมุนไพรจำนวนมากและนิยมนำมาบริโภคอย่างแพร่หลาย พืชสมุนไพรแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังขาดการศึกษาสรรพคุณอีกมาก การศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพรเพื่อเป็นข้อมูลในการนำสมุนไพรไทยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จึงมีความสำคัญ ดังนั้น จุดประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพรไทย

จำนวน 15 ชนิด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร การเลี้ยงสัตว์ และเคมีภัณฑ์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาสมุนไพร จำนวน 15 ชนิด โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) สารสกัดหยาบจากตัวอย่างสมุนไพรถูกทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช 2) การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ และ 3) การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมโดยวิธี Folin's method ทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

ตัวอย่างพืชสมุนไพร

พืชสมุนไพรไทย จำนวน 15 ชนิด ได้แก่ บัวบก (*Centella asiatica*) พริก (*Capsicum frutescens* L.) พริกไทย (*Piper nigrum* Linn.) ขี้เหล็ก (*Senna siamea* (Lamk.) Irwin et Barneby) ข่า (*Alpinia galanga* (Linn.) Swartz.) ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) แมงลัก (*Ocimum basilicum* Linn.) กะเพรา (*Ocimum sanctum* Linn.) มะรุม (*Moringa oleifera* Lam.) มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.) สะระแหน่ (*Mentha cordifolia*) ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) กระชาย (*Boesenbergia rotunda* Linn. Mansf.) มะนาว (*Citrus aurantiifolia*) และสะเดา (*Azadirachta indica* Linn. Urban) โดยเลือกส่วนต่างๆ ของตัวอย่างพืชที่แตกต่างกัน (Table 1)

การสกัดสาร

ตัวอย่างพืชสมุนไพรทั้ง 15 ชนิด ถูกนำไปอบให้แห้งในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างสมุนไพรอบแห้งไปบดด้วยเครื่องบดจนได้ผงบดละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างสมุนไพรบดบรรจุลงขวดหมักและผสมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน เขย่าขวดวันละ 1 ครั้ง นำตัวอย่างไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นสารเพื่อแยกสารสกัด และนำสารสกัดที่ได้เจือจางความเข้มข้นร้อยละ 2

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิจัยนี้ใช้สถิติในการวิเคราะห์ คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่ (Post-Hoc) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ $P < 0.05$

Table 1 The parts of the 15 herbs that were selected for evaluation.

Plants	Part of plants
Asiatic pennywort (<i>Centella asiatica</i>)	leaf
Bird pepper (<i>Capsicum frutescens</i> L.)	fruit
Black pepper (<i>Piper nigrum</i> Linn.)	seed
Cassod tree (<i>Senna siamea</i> (Lamk.) Irwin et Barneby)	leaf
Galanga (<i>Alpinia galanga</i> (Linn.) Swartz.)	rhizome
Ginger (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe)	rhizome
Hairy basil (<i>Ocimum basilicum</i> Linn.)	leaf
Holy basil (<i>Ocimum sanctum</i> Linn.)	leaf
Horseradish tree (<i>Moringa oleifera</i> Lam.)	fruit and fruit bark
Kaffir lime (<i>Citrus hystrix</i> DC.)	fruit bark
Kitchen mint (<i>Mentha cordifolia</i>)	leaf
Lemongrass (<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf.)	leaf
Lesser galangal (<i>Boesenbergia rotunda</i> Linn. Mansf.)	rhizome
Lime (<i>Citrus aurantiifolia</i>)	fruit bark
Siamese neem tree (<i>Azadirachta indica</i> Linn. Urban)	leaf

วิธีการทดสอบ

1. การทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay; DPPH assay)

เติมสารสกัดจากตัวอย่างสมุนไพรลงใน microplate และเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.004 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:1 เขย่าให้สารทั้งสองเข้ากันและนำไปเก็บในที่มืด 25 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader ค่าการดูดแสงที่วัดได้จะนำไปเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดที่ทดสอบและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (percentage of antioxidant inhibition; %AI) ตามสมการที่ (1) ทั้งนี้หากสารสกัดที่ทดสอบมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสีจะลดลง ทำการทดลอง 10 ครั้ง

$$\%AI = \frac{OD_{control} - OD_{sample}}{OD_{blank}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ $OD_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ สารละลาย ซึ่งไม่ได้เติมสารมาตรฐาน หรือสารสกัด

OD_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย ซึ่งเติมสารมาตรฐานหรือสารสกัด

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (ferric ion reducing antioxidant power assay; FRAP assay)

เตรียม FRAP reagent โดยนำอะซิเตรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ค่าพีเอช (pH) 3.6 ผสมกับ สารละลาย TPTZ (2,4,6-tripyridyl-striazine) ในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ไว้สำหรับทดสอบ จากนั้นผสมสารสกัดจากตัวอย่างสมุนไพรที่ต้องการทดสอบหรือสารมาตรฐานเฟอร์ริซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 100-1000 มิลลิโมลาร์ กับ สารละลาย FRAP reagent เข้มข้น 0.2 โมลาร์ เขย่าให้เข้ากัน 6 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของเฟอร์ริซัลเฟต ($FeSO_4$) ทำการทดลอง 10 ครั้ง

3. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ด้วยวิธี Folin's method

ผสมสารสกัดจากตัวอย่างสมุนไพรที่ต้องการทดสอบหรือสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 10-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรกับสารละลาย Folin ciocaltue reagent เข้มข้น 0.2 โมลาร์ เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 75 กรัมต่อลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยเทียบ

กับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของกรดแกลลิก ทำการทดลอง 10 ครั้ง

ผลการศึกษา

1. การทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay; DPPH assay)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดสมุนไพร 15 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 เพื่อหาค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ (percentage of antioxidant inhibition; %AI) ผลการทดสอบพบว่า สารสกัดจากใบแมงลัก ใบตะไคร้ และใบกะเพรา มีค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับร้อยละ 68.16±1.30, 67.68±1.22 และ 67.50±3.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากใบแมงลัก ใบตะไคร้ ใบกะเพรา กับวิตามินซีที่ความเข้มข้น 2 มก./มล. ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2)

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric ion Reducing Antioxidant Power Assay; FRAP assay)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพร 15 ชนิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ด้วยวิธี FRAP assay พบว่า สารสกัดจากใบสะเดา มีค่า FRAP value เท่ากับ 788.69±11.17

mM Fe²⁺/mg ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรทั้ง 14 ชนิด และวิตามินซี ความเข้มข้น 0.2 มก./มล. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 216.01±0.83 mM Fe²⁺/mg นอกจากนี้พบว่าสารสกัดจากเมล็ดพริกไทย มีค่าเท่ากับ 752.47±17.90 mM Fe²⁺/mg ใบขี้เหล็ก เท่ากับ 753.41±10.51 mM Fe²⁺/mg เปลือกมะกรูด เท่ากับ 497.19±21.20 mM Fe²⁺/mg ใบสะระแหน่ เท่ากับ 306.78±8.75 mM Fe²⁺/mg ใบตะไคร้ เท่ากับ 251.15±11.67 mM Fe²⁺/mg และใบกะเพรา เท่ากับ 237.03±12.84 mM Fe²⁺/mg ซึ่งสูงกว่าวิตามินซี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ด้วยวิธี Folin's method

จากการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจากสารสกัดในพืชทั้ง 15 ชนิด โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน คือ กรดแกลลิก (gallic acid) พบว่า สารสกัดจากใบสะเดามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 228.36±4.96 mgGAE/g ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรทั้ง 14 ชนิด และวิตามินซี ความเข้มข้น 0.2 มก./มล. นอกจากนี้สารสกัดจากใบสะเดามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 211.87±4.74 mgGAE/g ซึ่งสูงกว่าวิตามินซี ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 149.90±2.62 mgGAE/g อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2)

Table 2 The result of antioxidant activity in the 15 herbal plants.

Samples	DPPH		FRAP value		Total Phenolic Content	
	(%AI)	(mean±SD)	(mM Fe ²⁺ /mg)	(mean±SD)	(mgGAE/g)	(mean±SD)
Asiatic pennywort	60.63	± 2.69 ^g	91.33	± 16.21 ^l	29.23	± 0.93 ^{hi}
Bird pepper	61.12	± 1.18 ^g	256.34	± 12.90 ^e	71.81	± 1.31 ^e
Black pepper	61.52	± 3.29 ^g	752.47	± 17.90 ^b	107.69	± 14.59 ^d
Cassod tree	65.78	± 1.37 ^{cde}	753.41	± 10.51 ^b	211.87	± 4.74 ^b
Galanga	65.44	± 1.19 ^{def}	91.79	± 10.65 ^l	23.93	± 13.86 ⁱ
Ginger	63.66	± 1.12 ^{ef}	106.21	± 7.82 ^k	27.07	± 6.25 ^{hi}
Hairy basil	68.16	± 1.30 ^{ab}	182.95	± 10.47 ⁱ	31.32	± 1.07 ^{ghi}
Holy basil	67.50	± 3.40 ^{abcd}	237.03	± 12.84 ^f	38.27	± 4.86 ^{gh}
Horse radish tree	64.25	± 1.60 ^f	119.39	± 8.81 ^j	39.32	± 5.92 ^{gh}
Kaffir lime	61.76	± 1.03 ^g	497.19	± 21.20 ^c	81.60	± 7.10 ^e
Kitchen mint	66.68	± 1.06 ^{bcd}	306.78	± 8.75 ^d	42.33	± 2.96 ^{fg}
Lemon grass	67.68	± 1.22 ^{abc}	251.15	± 11.67 ^o	34.15	± 5.46 ^{ghi}
Lesser galangal	41.97	± 1.92 ⁱ	6.70	± 3.63 ^m	38.67	± 0.13 ^{gh}
Lime	54.39	± 2.08 ^h	203.52	± 17.92 ⁿ	50.09	± 4.41 ^f
Siamese neem tree	67.04	± 0.97 ^{bcd}	788.69	± 11.17 ^a	228.36	± 4.96 ^a
Ascorbic acid	69.34	± 4.46 ^a	216.01	± 0.83 ^g	149.90	± 2.62 ^c

Data were expressed the mean ± standard deviation (SD). Different superscripts letters in the same column that the values were significant different ($P < 0.05$)

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรไทยจำนวน 15 ชนิด ด้วยวิธีการทดสอบต่างๆ พบว่าพืชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันเนื่องจากมีปริมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบต่างกัน โดยสารองค์ประกอบของพืชที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอล⁵ ซึ่งพบได้ทั้งส่วนต่างๆของพืช เช่น ใบ เปลือกลำต้น ราก เหง้า ผล ดอก และเมล็ด ซึ่งแต่ละส่วนจะมีองค์ประกอบของสารที่แตกต่างกัน ดังนั้นควรมีการศึกษาสารออกฤทธิ์ของสมุนไพรแต่ละชนิดเพื่อหาสารออกฤทธิ์ที่จำเพาะในสมุนไพรต่อไป ซึ่งจากการทดลองพบว่าสะเดาและขี้เหล็กมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยจากการศึกษาของ Akeel และคณะในปี 2017 พบว่าเปลือกสะเดามีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน โดยมีองค์ประกอบของสารที่มีรสขมและสารประกอบฟีนอล⁶ นอกจากนี้ยังพบ rutin และ quercetin เป็นองค์ประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ⁷ ส่วนขี้เหล็กมีองค์ประกอบทางเคมี คือ สาร barakol และสาร ฟลาโวนอยด์⁸ สารออกฤทธิ์ของพริกไทยดำ คือ piperine และ piperettine, piperanine, piperylene, chavicine, piperoleines A, B และ C ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพและมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา⁸ นอกจากนี้กะเพราและแมงลักมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งกะเพราและแมงลักมีองค์ประกอบของสาร ฟลาโวนอยด์ และน้ำมันหอมระเหยมีสาร eugenol เป็นองค์ประกอบซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการออกซิเดชัน^{9,10} ส่วนพืชสมุนไพรอื่น ได้แก่ ขิง^{10,11,12} ข่า¹⁰ ใบบัวบก¹² มะกรูด¹³ มะนาว^{10,13} พริก¹⁴ มะรุม^{10,15} ตะไคร้^{10,11} และสะระแหน่¹⁰ ก็ได้มีการรายงานการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและสรรพคุณด้านอื่นๆ ด้วย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรไทย 15 ชนิด โดยใช้วิธีการสกัดแบบใช้แอลกอฮอล์ ซึ่งการใช้แอลกอฮอล์จะมีความไวในการละลายมากกว่าน้ำ มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และระเหยได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับการนำมาเป็นตัวทำละลายในกรณีที่ต้องการความเข้มข้นของสารสกัดในปริมาณมาก การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีจะมีกลไกการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน โดยวิธี DPPH assay เป็นวิธีการทำลายอนุมูลอิสระด้วยอนุภาคของ DPPH ซึ่งเป็นวิธีอย่างง่าย สะดวก และรวดเร็ว แต่มีข้อเสีย คือ การเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างซ้ำทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง วิธี FRAP assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นวิธีอย่างง่ายแต่

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่เกี่ยวข้องกับสถานะของร่างกาย และวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ด้วยวิธี Folin's method นั้น เป็นการหาปริมาณสารฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบของพืช ซึ่งเป็นการหาปริมาณโดยรวมเท่านั้นและเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว การทดลองนี้เป็นการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระอย่างง่าย ดังนั้นควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์และองค์ประกอบหลักของตัวอย่างพืชสมุนไพร เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนทั้งหน่วยปฏิบัติการวิจัยภาวะเครียดและภาวะเครียดออกซิเดชันทางสัตว์ที่สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

1. Young IS, Woodside JV. Antioxidants in health and disease. *Journal of clinical pathology*. 2001 Mar 1;54(3):176-86.
2. Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*. 2010 Jul;4(8):118.
3. Baiano A, Del Nobile MA. Antioxidant compounds from vegetable matrices: Biosynthesis, occurrence, and extraction systems. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016 Sep 9;56(12):2053-68.
4. Kasote DM, Katyare SS, Hegde MV, Bae H. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *International journal of biological sciences*. 2015;11(8):982.
5. บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 2556;21(3):275-86.
6. Al Akeel R, Mateen A, Janardhan K, Gupta VC. Analysis of anti-bacterial and anti oxidative activity of *Azadirachta indica* bark using various solvents extracts. *Saudi journal of biological sciences*. 2017 Jan 1;24(1):11-4.
7. Chaisawangwong W, Gritsanapan W. Quality assessment and scavenging activity of Siamese neem flower extract. *Natural product research*. 2013 Mar 1;27(4-5):394-401.

8. ภโวทัย พาสนาโสภณ. สารออกฤทธิ์ในสมุนไพรวารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี 2559; 27(1):120-131.
9. Kelm MA, Nair MG, Strasburg GM, DeWitt DL. Antioxidant and cyclooxygenase inhibitory phenolic compounds from *Ocimum sanctum* Linn. *Phytomedicine*. 2000 Mar 1;7(1):7-13.
10. อเนก หาลี และ บุญยกฤต รัตนพันธ์. การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจากพืชผักสมุนไพรพื้นบ้าน 15 ชนิด. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2560;40(2):283-293.
11. Kruawan K, Kangsadalampai K. Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. *Thai J Pharm Sci*. 2006 Jan;30:28-35.
12. จรัสรัตน์ ปานโคก, อรพิน เกิดชูชื่น และ ณีฏฐา เล่าหกุลจิตต์. ประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืช 3 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2555;43(2)พิเศษ:381-384.
13. Guimarães R, Barros L, Barreira JC, Sousa MJ, Carvalho AM, Ferreira IC. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*. 2010 Jan 1;48(1):99-106.
14. Gurnani N, Gupta M, Mehta D, Mehta BK. Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Taibah University for Science*. 2016 Oct 1;10(4):462-70.
15. Jayawardana BC, Liyanage R, Lalantha N, Iddamalgoda S, Weththasinghe P. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in herbal chicken sausages. *LWT-Food Science and Technology*. 2015 Dec 1;64(2):1204-8.

สภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

Optimization of Liquid Removal from *Mesona Chinensis* Bentham Using a Centrifuge Machine

ผดุงศักดิ์ พลศักดิ์,¹ ศตวรรษ รากะรินทร์,¹ ทิพาพร คำแดง^{2*}

Padungsak Polsakkwa,¹ Satawat Rakarin,¹ Tipapon Khamdaeng^{2*}

Received: 9 March 2019 ; Revised: 17 May 2019 ; Accepted: 31 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง โดยได้ออกแบบเครื่องหมุนเหวี่ยงและจำลองการรับแรงของเพลาดำด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อนำไปออกแบบขนาดเพลาส่งกำลังตามมาตรฐานของ ASME จากนั้นสร้างและทดสอบเครื่อง โดยแปรความเร็วรอบเพลาลง เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง และใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง จากการออกแบบพบว่าขนาดเพลาส่งกำลังที่ใช้สำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยงมีค่าเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ของตัวแปรความเร็วรอบเพลาลง เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง อยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง และจากแบบจำลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงคือที่ ความเร็วรอบเพลาลง 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช ซึ่งภายใต้สภาวะนี้จะได้ปริมาณน้ำเจกัว 555.33 กรัม ต่อน้ำหนักกากเจกัวเริ่มต้น 1,000 กรัม

คำสำคัญ: กระบวนการแยก เครื่องหมุนเหวี่ยง เจกัว สภาวะที่เหมาะสม

Abstract

The aim of this research was to optimize the liquid removal from *Mesona chinensis* Bentham using a centrifuge machine. The centrifugal machine was properly designed in order to improve the liquid removal from *Mesona chinensis* Bentham. The power transmission shaft was designed and calculated based on the ASME standard. Stress of the power transmission shaft was simulated using the SolidWorks software program. The machine was built and tested. The shaft speed, time consumption and screen size were studied. The Box-Behnken design response surface method was used to determine the optimum operation of the centrifugal machine. The results showed that the power transmission shaft used for the machine was 25 mm. A quadratic polynomial equation was fitted. The optimal conditions of separation obtained from the model were found at the shaft speed of 810 rpm, time consumption of 90 s and screen size of 100-mesh which yielded 555.33 g of liquid separated from 1,000 g of initial *Mesona chinensis* Bentham solid.

Keywords: separation process, centrifuge machine, grass jelly, optimization

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Bachelor degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Nong Harn, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

* Corresponding author; Tipapon Khamdaeng, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Nong Harn, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand; E-mail: tipapon@mju.ac.th

บทนำ

เจก๊วย (Grass Jelly) ทำมาจากต้นเจก๊วย (*Mesona chinensis* Benth) เป็นพืชล้มลุกประเภทคลุมดินต้นเล็กลักษณะคล้ายต้นสาระแหนแต่ใบใหญ่กว่าและเรียวยาวแหลมเป็นพืชในตระกูลวงศ์มินต์ มีสรรพคุณทางยามากมาย เช่น ช่วยแก้ร้อนในกระหายน้ำ ขับเสมหะ แก้กลิ้นไส้ เบื่ออาหาร ลดอาการกล้ามเนื้ออักเสบ ลดอาการตับอักเสบ ลดอาการไขข้ออักเสบ และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้หากนำต้นเจก๊วยมาต้มในน้ำเดือด แล้วนำน้ำเจก๊วยมาต้มเป็นประจำจะช่วยลดอาการโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวาน^{2,3} จากสรรพคุณทางยาของเจก๊วยที่กล่าวมานั้น ทำให้มีผู้สนใจที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นเจก๊วยเพิ่มมากขึ้น

การแปรรูปเจก๊วยให้ได้ปริมาณที่มากพอเพื่อให้ทันตามความต้องการของผู้บริโภคจะต้องอาศัยแรงงานคนในกระบวนการเป็นจำนวนมากและใช้เวลานานโดยเฉพาะขั้นตอนการกรองแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยผ้าขาวบางซึ่งต้องทำซ้ำสามารถจึงจะได้น้ำเจก๊วยที่มีคุณภาพดีไว้สำหรับผลิตเจก๊วยแปรรูปในขั้นต่อไป เพราะถ้ากรองผ้าขาวบางไม่ดีเนื้อเจก๊วยที่ผลิตออกมาจะมีเศษของต้นเจก๊วยผสมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบกับในการทำงานของแรงงานคนอาจเกิดความเหนื่อยล้าและความปลอดภัยได้ยาก ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ผลิตออกมามีคุณภาพไม่คงที่

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความต้องการที่จะออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงและหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงนี้ เพื่อเอาไว้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการใช้ในการแยกน้ำจากกากเจก๊วยในอุตสาหกรรมขนาดย่อมและอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการศึกษที่ผ่านมา ได้มีการรายงานถึงผลของตัวแปรของกระบวนการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มมากมาย⁴⁻⁷ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณที่หมุนเหวี่ยงได้คือ ขนาดของตะแกรงกรอง ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง

ดังนั้นการสร้างเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ หากทราบสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงในการแยกน้ำจากกากเจก๊วย ก็จะช่วยลดเวลาและลดการใช้แรงงานคนในขั้นตอนการกรองผ้าขาวบางลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการกรองให้ดียิ่งขึ้นและช่วยลดปริมาณเศษของต้นเจก๊วยในเนื้อเจก๊วยให้น้อยลง ในด้านการผลิต การสร้างเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้ทางโรงงานผลิตเจก๊วย

แปรรูปได้ทันตามความต้องการของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงและหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

วิธีการวิจัย

การออกแบบเครื่องหมุนเหวี่ยง

การออกแบบโครงสร้างของเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะเน้นให้มีความสมดุลเพราะในการทำงานถ้าเครื่องหมุนเหวี่ยงไม่มีความสมดุลก็จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นและอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ อีกทั้งโครงสร้างของเครื่องต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของมอเตอร์หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแสดงใน Figure 1

เครื่องหมุนเหวี่ยงประกอบด้วย (1) ตัวถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร พร้อมฝาปิด (2) ตะแกรงกรอง (3) ตะลึงลูกรีด (4) เฟลาส่งกำลัง (5) ล้อสายพาน (6) สายพาน (7) มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรงม้า ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ และ (8) โครงสร้างรับแรง โดยที่ตะแกรงกรองจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกและมี 2 ชั้น ซึ่งตะแกรงชั้นนอกจะเป็นตะแกรงที่เชื่อมติดอยู่กับเฟลาส่งกำลังและมีการเคลื่อนที่แบบหมุนไปพร้อมกันกับเฟลาส่งกำลัง ส่วนตะแกรงชั้นในจะถูกยึดติดกับตะแกรงชั้นนอกและสามารถถอดเปลี่ยนเพื่อปรับขนาดของตะแกรงได้ วัสดุที่ใช้ทำตะแกรงคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

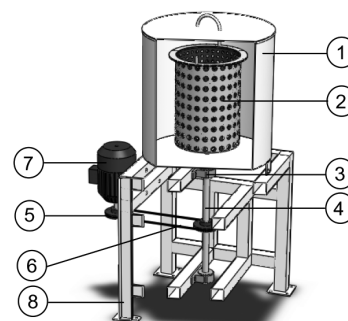


Figure 1 Structure and component of centrifuge machine

การออกแบบเฟลาส่งกำลัง

การออกแบบเฟลาส่งกำลังจะใช้โปรแกรม Solid-Works Simulation เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยจะจำลองการรับภาระแรงต่าง ๆ ของเฟลาส่งกำลังแล้วพิจารณาเลือก

ขนาดเพลลาที่สามารถรับแรงกระทำได้ โดยที่เพลลาไม่เกิดการเสียหาย เมื่อได้ขนาดเพลลาที่ต้องการจากการจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks แล้ว ก็จะนำมาเปรียบเทียบกับการออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME⁹ แล้วจึงพิจารณาเลือกขนาดเพลลาที่เหมาะสม โดยวัสดุเพลลาที่เลือกใช้คือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดเพลลาส่งกำลัง มีดังนี้

1) แรงบิด (T)

$$T = \frac{W_p}{2\pi n} \quad (1)$$

เมื่อ W_p คือ กำลังมอเตอร์ (วัตต์)
 n คือ ความเร็วรอบเพลลา (รอบต่อวินาที)

2) แรงดึงจากสายพาน

2.1) แรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง (F)

$$F = \frac{W_p}{v} \quad (2)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วสายพาน (เมตรต่อวินาที)

2.2) แรงดึงสายพานขึ้นต้น (F_1)

$$F_1 = (k_1 F + Z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

เมื่อ k_1 คือ ตัวประกอบการใช้งาน
 k_2 คือ ตัวประกอบสายพาน
 Z คือ จำนวนสายพาน (เส้น)
 α คือ มุมสัมผัส (องศา)

โดยโมเมนต์ตัด (M) จะคำนวณจากแรงดึงจากสายพานที่คำนวณได้จากสมการ (3)

3) ขนาดเพลลา (d)

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} ((C_t T)^2 + (C_m M)^2)^{1/2} \quad (4)$$

เมื่อ C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
 C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด
 τ_d คือ ความเค้นเฉือนใช้งาน (นิวตันต่อตารางเมตร)
 โดย $\tau_d = 0.3\sigma_y$
 σ_y คือ ความเค้นจุดคราก (นิวตันต่อตารางเมตร)

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างเจกัวด้วยเพื่อใช้ในการทดสอบ จะเริ่มจากนำต้นเจกัวแห้งมาล้างทำความสะอาดและสะเด็ดน้ำออก เตรียมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.45 จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้มาต้มรวมกับต้นเจกัวแห้งโดยใช้สารละลายปริมาณ 24 เท่าของน้ำหนักต้นเจกัวแห้ง ต้มด้วยอุณหภูมิปานกลางโดยควบคุมอุณหภูมิในการต้มให้คงที่อยู่ที่ 95 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการต้มประมาณ 3 ชั่วโมง⁹ ในการทดสอบหมุนเหวี่ยงแต่ละครั้ง

จะใช้กากเจกัวเริ่มต้น 1,000 กรัม ซึ่งเป็นต้นเจกัวที่ได้จากการต้มและสะเด็ดน้ำออกแล้วเท่านั้น ในส่วนที่เป็นน้ำจะไม่นำมาทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยง

การทดสอบการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะใช้วิธีการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ซึ่งจากการออกแบบการทดลองจะได้ช่วงความเร็วรอบเพลลาที่ต้องการคือ 450 750 และ 1,050 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยงคือ 30 60 และ 90 วินาที และขนาดตะแกรงคือ 100 250 และ 400 เมช (ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ต้องการศึกษาแสดงใน Table 1) จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองและวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องแยกน้ำจากกากเจกัวด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะพิจารณาจากปริมาณน้ำเจกัวที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเจกัว โดยที่ประสิทธิภาพการแยกน้ำจากกากเจกัวของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะคำนวณจากน้ำหนักของน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ต่อน้ำหนักกากเจกัวเริ่มต้น 1,000 กรัม

Table 1 Independent variables and levels

Independent variables	Coded variables	Levels		
		-1	0	1
Speed (rpm)	X_1	450	750	1,050
Time (s)	X_2	30	60	90
Screen size (mesh)	X_3	100	250	400

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ได้ศึกษาปัจจัยของตัวแปร 3 ตัว คือ ความเร็วรอบเพลลา เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง ตัวแปรละ 3 ระดับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณน้ำเจกัวที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) ซึ่งลักษณะของแบบจำลองการถดถอยมีทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

1) สมการเชิงเส้น (Linear Model)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i \quad (5)$$

2) สมการกำลังสอง (Quadratic Model)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^p \beta_{ii} X_i^2 \tag{6}$$

3) สมการปฏิสัมพันธ์ (Interaction)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j \tag{7}$$

เมื่อ

Y คือ ผลการตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณน้ำเจาก๊วย

X_i, X_j คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่ศึกษา

β_0 คือ ค่าคงที่สมการ

β_i, β_j คือ สัมประสิทธิ์ Linear Model

β_{ii}, β_{jj} คือ สัมประสิทธิ์ Quadratic Model

β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ Interaction

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ การวิเคราะห์แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล จะคำนวณโดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลัง

ในการเลือกขนาดเพลานำมาใช้ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าให้กับเครื่องหมุนเหวี่ยง จะใช้วิธีการคำนวณหาขนาดเพลาดตามโค้ดของ ASME และใช้โปรแกรม SolidWorks ทำการจำลองการรับแรงของเพลานำเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกขนาดเพลานำ โดยในการจำลองการรับแรงของเพลานำได้กำหนดค่าภาระแรงกระทำบนเพลานำจากการคำนวณโดยใช้สมการ (1)-(3) ซึ่งมีค่าภาระแรงดังนี้คือ แรงบิดเท่ากับ 100

นิวตันเมตร แรงดึงจากสายพาน 500 นิวตัน โมเมนต์ดัดเท่ากับ 37.5 นิวตันเมตร แรงกดเท่ากับ 200 นิวตัน (คิดจากผลรวมของน้ำหนักตะแกรงและน้ำหนักกากเจาก๊วย) และคิดแรงเนื่องจากน้ำหนักเพลานำ แผนภาพอิสระของเพลาส่งกำลังที่ใช้ในการคำนวณแสดงดัง Figure 2

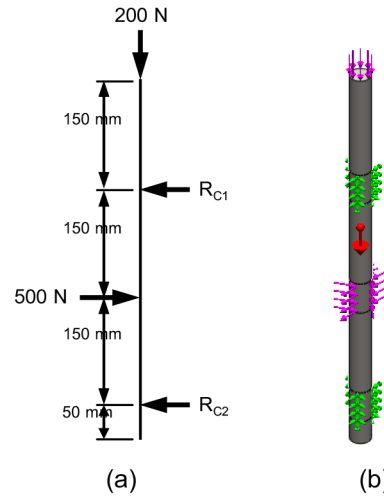


Figure 2 (a) Free body diagram of power transmission shaft and (b) Loads and boundary conditions shown in SolidWorks

กำหนดวัสดุเพลานำเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่มีค่าความเค้นจุดคราก (Yield Strength) เท่ากับ 206.81 เมกกะปาสคาล จากการจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลังขนาดแตกต่างกัน ได้แก่ 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 มิลลิเมตร ที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร พบว่าเพลานำที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร ขึ้นไปสามารถรับแรงจากแรงกระทำทั้งหมดได้โดยไม่เกิดการเสียหาย โดยสังเกตจากค่า Von Mises stress และค่า Factor of safety ดังแสดงใน Table 2 และพบว่าการขจัดสูงสุดบนเพลาส่งกำลัง (Displacement) จะมีค่าน้อยลงเมื่อขนาดเพลานำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการขจัดสูงสุดนั้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ติดตั้งสายพาน ดังแสดงใน Figure 3(b) และ 3(d)

Table 2 Von Mises stress, displacement, and safety factor of shaft with different sizes

Size (mm)	Von Mises stress (MPa)	Displacement (mm)	Factor of safety (-)
5	6,580.75	11.22	0.031
10	1,261.46	0.914	0.164
15	480.32	0.224	0.431
20	174.05	0.085	1.188
25	138.03	0.041	1.498
30	48.278	0.023	4.284
35	38.622	0.014	5.355
40	22.363	0.009	9.248

จากการคำนวณขนาดเพลตามัดของ ASME โดยใช้สมการ (4) และการจำลองการรับแรงของเพลด้วยโปรแกรม SolidWorks (Fig. 3) จะพบว่าเพลที่มีขนาดตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรขึ้นไปจะสามารถรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเพลได้โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่เพลที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร จะมีค่า Factor

of safety ไม่ถึง 1.2 ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับการนำไปใช้งานจริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เพลสังกาลังขนาด 25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่า Factor of safety เท่ากับ 1.5 โดยขนาดเพล 25 มิลลิเมตรนี้มีขนาดที่ไม่ใหญ่จนเกินไปและเหมาะสมในการนำไปสร้างเพื่อใช้งานจริง

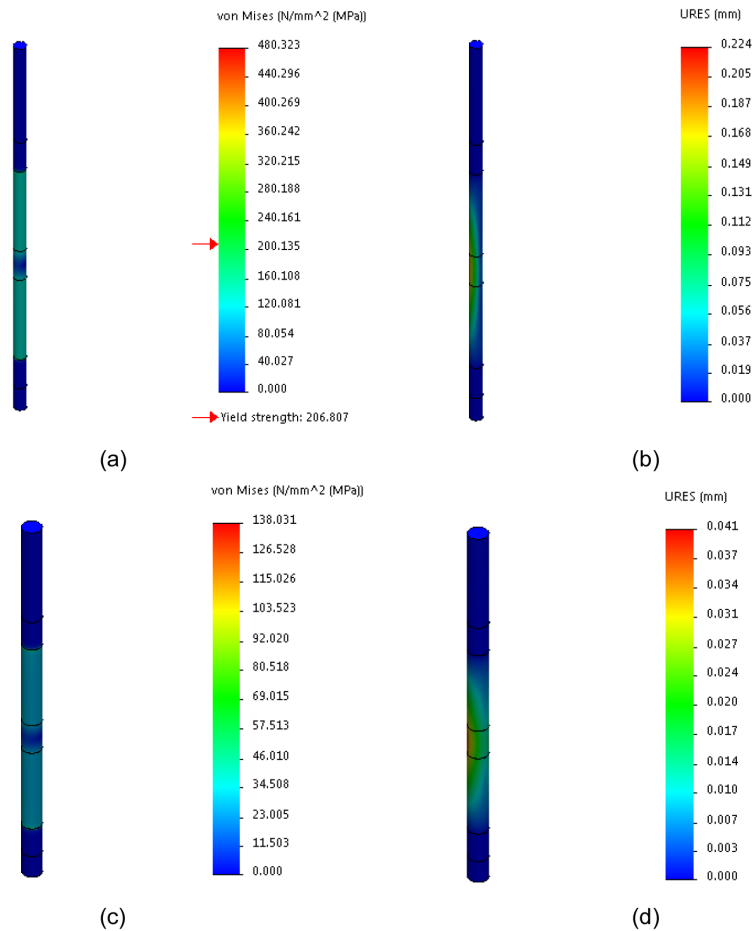


Figure 3 Von Mises stress and displacement of power transmission shaft with size of (a) and (b) 15 mm and (c) and (d) 25 mm

สภาวะที่เหมาะสมของการหมุนเหวี่ยง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัว คือ ความเร็วรอบเพลลา (X_1) เวลาในการหมุนเหวี่ยง (X_2) และขนาดของตะแกรงที่ใช้เป็นตัวกรอง (X_3) ซึ่งกำหนดค่าตัวแปรเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) จากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design เพื่อศึกษาผลของปัจจัยหรือตัวแปรที่มีต่อการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง พบว่าปริมาณน้ำเจกัวที่ได้และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัวแสดงดัง Table 3 จากนั้นวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่วัดได้ ด้วยเทคนิคทางสถิติที่เรียกว่า วิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการหมุนเหวี่ยงและปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ ปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัวเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) แผนการทดลองเป็นแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล จาก Table 3 ปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้สูงสุด ได้จากการทดลองที่ความเร็วรอบเพลลา 750 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช โดยจากน้ำหนักกากเจกัวเริ่มต้น 1,000 กรัม จะได้ปริมาณน้ำเจกัว 553.0 ± 12.23 กรัม และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัว $1.498 \pm 0.1\%$

การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในการหมุนเหวี่ยงต่อปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ สามารถใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองในการวิเคราะห์ผลในรูปของ Contour plot และ Surface plot ดังแสดงใน Figure 4(a)-(c)

Table 3 Centrifuge variables and experimental data of centrifuged liquid and total solid yields

Speed (rpm)	Time (s)	Screen size (mesh)	Centrifuged liquid yield (g)	Total solid yield (%)
X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
450	30	250	$339.0^a \pm 19.40$	$1.700^c \pm 0.1$
1,050	30	250	$492.3^j \pm 11.25$	$1.598^{bc} \pm 0.0$
450	90	250	$420.5^{bc} \pm 18.5$	$1.698^c \pm 0.1$
1,050	90	250	$526.5^k \pm 11.5$	$1.595^{bc} \pm 0.0$
450	60	100	$430.3^{cd} \pm 10.75$	$1.498^{ab} \pm 0.1$
1,050	60	100	$439.5^{cd} \pm 8.45$	$1.698^c \pm 0.1$
450	60	400	$403.5^b \pm 7.54$	$1.399^a \pm 0.0$
1,050	60	400	$443.5^{de} \pm 9.03$	$1.598^{bc} \pm 0.0$
750	30	100	$448.3^{def} \pm 6.25$	$1.600^{bc} \pm 0.0$
750	90	100	$553.0^l \pm 12.23$	$1.498^{ab} \pm 0.1$
750	30	400	$485.5^{hi} \pm 13.34$	$1.603^{bc} \pm 0.0$
750	90	400	$470.5^{fgh} \pm 12.67$	$1.602^{bc} \pm 0.2$
750	60	250	$475.3^{ghi} \pm 16.50$	$1.600^{bc} \pm 0.0$
750	60	250	$503.3^i \pm 8.25$	$1.697^c \pm 0.1$
750	60	250	$462.0^{efg} \pm 10.04$	$1.402^a \pm 0.2$

Notes: Data are expressed as mean \pm STD. Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$)

Figure 4(a) แสดงผลของความเร็วยรอบเพลลาที่มีต่อปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจกัวจะมีค่ามากที่สุดที่ความเร็วรอบเพลลา 810 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าแปรผันตรงกับความเร็วรอบในช่วง 450 ถึง 810 รอบ

ต่อนาที⁵ แต่ถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 810 ถึง 1,050 รอบต่อนาที จะพบว่าปริมาณน้ำเจกัวที่ได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเครื่องหมุนเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็วที่สูงขึ้น เครื่องจะเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุล

และทำให้แรงหนีศูนย์กลางมีค่าน้อยลง จึงเป็นเหตุทำให้ได้ปริมาณน้ำเจาก๊วยน้อยลง

Figure 4(b) แสดงผลของขนาดตะแกรงที่มีต่อปริมาณน้ำเจาก๊วยที่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจาก๊วยที่หมุนเหวี่ยงได้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ขนาดตะแกรงค่าน้อย เนื่องจากขนาดตะแกรงค่าน้อยจะมีขนาดของรูตะแกรงที่ใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดตะแกรงค่ามาก ดังนั้นโอกาสที่น้ำเจาก๊วยและเศษต้นเจาก๊วยที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงจะหลุดออกมาได้นั้นมีมากขึ้น แต่ถ้าเลือกใช้ตะแกรงขนาดต่ำกว่า 100 เมช ขนาดของเศษต้นเจาก๊วยอาจจะใหญ่เกินไปซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเจาก๊วย ผลที่ได้สอดคล้องกับการเลือกขนาดตะแกรงในกระบวนการแปรรูปอาหารหรือเครื่องดื่มโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งขนาดตะแกรงจะต้องไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป และต้องมีความเหมาะสมกับกระบวนการแปรรูปนั้น ๆ^{5, 10}

Figure 4(c) แสดงผลของเวลาในการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อปริมาณน้ำเจาก๊วยที่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจาก๊วยจะมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการหมุนเหวี่ยงนานขึ้น แต่ต้องพิจารณาเรื่องของจุดคุ้มทุนด้วยเพราะถ้าใช้เวลาในการหมุนเหวี่ยงนานเกินไปอาจเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าและเวลาในการทำงานโดยไร้ประโยชน์

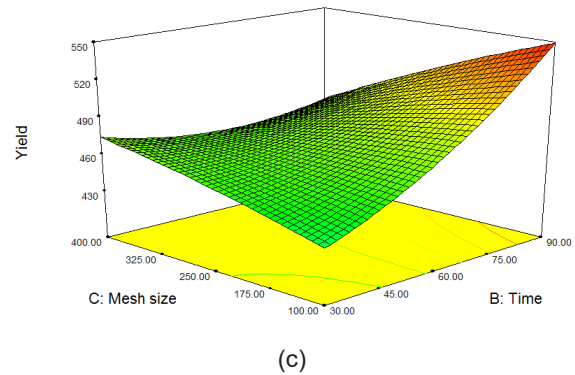
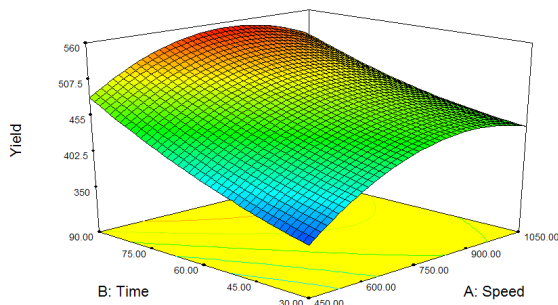
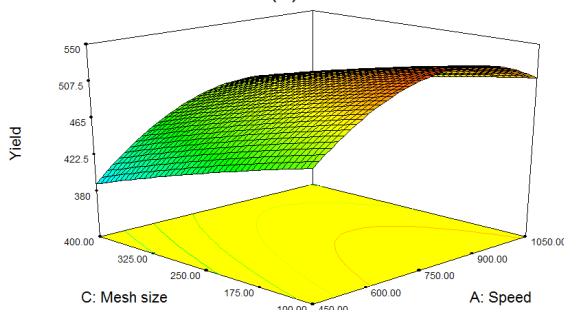


Figure 4 Surface plots of centrifuged liquid yield and variables of (a) shaft speed and time consumption, (b) screen size and shaft speed, and (c) time consumption and screen size



(a)



(b)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณน้ำเจาก๊วยที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจาก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง สมการจากแบบจำลองการถดถอยแบบ Full quadratic model สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเจาก๊วยที่หมุนเหวี่ยงได้ (Y_1) และตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเพลลา (X_1) เวลาในการหมุนเหวี่ยง (X_2) และขนาดของตะแกรง (X_3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงในสมการ (8)

$$Y_1 = 480.17 + 38.56X_1 + 25.69X_2 - 8.50X_3 - 11.81X_1X_2 + 7.69X_2X_3 - 29.94X_1X_3 - 47.86X_1^2 + 12.26X_2^2 - 3.11X_3^2 \quad (8)$$

จากสมการพบว่าปริมาณน้ำเจาก๊วยที่มากที่สุดที่ได้จากสมการทำนาย คือ 555.33 กรัม (ต่อน้ำหนักกากเจาก๊วยเริ่มต้น 1,000 กรัม) ซึ่งคำนวณมาจากความเร็วรอบเพลลาที่ 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช

สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้ในการแยกน้ำจากกากเจาก๊วย ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำเจาก๊วยที่หมุนเหวี่ยงได้คือ ความเร็วรอบเพลลา เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดของตะแกรง วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) แบบ Box-Behnken

design ได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของการแยกน้ำจากกากเจาก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยซึ่งอยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง โดยสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจาก๊วยที่ได้จากแบบจำลองคือที่ ความเร็วรอบเพลลา 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช ซึ่งภายใต้สภาวะนี้มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำเจาก๊วย 555.33 กรัม (ต่อน้ำหนักกากเจาก๊วยเริ่มต้น 1,000 กรัม) โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการแยกน้ำจากกากเจาก๊วยของเครื่องหมุนเหวี่ยงเท่ากับ 55.53%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. วิกิพีเดีย. เจาก๊วย (พีช) [Internet]. 2561. Available from: [https://th.wikipedia.org/wiki/เจาก๊วย_\(พีช\)](https://th.wikipedia.org/wiki/เจาก๊วย_(พีช)).
2. พีชเกษตร.คอม.เจาก๊วย [Internet]. 2016. Available from: <https://puechkaset.com/เจาก๊วย/>.
3. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. ประโยชน์ของเจาก๊วย [Internet]. 2012. Available from: www.acfs.go.th.
4. Domingues RCC, Faria Junior SB, Silva RB, Cardoso VL, Reis MHM. Clarification of passion fruit juice with chitosan: Effects of coagulation process variables and comparison with centrifugation and enzymatic treatments. *Process Biochemistry*. 2012;47(3):467-71.
5. Noomhorm A, Tansakul A. Effect of pulper-finisher operation on quality of tomato juice and tomato puree. *Journal of Food Process Engineering*. 1992;15(4):229-39.
6. Sagu ST, Karmakar S, Nso EJ, De S. Primary clarification of banana juice extract by centrifugation and microfiltration. *Separation Science and Technology*. 2014;49(8):1156-69.
7. Yousefnezhad B, Mirsaeedghazi H, Arabhosseini A. Pretreatment of pomegranate and red beet juices by centrifugation before membrane clarification: A comparative study. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;41(2):e12765.
8. Nisbett K, G. Budynas R. Shigley's Mechanical Engineering Design, 10th Edition: McGraw-Hill Education; 2015.
9. ณรงค์ นียมวิทย์, สุวรรณิ์ สินไสวงค์. การผลิตเจาก๊วยผง (*Mesona chinensis* Benth.) ใน: รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ สังคมศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คหกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2535. หน้า 325-35
10. Tansakul A, Noomhorm A, Bhumiratana S, Patmayothin N. Effect of pulper-finisher specifications on tomato juice characteristics. *ASEAN Food Journal*. 1992;7(1):56-8.

ตัวแปรที่สำคัญต่อกำลังของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว

Key Parameters to Strength of an Adhesive Anchoring System in Uncracked and Cracked Concrete

ภาคิน ลอยเจริญ¹, เกียรติศักดิ์ แก้วกุลชัย^{2*}, กิตติศักดิ์ ชันติยวิชัย³

Phakin Loyjaroen¹, Griengsak Kaewkulchai^{2*}, Kittisak Kuntiyawichai³

Received: 12 March 2019 ; Revised: 10 May 2019 ; Accepted: 29 May 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในระบบสามมิติของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยว เพื่อศึกษาตัวแปรที่สำคัญต่อกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว ความยาวระยะฝังยึด และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอน ทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวเรียงตามลำดับความสำคัญได้แก่ ความยาวระยะฝังยึด กำลังอัดประลัยของคอนกรีต และกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว ตามลำดับ การกระจายของหน่วยแรงหลักที่ไม่สม่ำเสมอในคอนกรีตร้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กำลังของระบบลดลง ผลของรอยร้าวในคอนกรีตจะมีมากขึ้นตามค่าที่เพิ่มขึ้นของตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวของรอยร้าวและการสูญเสียกำลังยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวเป็นส่วนใหญ่

คำสำคัญ: ระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยว แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ตัวแปรที่สำคัญ คอนกรีตร้าว

Abstract

This study developed a 3D finite element model of an adhesive anchoring system to study key parameters including bond strength of adhesive, embedment depth and concrete strength, that affecting pull-out strength in uncracked and cracked concrete. The results showed that the key parameters affecting pull-out strength of the adhesive anchor were embedment depth, concrete strength and bond strength. The distribution of non-uniform maximum principle stress in cracked concrete is a main reason for reducing strength of the system. The effect of cracks in concrete will be more, according to the increased value of the study parameters, which is mostly the result of the expansion of cracks and the loss of bond strength on concrete/adhesive interface.

Keywords: Adhesive anchoring system, Finite element model, Key parameters, Cracked concrete

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³ รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Ph.D. Candidate, ² Assist. Prof. Dr., ³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Amphur Warin Chamrap, Ubonratchathani 34190

* Corresponding author; Griengsak Kaewkulchai, Tel : 083-729-6636, E-mail: griengsak@gmail.com

บทนำ

ระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยว (Adhesive anchoring system) เป็นอุปกรณ์ฝังยึดที่นิยมใช้ในงานต่อเติมโครงสร้างเหล็กจากโครงสร้างคอนกรีตเดิมและงานเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีต โดยส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้งานร่วมกับคอนกรีตที่มีอายุและผ่านการใช้งานในระบบโครงสร้างตามที่ถูกออกแบบไว้แล้ว ดังนั้นจึงเสี่ยงไม่ได้ที่คอนกรีตจะมีโอกาสเกิดการแตกร้าวขึ้นในเนื้อคอนกรีตก่อนที่จะติดตั้งระบบฝังยึด นอกจากนี้ การแตกร้าวในคอนกรีตอาจเกิดขึ้นจากการยึดหดตัวของคอนกรีตจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือการเสริมเหล็กกันร้าวไม่เพียงพอ การใช้งานระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านตำแหน่งในการติดตั้งสมอยึดที่มีการแตกร้าวเกิดขึ้นในคอนกรีตอยู่ก่อนแล้ว หรือเป็นกรณีที่เกิดการแตกร้าวขึ้นขณะทำการเจาะรูในคอนกรีตเพื่อติดตั้งสมอยึด ที่อาจเกิดความผิดพลาดจากการเจาะหรือคอนกรีตเดิมมีการแตกร้าวอยู่ก่อนแล้วเกิดการขยายตัวจากขั้นตอนการติดตั้ง เป็นต้น การทำนายกำลังของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตไม่ร้าวสามารถหาได้จากการทดสอบตัวอย่างจริง จากการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการคำนวณโดยใช้สมการที่เสนอโดยนักวิจัยในอดีต แต่สำหรับในคอนกรีตร้าว การทดสอบตัวอย่างจริงสามารถทำได้ยากเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายอย่าง ดังนั้นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวที่พัฒนาโดยผู้วิจัย¹ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

แบบจำลองระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาโดยผู้วิจัยและได้ผ่านการสอบเทียบกับผลทดสอบในห้องปฏิบัติการในอดีตแล้ว^{2,3} โดยมีองค์ประกอบของแบบจำลองประกอบด้วย แบบจำลองสมอยึดแบบจำลองสารยึดเหนี่ยวแบบจำลองคอนกรีต และแบบจำลองผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยว ซึ่งเป็นอาณาบริเวณที่พบการวิบัติจากการยึดเหนี่ยวเป็นส่วนใหญ่⁴

ตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตจากการศึกษาของนักวิจัยในอดีต^{5,6} ประกอบด้วยความยาวระยะฝังยึด กำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ความสะอาดของผิวรูเจาะ ความชื้นที่ผิวรูเจาะ อุณหภูมิ และขนาดของมวลรวมหยาบ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในคอนกรีตไม่ร้าว การศึกษาตัวแปรที่สำคัญต่อกำลังของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวในอดีตยังปรากฏไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อกำลังและพฤติกรรมของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยว ทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและในคอนกรีตร้าว โดยตัวแปรที่สำคัญที่จะศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรด้านกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว ความยาวระยะฝังยึด และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อกำลังของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีต และสามารถสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกำลังและพฤติกรรมของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในระบบสามมิติของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวเพื่อศึกษาพฤติกรรมและกำลังต้านทานแรงดึงถอนของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยว ในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัยและได้ผ่านการสอบเทียบแล้วจะถูกนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษาในแต่ละกรณี ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองและการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุแต่ละประเภทจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวภายใต้แรงดึงถอนในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม ABAQUS 2017 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความแม่นยำในการประมวลผลข้อมูลเพื่อวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวจะประกอบด้วย แบบจำลองแท่งเหล็กสมอยึด (Figure 1a) แบบจำลองสารยึดเหนี่ยว (Figure 1b) แบบจำลองผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีต (Figure 1c) และแบบจำลองคอนกรีต (Figure 1d) แบบจำลองผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีตได้สร้างขึ้นมาเพื่อเน้นศึกษาถึงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวและการวิบัติในบริเวณดังกล่าว เนื่องจากการวิบัติจากการยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวส่วนใหญ่จะเกิดการลื่นหลุดที่ผิวสัมผัสของสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีต¹

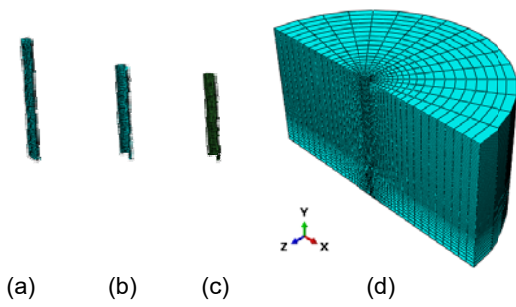


Figure 1 Typical of adhesive anchor model

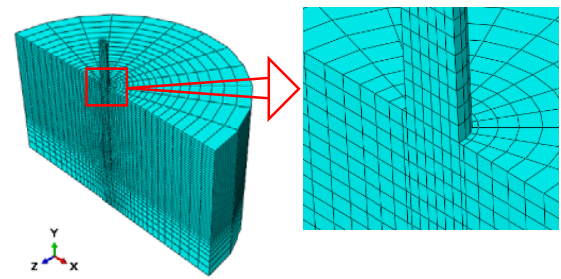
- (a) anchor
- (b) adhesive
- (c) concrete/adhesive interface
- (d) concrete

เอลิเมนต์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในแบบจำลองจะเป็นเอลิเมนต์ประเภท C3D8R ที่เป็นเอลิเมนต์ในตระกูล 3D-stress ที่เหมาะในการใช้ส่งถ่ายแรงในเอลิเมนต์ของแข็ง (Solid element) โดยจะใช้ในแบบจำลองสมอยึด สารยึดเหนี่ยว และคอนกรีต สำหรับเอลิเมนต์ที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมตอบสนองของผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีต จะใช้เอลิเมนต์ประเภท COH3D8 ที่มีความหนาเป็นศูนย์ ดังแสดงใน (Figure 1c)

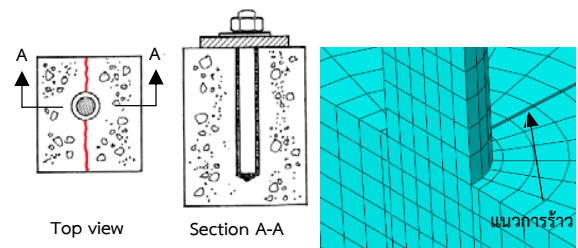
แบบจำลองของระบบจะถูกสร้างเพียงครึ่งส่วนที่สมมาตรในระบบสามมิติ เพื่อลดระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม เป็นแบบจำลองการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงถอนของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีต มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองคอนกรีต 300 มิลลิเมตร ซึ่งครอบคลุมการกระจายของหน่วยแรงในเอลิเมนต์คอนกรีต และใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่เหมาะสม มีระยะจากปลายรูเจาะถึงขอบล่างของแบบจำลองคอนกรีต 50 มิลลิเมตร เอลิเมนต์ที่เล็กที่สุดกำหนดให้มีขนาด 3 มิลลิเมตร ที่เอลิเมนต์ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยว ขนาดของเอลิเมนต์จะใหญ่ขึ้นจนถึงขอบนอกของเอลิเมนต์คอนกรีตกำหนดให้มีขนาด 15 มิลลิเมตร (Figure 2a) แบบจำลองวัสดุแต่ละส่วนจะถูกนำมายึดติดกันโดยใช้หลักการ Surface to surface-Tied constraint

แบบจำลองทั้งระบบได้ถูกกำหนดเงื่อนไขขอบเขตโดยการยึดรั้งแท่งคอนกรีตที่ฐานล่างในแนวแกน x, y และ z และ ยึดรั้งขอบนอกด้านบนในแนวแกน y เพื่อป้องกันการโอบรัด (Confinement) ในเนื้อคอนกรีต มีการยึดรั้งเอลิเมนต์คอนกรีตและสมอยึดในระนาบสมมาตรในแนวแกน z และกำหนดการให้แรงในแท่งสมอยึดโดยการกำหนดให้ปลายของสมอยึดเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง (Displacement control) เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการใช้งาน

จริง การจำลองรอยร้าวในคอนกรีตกรณีศึกษาในคอนกรีตร้าวที่มีลักษณะการร้าวแบบแตกปริ (Splitting crack) ใช้วิธีตัดแปลงแบบจำลองคอนกรีตในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวโดยการเพิ่มช่องว่างในแนวระนาบที่เป็นตัวแทนของแนวการร้าวในคอนกรีต ให้มีความกว้างของช่องว่างเท่ากับขนาดความกว้างของรอยร้าว มีระนาบการร้าววิ่งขนบของรูเจาะที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยว (Figure 2b) โดยรอยร้าวลักษณะนี้เปรียบเสมือนการร้าวแบบแตกปริที่เกิดขึ้นก่อนติดตั้งสมอยึด (Pre-crack) โดยกำหนดให้มีความกว้างของรอยร้าว 0.3 มิลลิเมตร ในเอลิเมนต์คอนกรีต และมีความลึกของระนาบการร้าวเท่ากับระยะฝังยึดของสมอยึด



(a) uncracked concrete model



(b) cracked concrete model

Figure 2 Finite element model of adhesive anchor in uncracked and cracked concrete

คุณสมบัติวัสดุ

ในแบบจำลองคอนกรีตได้กำหนดคุณสมบัติเป็นคอนกรีตล้วน (Plain concrete) ที่สามารถแสดงพฤติกรรมตอบสนองได้ทั้งในช่วงเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น แบบจำลองความเสียหายเชิงพลาสติกของคอนกรีต (Concrete damage plasticity, CDP) จึงถูกนำมาใช้กำหนดพฤติกรรมของแบบจำลองคอนกรีตภายใต้การกระทำของแรงอัดและแรงดึง พฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่นกำหนดให้มีความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's law) ซึ่งความสัมพันธ์จะมีลักษณะเชิงเส้น ที่มีค่าความเค้นยืดหยุ่นสูงสุดในช่วงนี้เป็นไปตามคำแนะนำของ ACI318-11⁷ หรือ ส่วนในช่วงไม่ยืดหยุ่นเลือกใช้แบบจำลองของ Carreira, D.J. และ

Chu, K.H.^{8,9} กำหนดความสัมพันธ์ในช่วงที่ไม่เชิงเส้นทั้งก่อนและหลังจุดที่ความเค้นมีค่าสูงสุด ซึ่งตามวิธีของความเสียหายเชิงพลาสติกที่เลือกไว้จะสามารถแสดงผลในส่วนของความเสียหายหรือการแตกร้าวที่เกิดขึ้นในเอลิเมนต์คอนกรีตได้ในรูปของการเสื่อมสภาพความแกร่ง (Stiffness degradation) ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งผลจากการกระทำของแรงอัดและแรงดึง

แบบจำลองสารยึดเหนี่ยวกำหนดให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ตามคำแนะนำของผู้ผลิต Hilti Co, Ltd¹⁰ มีรูปทรงโค้งตามผิวของรูเจาะคอนกรีต ผลตอบสนองต่อสภาวะการให้แรงกระทำของเอลิเมนต์ที่กำหนดแทนสารยึดเหนี่ยวกำหนดให้มีพฤติกรรมแบบยึดหยุ่นภายใต้แรงเฉือน และกำหนดให้มีความเสียหายเชิงพลาสติกในช่วงหลังจุดคราก ดังนั้นรูปแบบการวิบัติจะกำหนดโดยใช้หลักการความเสียหายจากแรงเฉือน (Shear damage) ส่วนการพัฒนาความเสียหาย (Damage evolution) ในขั้นตอนการวิบัติจากการเฉือนจะกำหนดให้มีความเสียหายเชิงเส้นภายใต้เงื่อนไขของค่าการเคลื่อนที่ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดสอดคล้องกับค่าการยืดตัวสูงสุด (Elongation at break) ของสารยึดเหนี่ยว

การจำลองผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีตในบริเวณนี้ ซึ่งตามจริงแล้วจะไม่มีมิติด้านความหนา ดังนั้นแบบจำลองในส่วนนี้จึงจะกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นเอลิเมนต์เชื่อมยึด (Cohesive elements) ที่มีความหนาเป็นศูนย์ มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับขนาดเอลิเมนต์ของสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีตด้านที่อยู่ติดกัน ครอบคลุมพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวและคอนกรีต พฤติกรรมตอบสนองกำหนดให้มีพฤติกรรมตามหลักการของแรงฉุด-การแยก (Traction-separation behavior) ในรูปแบบที่ 2 (Mode II) ซึ่งเป็นพฤติกรรมของแรงฉุดเฉือนและการแยกเฉือน และรูปแบบความสัมพันธ์ของแรงฉุด-การแยก จะเป็นลักษณะของกราฟ Bilinear

พฤติกรรมตอบสนองของเอลิเมนต์ที่เป็นตัวแทนของสมอียึดจะกำหนดให้มีความเสียหายเหมือนเหล็กกล้ากำลังสูงทั่วไป ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุยึดหยุ่นเชิงเส้นในช่วงที่ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดเป็นเส้นตรง และมีคุณสมบัติเชิงพลาสติกในช่วงที่ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดไม่เป็นเส้นตรงพฤติกรรมการวิบัติจะกำหนดให้มีรูปแบบการวิบัติโดยใช้หลักการความเสียหายจากการยืดตัว (Ductile damage)

แบบจำลองระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตไม่ร้าวจะถูกสร้างให้มีขนาดและองค์ประกอบพื้นฐานตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยอ้างอิงคุณสมบัติของสารยึดเหนี่ยว Hilti HIT-RE500 V3 ที่ใช้งานร่วมกับสมอียึด HIT-C

ซึ่งเป็นสมอียึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวสูตรใหม่ของ Hilti¹⁰ มีคุณสมบัติพื้นฐานในการใช้งานได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสมอียึด 16 มิลลิเมตร ความยาวระยะฝังยึด 125 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ 18 มิลลิเมตร กำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว 11.7 เมกะปาสคาล (ที่ระยะเวลาในการบ่มตัว 14 วัน) โมดูลัสยืดหยุ่นของสารยึดเหนี่ยว 2600 เมกะปาสคาล และค่าการยืดตัวสูงสุด (Elongation at break) 1.1% สมอียึดมีโมดูลัสยืดหยุ่น 2.0×10^5 เมกะปาสคาล อัตราส่วนปัวซอง 0.30 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตแบบไม่โอบริด (Unconfined compressive strength) กำหนดค่าให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของคอนกรีตจากการศึกษาของ Krishnamurthy, K.² ซึ่งเป็นคุณสมบัติของคอนกรีตที่กำหนดในแบบจำลองจากการศึกษาของผู้วิจัยที่ผ่านมา เพื่อสอบเทียบกับผลการศึกษาในอดีตดังกล่าว โดยมีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต 39 เมกะปาสคาลกำลังรับแรงดึงประลัย 2.93 เมกะปาสคาล โมดูลัสยืดหยุ่น 2.83×10^4 เมกะปาสคาล อัตราส่วนปัวซอง 0.18 โดยพฤติกรรมของคอนกรีตจะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดทั้งในช่วงเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ตามสมการของ Carreira, D.J. และ Chu, K.H.^{8,9} ภายใต้แรงอัดและแรงดึง ตามลำดับ

ในแบบจำลองผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวจะกำหนดให้มีความเสียหายในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัสเท่ากับกำลังรับแรงดึงประลัยของคอนกรีต 2.93 เมกะปาสคาลและมีพฤติกรรมตามแนวขนานกับระนาบผิวสัมผัสเท่ากับกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยวคือ 11.7 เมกะปาสคาลส่วนในแบบจำลองระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าว จะทำการสร้างแบบจำลองที่มีเงื่อนไขต่าง ๆ ทั้งด้านมิติ ความยาวระยะฝังยึด และการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับเอลิเมนต์วัสดุแต่ละชนิด จะเหมือนกับกรณีคอนกรีตไม่ร้าวจะแตกต่างกันตรงที่ในกรณีคอนกรีตร้าวจะมีการเว้นช่องว่างในเอลิเมนต์คอนกรีตเพื่อเป็นการจำลองระนาบการแตกร้าวเพิ่มขึ้นในแต่ละรูปแบบ

ตัวแปรที่สำคัญ

ตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าวที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้มี 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรด้านกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว ความยาวระยะฝังยึด และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ดังแสดงค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาในแบบจำลองดังตาราง (Table 1) โดยค่ากำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยวจะใช้ค่า 8, 12 และ 16 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่ากำลังยึด

หน่วงของสารยึดเหนี่ยวในช่วงต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ ส่วนความยาวระยะฝังยึดจะกำหนดที่ระยะ 4·d, 8·d และ 12·d เมื่อ d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสมอยึด จะได้ค่าเป็น 64, 128 และ 192 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะฝังที่อยู่ในช่วงต้น ปานกลาง และลึก ตามลำดับ โดยค่าระยะฝังยึดระยะปานกลาง จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแนะนำจากผู้ผลิตคือ 125 มิลลิเมตร

Table 1 Parameters to parametric studies

Parameters	Values		
	Low	Middle	High
Bond strength (MPa)	8	12	16
Embedment depth (mm)	64	128	192
Concrete strength (MPa)	19.61	34.32	49.03

ส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีตจะกำหนดที่ค่ากำลังอัดต่ำ กลาง และสูง ของคอนกรีตในประเทศ คือ 200, 350 และ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะได้ค่าตาม (Table 1) ในหน่วยเมกะปาสคาล ตามลำดับ

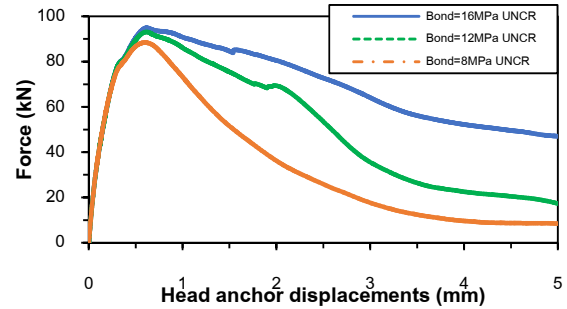
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์-เอลิเมนต์ของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญของตัวแปรด้านกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยว ความยาวระยะฝังยึด และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

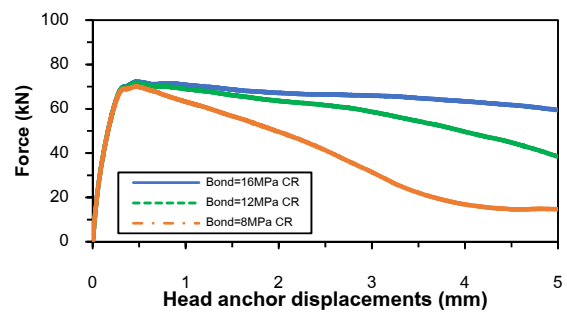
ผลการศึกษาตัวแปรด้านกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยว

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแรงดึงถอนและการเคลื่อนที่ที่ปลายสมอยึดเมื่อกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวมีค่าแตกต่างกันแสดงใน (Figure 3) โดยเมื่อพิจารณาจากภาพจะพบว่า เมื่อกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวมีค่ามากขึ้น ความสามารถในการต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งในคอนกรีตไม่ร้าว (Figure 3a) และคอนกรีตร้าว (Figure 3b) ในคอนกรีตไม่ร้าวอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดึงถอนสูงสุดเมื่อกำลังยึดหน่วงเพิ่มขึ้นจาก 8, 12 และ 16 เมกะปาสคาล มีค่าเป็น 1, 1.05 และ 1.07 ตามลำดับ ส่วนในคอนกรีตร้าวอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดึงถอนสูงสุดจะเป็น 1, 1.02 และ 1.03 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงแรกที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีความแกร่ง (Stiffness) คงที่และมีค่าความชันในช่วงดังกล่าวใกล้เคียงกันทั้งในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีต

ร้าว สำหรับในช่วงการแข็งตัวลด (Softening) จะมีแนวโน้มการลดลงของแรงดึงถอนในรูปแบบเดียวกัน โดยอัตราการลดลงของแรงดึงถอนในกรณีกำลังยึดหน่วงมีค่ามากจะลดลงช้ากว่ากรณีกำลังยึดหน่วงมีค่าน้อยทั้งในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวและกรณีคอนกรีตร้าว



(a) Uncracked concrete



(b) Cracked concrete

Figure 3 Load-Displacement curve of 16 mm adhesive anchor in uncracked and cracked concrete for various bond strength

หากเปรียบเทียบกับระหว่างกรณีคอนกรีตไม่ร้าวกับกรณีคอนกรีตร้าว ที่มีกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวเท่ากัน จะพบว่าค่าความแกร่งในช่วงแรกจะใกล้เคียงกันโดยกรณีคอนกรีตร้าวจะมีค่าลดลงเล็กน้อย (ความชันลดลง) ส่วนในช่วงการแข็งตัวลดในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวจะมีอัตราการลดลงของแรงดึงถอนมากกว่ากรณีคอนกรีตร้าวในทุกค่าของกำลังยึดหน่วงที่เปลี่ยนแปลงไป

ส่วนผลกระทบของรอยร้าวต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดจะพบว่าเมื่อกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8, 12 และ 16 เมกะปาสคาล อัตราส่วนของค่าแรงดึงถอนสูงสุดในคอนกรีตร้าวกับคอนกรีตไม่ร้าวจะเป็น 0.79, 0.77 และ 0.76 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังแสดงใน (Figure 4)

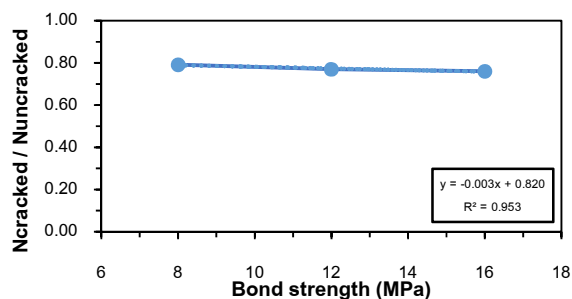


Figure 4 Ratio of Peak load in cracked to uncracked concrete of 16 mm diameter adhesive anchors for various bond strength

การเพิ่มขึ้นของกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าวเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม สารยึดเหนี่ยวที่มีกำลังยึดหน่วงมีค่าสูงจะมีอัตราการคลายแรงในช่วงเชิงตัวลดต่ำกว่าสารยึดเหนี่ยวที่มีกำลังยึดหน่วงต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะการกระจายของหน่วยแรงหลักสูงสุด (Maximum principle stress) ในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวจะมีการกระจายแบบสม่ำเสมอโดยรอบในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอน ส่วนในกรณีคอนกรีตร้าวจะมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ (Figure 5) โดยจะมีความเข้มข้นของหน่วยแรงหลักสูงในระนาบไม่ร้าว และลดลงเมื่อเข้าใกล้ระนาบร้าว ความเข้มข้นของหน่วยแรงหลักบริเวณหน้าตัดร้าวกับหน้าตัดไม่ร้าวจะใกล้เคียงกันบริเวณช่วงกลางถึงช่วงปลายระยะฝังยึด และจะลดลงในระนาบร้าวเมื่อเข้าใกล้ผิวบนของแบบจำลองคอนกรีต ความไม่สม่ำเสมอของหน่วยแรงหลักในคอนกรีตส่งผลให้ประสิทธิภาพการต้านทานแรงดึงถอนของคอนกรีตลดลงในคอนกรีตร้าว

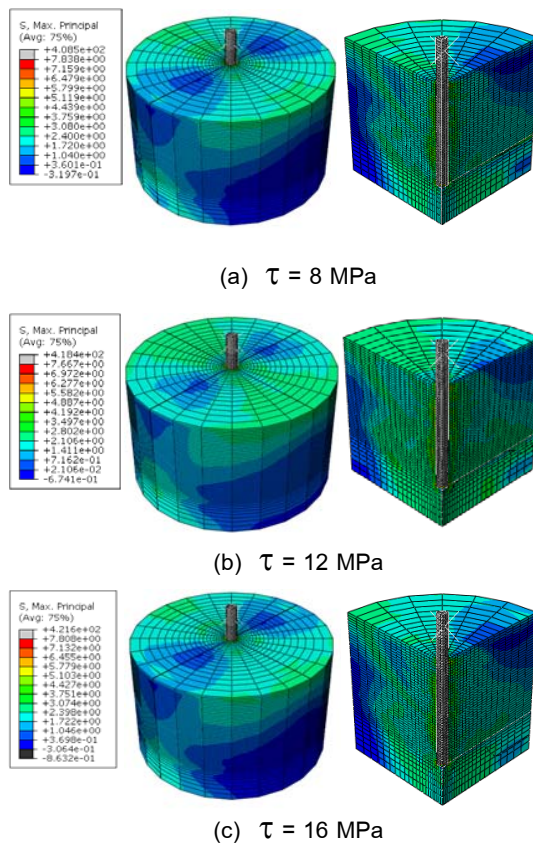


Figure 5 Maximum principle stress at peak load for various bond strength

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น ลักษณะการกระจายของหน่วยแรงหลักมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดในคอนกรีตร้าวที่เปลี่ยนแปลงน้อยเช่นกัน

ลักษณะการวิบัติของเอลิเมนต์เชื่อมยึดใน (Figure 6) จะพบว่าเริ่มเกิดการสูญเสียความแข็งแรงเมื่อแรงดึงถอนมีค่าถึงจุดสูงสุด และความแข็งแรงในเอลิเมนต์เชื่อมยึดจะลดลงจนเมื่อเอลิเมนต์เชื่อมยึดแสดงแถบสีแดง แสดงว่าเกิดการสูญเสียความแข็งแรงเกือบสมบูรณ์ ($0.95 < \text{SDEG} < 1$) แสดงถึงการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวในบริเวณดังกล่าว จนค่าการแยก (Separation) ถึงพิกัดค่าการยึดตัวที่จุดสูงสุดของสารยึดเหนี่ยวที่กำหนดไว้ให้เอลิเมนต์ลบตัวเอง (Deletion) แสดงว่าเกิดการสูญเสียความแข็งแรงโดยสมบูรณ์ ($\text{SDEG} = 1$) ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะต่อเนื่องกับบริเวณที่เอลิเมนต์คอนกรีตเกิดการสูญเสียความแข็งแรงโดยสมบูรณ์เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เอลิเมนต์เกิดการลบตัวเป็นบริเวณเดียวกับที่เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตที่ผิวรูละเอียด

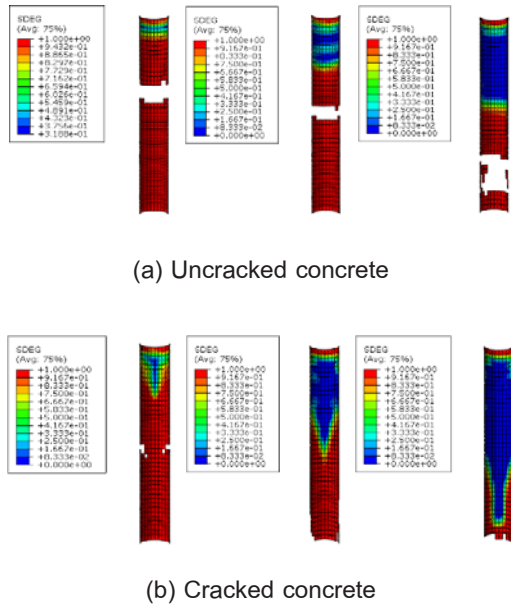


Figure 6 Stiffness degradation on cohesive elements for various bond strength

จะเห็นได้ว่าเอลิเมนต์ที่ถูกลบของเอลิเมนต์ที่เชื่อมยึดในคอนกรีตไม่ร้าวจะมีตำแหน่งลึกลงและบริเวณที่สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวน้อยลงเมื่อกำลังยึดหน่วงมีค่ามากขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวต่อผิวสัมผัสของคอนกรีตที่ดีขึ้น ทำให้เกิดรูปแบบการวิบัติร่วมระหว่างการวิบัติของคอนกรีตเป็นรูปกรวยกับการวิบัติจากการยึดหน่วงที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต โดยกรวยคอนกรีตจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อกำลังยึดหน่วงมีค่ามากขึ้น สังเกตได้จากตำแหน่งเอลิเมนต์ที่ถูกลบใน (Figure 6a) ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับเอลิเมนต์คอนกรีตที่เกิดการแตกร้าวที่ผิวของรูเจาะ

ส่วนในคอนกรีตร้าวจะพบว่าการสูญเสียความแข็งแรงจะลดลงเมื่อกำลังยึดหน่วงมีค่ามากขึ้น (Figure 6b) เอลิเมนต์ที่ถูกลบจะเกิดขึ้นน้อยกว่าในคอนกรีตไม่ร้าวและมีตำแหน่งลึกลงตามกำลังยึดหน่วงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นหากเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตไม่ร้าวกับคอนกรีตร้าวจะพบว่า การวิบัติที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตลดลงในคอนกรีตร้าว พบการแตกร้าวที่ผิวรูจะเกิดขึ้นเล็กน้อยที่บริเวณช่วงกลางและช่วงปลายระยะฝังยึด เมื่อกำลังยึดหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้น

โดยเมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของหน่วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอในกรณีคอนกรีตร้าว ทั้งในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอนและระนาบขนานกับแนวแรงดึงถอน จะพบว่าผลกระทบที่ทำให้เกิดการกระจายของหน่วยแรงหลักในลักษณะดังกล่าวเกิดจากการขยายตัวของความกว้างรอยร้าว ซึ่งความ

กว้างของรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังยึดหน่วงของสารยึดเหนี่ยวมีค่ามากขึ้น และจะมีความกว้างมากที่สุดที่ผิวบนของแท่งคอนกรีต และจะลดลงตามระยะฝังยึดที่เพิ่มขึ้นดังใน (Figure 7)

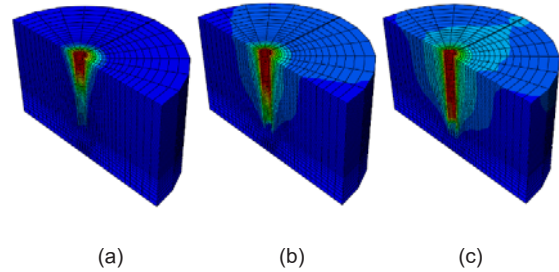


Figure 7 Expansion of the cracked width
(a) $\tau=8$ MPa (b) $\tau=12$ MPa (c) $\tau=16$ MPa

ดังนั้นการขยายตัวของรอยร้าวจึงเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวลดลง เนื่องจากการขยายตัวของรอยร้าวทำให้เกิดการคลายความเคียดขึ้นในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความเค้นลดลง นำไปสู่กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบลดลงด้วย แต่การลดลงของแรงดึงถอนจะไม่เกิดแบบฉับพลันเพราะการลดลงของกำลังเกิดจากการคลายความเคียดในคอนกรีต ดังนั้นจึงทำให้กราฟความสัมพันธ์ในช่วงเชิงตัวลดในกรณีคอนกรีตร้าว มีอัตราการลดลงช้ากว่ากรณีคอนกรีตไม่ร้าว ที่เกิดการวิบัติจากการยึดหน่วงและการวิบัติของคอนกรีตรูปกรวยเป็นส่วนใหญ่

ผลการศึกษาตัวแปรด้านความยาวระยะฝังยึด

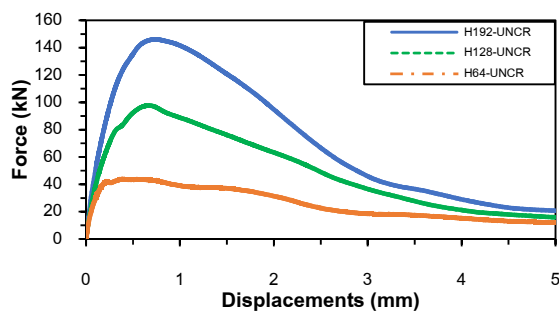
ความสัมพันธ์ของแรงดึงถอนและการเคลื่อนที่ที่ปลายสมอยึดเมื่อความยาวระยะฝังยึดมีค่าแตกต่างกันแสดงใน (Figure 8a) ในกรณีคอนกรีตไม่ร้าว และใน (Figure 8b) ในกรณีคอนกรีตร้าว

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวระยะฝังยึดมีค่ามากขึ้น กำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวจะมากขึ้นทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอื่น

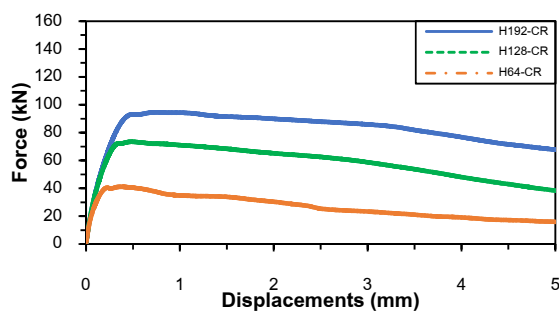
หากเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแรงดึงถอนและการเคลื่อนที่ที่ปลายสมอยึดระหว่างกรณีคอนกรีตไม่ร้าวกับกรณีคอนกรีตร้าวที่มีความยาวระยะฝังยึดเท่ากัน จะพบว่าความแข็งแรงของระบบจะใกล้เคียงกันเมื่อระยะฝังยึดมีค่าน้อย แต่ความแข็งแรงในกรณีคอนกรีตร้าวจะลดลงเมื่อระยะฝังยึดมีค่ามากขึ้น ส่วนในช่วงการเชิงตัวลดจะมีอัตราการคลายแรงใกล้เคียงกันเมื่อความยาวระยะฝังยึดมีค่าน้อย แต่เมื่อความยาว

ระยะฝังยัดมีค่ามากขึ้นอัตราการคลายแรงจะมากขึ้นในกรณีคอนกรีตไม่ร้าว

ผลกระทบของรอยร้าวต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดเมื่อความยาวระยะฝังยัดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 64, 128 และ 192 มิลลิเมตร พบว่าอัตราส่วนของค่าแรงดึงถอนสูงสุดในคอนกรีตร้าวกับคอนกรีตไม่ร้าวจะมีสัดส่วนเป็น 0.94, 0.75 และ 0.65 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของการแตกร้าวในคอนกรีตจะส่งผลมากขึ้นเมื่อระยะฝังยัดมีค่ามากขึ้น



(a) Uncracked concrete



(b) Cracked concrete

Figure 8 Load-Displacement curve of 16 mm adhesive anchor in uncracked and cracked concrete for various embedment depth

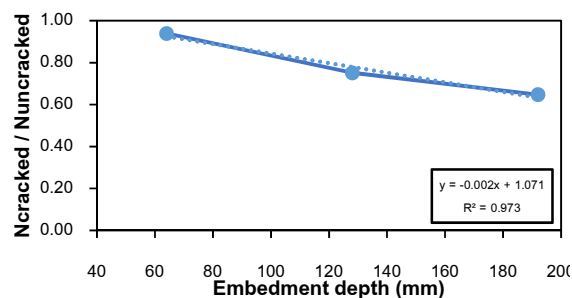
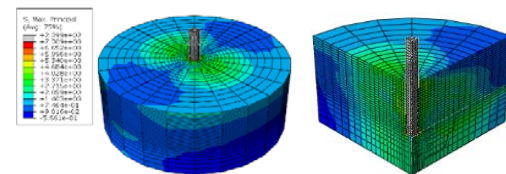


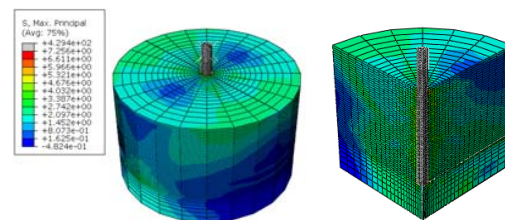
Figure 9 Ratio of Peak load in cracked to uncracked concrete of 16 mm diameter adhesive anchors for various embedment depth

ใน (Figure 9) ได้แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดึงถอนสูงสุดในคอนกรีตร้าวกับคอนกรีตไม่ร้าว และความยาวระยะฝังยัด ซึ่งจะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการศึกษาในตัวแปรกำลังยึดหน่วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรอยร้าวที่เพิ่มขึ้นมากกว่า เมื่อความยาวระยะฝังยัดมีค่ามากขึ้น

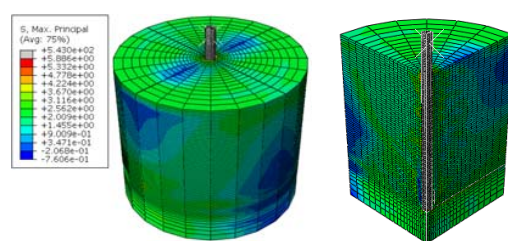
เมื่อพิจารณาการกระจายของหน่วยแรงหลักในเอลิเมนต์คอนกรีตจะพบว่า ในกรณีคอนกรีตไม่ร้าว ลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรงหลักจะมีความสม่ำเสมอโดยรอบ ในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอน ในทุกความยาวระยะฝังยัด ส่วนในกรณีคอนกรีตร้าวจะพบว่า การกระจายของหน่วยแรงหลักขณะที่แรงดึงถอนมีค่าสูงสุดจะไม่สม่ำเสมอแสดงใน (Figure 10)



(a) H = 64 mm



(b) H = 128 mm



(c) H = 192 mm

Figure 10 Maximum principle stress at peak load for various embedment depth

เมื่อความยาวระยะฝังยัดเพิ่มขึ้น การกระจายของหน่วยแรงหลักในเอลิเมนต์คอนกรีตร้าวจะกว้างขึ้น ดังนั้นความไม่ต่อเนื่องของคอนกรีตที่เกิดจากการแตกร้าวทำให้การส่งถ่ายแรงในเอลิเมนต์คอนกรีตไม่สมบูรณ์ กำลังต้านทานแรงดึงถอนของคอนกรีตร้าวจึงลดลง โดยยิ่งระยะการร้าวมีพื้นที่มากขึ้นตามระยะฝังยัดที่เพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบมากขึ้น

เมื่อพิจารณาการกระจายของหน่วยแรงหลักใน (Figure 10a-c) จะเห็นได้ว่า ความเข้มของหน่วยแรงหลักจะสูงบริเวณหน้าตัดไม้ร้าวและจะลดลงเมื่อเข้าใกล้หน้าตัดร้าว โดยในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอนความเข้มของหน่วยแรงหลักจะลดลงเมื่อเข้าใกล้ระนาบร้าว และในระนาบขนานกับแนวแรงดึงถอนจะลดลงเมื่อเข้าใกล้ขอบบนสุดริมนอกของคอนกรีต ในทุกระยะฝังยึด

นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่า บริเวณที่ความเข้มของหน่วยแรงลดลงในระนาบร้าวจะมีความลึกใกล้เคียงกันในทุกความยาวระยะฝังยึด แสดงให้เห็นว่าการแตกร้าวบริเวณใกล้ผิวด้านบนคอนกรีตจะส่งผลกระทบต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนมากกว่าการแตกร้าวบริเวณปลายล่างระยะฝังยึด

เมื่อแรงดึงถอนมีค่าสูงสุด ความแกร่งในเอลิเมนต์เชื่อมยึดจะลดลง จนค่าการแยกถึงพิกัดสูงสุดของการยึดตัวสูงสุดของสารยึดเหนี่ยว ที่กำหนดไว้ให้เอลิเมนต์เชื่อมยึดลบตัวเอง ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับที่เกิดการแตกร้าวที่ผิวรูเจาะในกรณีคอนกรีตไม้ร้าวเอลิเมนต์ที่ถูกกลบจะมีตำแหน่งห่างจากปลายล่างมากขึ้นเมื่อความยาวระยะฝังยึดเพิ่มขึ้น ใน (Figure 11a) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการวิบัติที่เปลี่ยนจากการวิบัติของคอนกรีตรูปกรวยเมื่อระยะฝังยึดมีค่า 4·d เป็นการวิบัติร่วมจากการยึดหน่วงกับการวิบัติของคอนกรีตรูปกรวยเมื่อระยะฝังยึดมีค่ามากขึ้นเป็น 8·d และ 12·d ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Eligehausen, R., Cook, R.A. and Appl, J. (2006)¹¹ ส่วนในกรณีคอนกรีตร้าว เอลิเมนต์ที่ถูกกลบจะเกิดขึ้นน้อยกว่าในคอนกรีตไม้ร้าวและเกิดขึ้นบริเวณปลายล่างสุดของระยะฝังยึดใน (Figure 11b) แสดงให้เห็นว่าผลของการร้าวในคอนกรีตทำให้รูปแบบการวิบัติเปลี่ยนแปลงไป

ดังนั้น หากเปรียบเทียบระหว่างกรณีคอนกรีตไม้ร้าวกับกรณีคอนกรีตร้าวจะพบว่า การวิบัติที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยลงในกรณีคอนกรีตร้าว รูปแบบการวิบัติจะแตกต่างจากกรณีคอนกรีตไม้ร้าวโดยสิ้นเชิง จะพบการแตกร้าวเกิดขึ้นในคอนกรีตที่บริเวณปลายระยะฝังยึดใกล้ผิวรูเจาะ

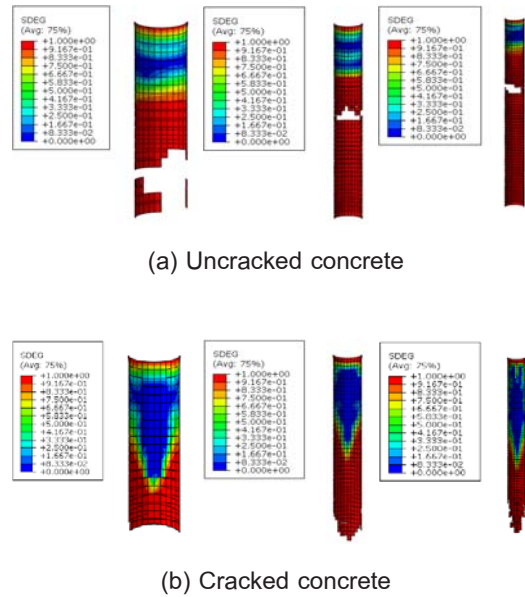


Figure 11 Stiffness degradation on cohesive elements for various embedment depth

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการขยายตัวเพิ่มขึ้นของรอยร้าว เมื่อความยาวระยะฝังยึดมีค่ามากขึ้น (Figure 12) โดยความกว้างของรอยร้าวจะขยายตัวมากที่สุดที่ผิวบนของแท่งคอนกรีตและจะลดลงตามความลึกที่มากขึ้น และจะสังเกตเห็นว่าการขยายตัวของรอยร้าวมีน้อยมากในแบบจำลองที่มีความยาวระยะฝังยึดมีค่าน้อย ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดแตกต่างจากกรณีคอนกรีตไม้ร้าวไม่มากนัก แต่ในแบบจำลองที่มีความยาวระยะฝังยึดมีค่ามาก การขยายตัวของรอยร้าวจะปรากฏเด่นชัด และส่งผลให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดแตกต่างจากกรณีคอนกรีตไม้ร้าวมาก

ดังนั้นการขยายตัวของรอยร้าวจึงเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวลดลง เนื่องจากการขยายตัวของรอยร้าวทำให้เกิดการคลายความเครียดขึ้นในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความเค้นลดลง นำไปสู่กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบลดลงด้วย

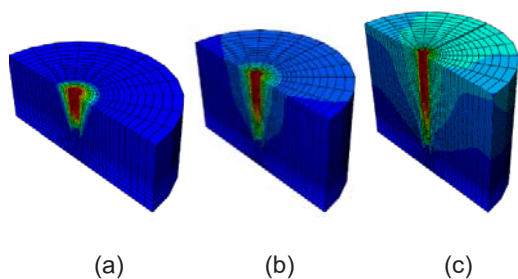


Figure 12 Expansion of the cracked width

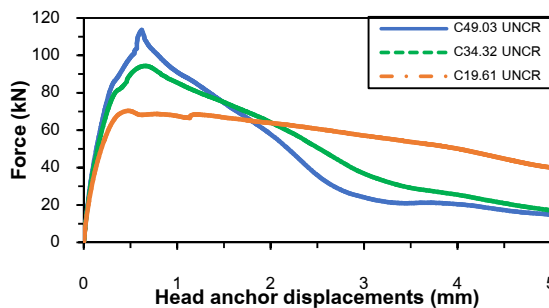
(a) H=64 mm (b) H=128 mm (c) H=192 mm

ผลการศึกษาตัวแปรด้านกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

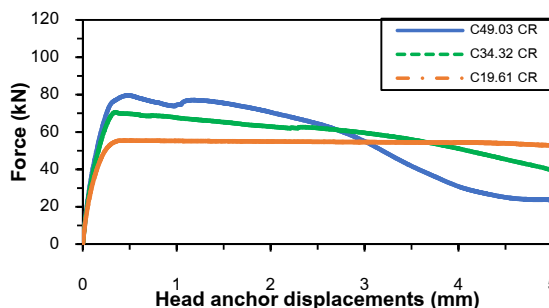
กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการวิบัติของคอนกรีตรูปกรวย และการวิบัติร่วมจากการยึดหน่วงกับการวิบัติของคอนกรีตรูปกรวย ความสัมพันธ์ของแรงดึงถอนและการเคลื่อนที่ที่ปลายสมอยึดเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าแตกต่างกันแสดงใน (Figure 13a) ในกรณีคอนกรีตไม่ร้าว และใน (Figure 13b) ในกรณีคอนกรีตร้าว

จากการศึกษาแบบจำลองพบว่า เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้น กำลังยึดหน่วงของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวจะเพิ่มขึ้นทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและในคอนกรีตร้าว โดยเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตในกรณีคอนกรีตไม่ร้าวมีค่า 19.61, 34.32 และ 49.03 เมกะปาสคาล แรงดึงถอนสูงสุดจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 1, 1.34 และ 1.61 เท่าของกำลังอัดประลัยค่าต่ำสุด ตามลำดับ

ส่วนในกรณีคอนกรีตร้าว แรงดึงถอนสูงสุดจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 1, 1.27 และ 1.43 เท่าของกำลังอัดประลัยค่าต่ำสุด ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังต้านทานแรงดึงถอนในกรณีคอนกรีตร้าวจะลดลงเมื่อเทียบกับกรณีคอนกรีตไม่ร้าว นอกจากนี้ยังพบว่า หากพิจารณาความชันของกราฟในช่วงก่อนจุดสูงสุดของแรงดึงถอนจะพบว่า ความแกร่งของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น ทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว



(a) Uncracked concrete



(b) Cracked concrete

Figure 13 Load-Displacement curve of 16 mm adhesive anchor in uncracked and cracked concrete for various concrete strength

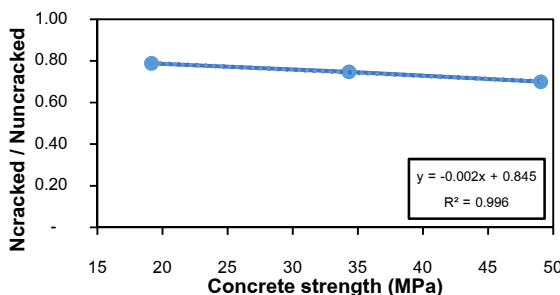
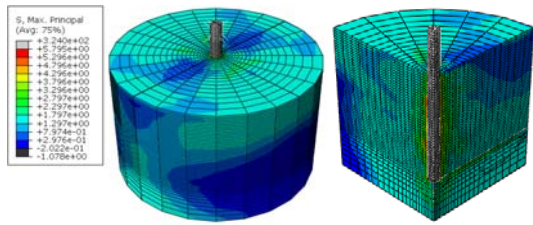


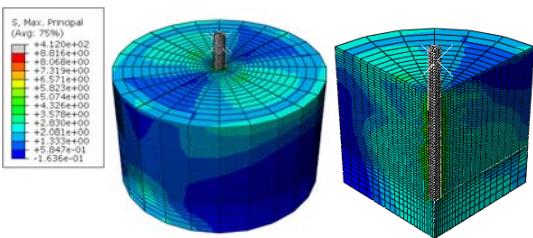
Figure 14 Ratio of Peak load in cracked to uncracked concrete of 16 mm diameter adhesive anchors for various concrete strength

เมื่อพิจารณา (Figure 14) จะพบว่าเมื่อกำลังอัด
ประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามค่า 19.61, 34.32 และ 49.03
เมกะปาสกาล อัตราส่วนแรงดึงถอนสูงสุดในคอนกรีตรัวกับ
คอนกรีตไม่รัวมีค่าเป็น 0.79, 0.75 และ 0.70 ตามลำดับ
ซึ่งมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าการแตกรัวในคอนกรีตส่ง
ผลกระทบต่อมากขึ้นเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น

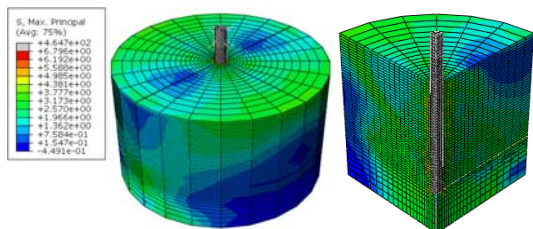
เมื่อพิจารณาการกระจายของหน่วยแรงหลักใน
เอลิเมนต์คอนกรีตในขณะที่แรงดึงถอนมีค่าสูงสุดจะพบว่า
การกระจายตัวของหน่วยแรงหลักในคอนกรีตไม่รัวจะสม่ำเสมอ
ในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอน ส่วนในกรณีคอนกรีตรัว
จะพบว่าการกระจายตัวของหน่วยแรงหลักในคอนกรีตไม่
สม่ำเสมอในทุกกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงไป ดัง
แสดงใน (Figure 15)



(a) $f'_c = 19.61$ MPa



(b) $f'_c = 34.32$ MPa

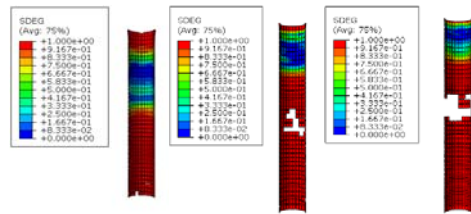


(c) $f'_c = 49.03$ MPa

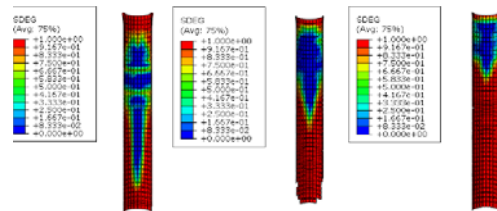
Figure 15 Maximum principle stress at peak load for various concrete strength

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อกำลังประลัยของคอนกรีตมี
ค่ามากขึ้น การกระจายตัวของหน่วยแรงหลักในเอลิเมนต์
คอนกรีตจะกว้างขึ้น อีกทั้งยังพบว่าความเข้มของหน่วยแรง
หลักจะสูงบริเวณหน้าตัดไม่รัวและจะลดลงเมื่อเข้าใกล้หน้า
ตัดรัว และในระนาบตั้งฉากกับแนวแรงดึงถอนความเข้มของ
หน่วยแรงหลักจะลดลงเมื่อเข้าใกล้ระนาบรัว และในระนาบ
ขนานกับแนวแรงดึงถอนจะลดลงเมื่อเข้าใกล้ขอบบนสุดริม
นอกของคอนกรีต โดยมีรูปแบบเหมือนกันในทุกกำลังอัด
ประลัยของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อพิจารณาการสูญเสียความแข็งแรงในเอลิเมนต์เชื่อม
ยึดในกรณีคอนกรีตไม่รัวใน (Figure 16a) พบว่า เอลิเมนต์ที่
สูญเสียความแข็งแรงโดยสมบูรณ์ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่ถูกกลบ จะมี
ตำแหน่งสูงขึ้นเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมากขึ้น และ
เป็นตำแหน่งเดียวกับเอลิเมนต์คอนกรีตที่เกิดการแตกรัวที่
ผิวรูเจาะ



(a) Uncracked concrete



(b) Cracked concrete

Figure 16 Stiffness degradation on cohesive elements for various concrete strength

แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการวิบัติของระบบฝังยึดแบบ
ใช้สารยึดเหนี่ยวของคอนกรีตไม่รัวในช่วงคอนกรีตกำลังต่ำ
จะมีลักษณะวิบัติของคอนกรีตรูปกรวย แต่เมื่อกำลังอัดประลัย
ของคอนกรีตอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง จะมีลักษณะการวิบัติ
เป็นแบบการวิบัติร่วมจากการยึดหน่วงและการวิบัติของ
คอนกรีตรูปกรวย

ส่วนในกรณีคอนกรีตรัวจะไม่ปรากฏเอลิเมนต์ที่ถูก
กลบในคอนกรีตกำลังต่ำและสูง แต่จะมีเอลิเมนต์ที่ถูกกลบบริเวณ
ปลายล่างสุดของระยะฝังยึดในคอนกรีตกำลังปานกลางถึงใน

(Figure 16b) แสดงให้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวเกิดการแตกร้าวขึ้นเล็กน้อยที่ปลายระยะฝังยึดในเอลิเมนต์คอนกรีต ซึ่งเมื่อพิจารณาภาพรวมจะพบว่า เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้น การแตกร้าวในคอนกรีตจะส่งผลต่อรูปแบบการวิบัติและกำลังต้านทานแรงดึงถอนสูงสุดมากขึ้น

ดังนั้น หากเปรียบเทียบระหว่างกรณีคอนกรีตไม่ร้าวกับกรณีคอนกรีตร้าวจะพบว่า การวิบัติที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยลงในกรณีคอนกรีตร้าว โดยบริเวณที่เกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวจะเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น การขยายตัวของความกว้างรอยร้าวจะลดลงดังแสดงใน (Figure 17) โดยความกว้างของรอยร้าวจะขยายตัวมากที่สุดที่ผิวบนของแท่งคอนกรีตและจะลดลงตามความลึกที่มากขึ้น

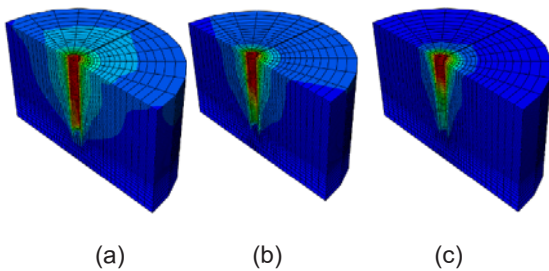


Figure 17 Expansion of the cracked width

(a) $f'_c = 19.61$ MPa (b) $f'_c = 34.32$ MPa
(c) $f'_c = 49.03$ MPa

แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าต่ำ การวิบัติจะเกิดจากการขยายตัวของรอยร้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น รูปแบบการวิบัติจะเปลี่ยนเป็นการวิบัติจากการยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวเป็นส่วนใหญ่ และพบการแตกร้าวในคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยลง แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของความกว้างรอยร้าวมีโซปปัจจัยหลักที่ทำให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดลดลงเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น ดังนั้นสาเหตุที่ผลกระทบของรอยร้าวในคอนกรีตมีมากขึ้นเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยสูงขึ้น เกิดจากการสูญเสียการยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้น

สรุปผล

ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกำลังและพฤติกรรมของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและคอนกรีตร้าว

จะพบว่า

ตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวเรียงตามลำดับความสำคัญได้แก่ ความยาวระยะฝังยึด กำลังอัดของคอนกรีต และกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยว ตามลำดับ ทั้งในคอนกรีตไม่ร้าวและในคอนกรีตร้าว

ผลของรอยร้าวในคอนกรีตทำให้กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวลดลงจากกรณีคอนกรีตไม่ร้าวในสัดส่วน 0.79-0.76 เมื่อกำลังยึดเหนี่ยวของสารยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นในช่วง 8-16 เมกะปาสคาล ผลกระทบจากรอยร้าวในคอนกรีตมีมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อกำลังยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวของรอยร้าวในคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่

เมื่อความยาวระยะฝังยึดเพิ่มขึ้น กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวจะลดลงจากกรณีคอนกรีตไม่ร้าวในสัดส่วน 0.94, 0.75 และ 0.65 เมื่อความยาวระยะฝังยึดเพิ่มขึ้นเป็น 64, 128 และ 192 มิลลิเมตร ตามลำดับผลกระทบของการแตกร้าวในคอนกรีตจะมากขึ้นเมื่อความยาวระยะฝังยึดมีค่ามากขึ้น พบการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวน้อยลงแต่ความกว้างรอยร้าวมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามระยะฝังยึดที่มากขึ้น

เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้น กำลังต้านทานแรงดึงถอนของระบบฝังยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวจะลดลงจากกรณีคอนกรีตไม่ร้าวในสัดส่วน 0.79, 0.75 และ 0.70 เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเป็น 19.61, 34.32 และ 49.03 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยการแตกร้าวในคอนกรีตจะส่งผลกระทบมากขึ้นเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับสารยึดเหนี่ยวเป็นส่วนใหญ่

เอกสารอ้างอิง

1. ภาคิน ลอยเจริญ, เกียรติศักดิ์ แก้วกุลชัย และ กิตติศักดิ์ ชันติยวิชัย. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการประเมินกำลังและพฤติกรรมกราววิบัติของสมอยึดแบบใช้สารยึดเหนี่ยวในคอนกรีตร้าวและไม่ร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2019. (Under review)
2. Krishnamurthy, K. Development of a Viscoplastic Consistent Tangent FEM Model with Applications to Adhesive Bonded Anchors. PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Florida;

- 1996.
3. Meszaros, J. Tragverhalten von Einzelverbunddübeln unter zentrischer Kurzzeitbelastung. Dissertation in Vorbereitung, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart; 2002.
 4. Eligehausen, R., Mallee, R. and Silva, J. Anchorage in Concrete Construction. First edition. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published; 2006.
 5. Cook, R.A. and Konz, R.C. Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors. *ACI Structural Journal*. 2001;98(1): 76-86.
 6. Todd Marshall Davis. Sustained Load Performance of Adhesive Anchor System in Concrete. Doctor's Thesis: University of Florida; 2012.
 7. ACI Committee 318-11. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Detroit, MI, USA. 2011: 417-463.
 8. Carreira D.J. and Chu, K.H. Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression. *ACI Journal*. 1985; 82-72: 797-804.
 9. Carreira D.J. and Chu, K.H. Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Tension. *ACI Journal*. 1986; 83-3: 21-28.
 10. Hilti Co, Ltd. Hilti Anchor Systems. <http://www.hilti.co.th>. Accessed 14 February 2017. (in Thai)
 11. Eligehausen, R., Cook, R.A. and Appl, J. Behavior and Design of Adhesive Bonded Anchors. *ACI Structural Journal*. 2006;103-S83: 822-831.

ผลของสารอินทรีย์ธรรมชาติและโลหะหนักต่อการย่อยสลายไดโคฟอลด้วยแลคเคสในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

Effects of Natural Organic Matter and Heavy Metals on the Degradation of Dicofol by Laccase in a Membrane Bioreactor

อภิญา อ่อนสาร, กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา*

Apinya Onsarn, Karnika Ratanapongleka*

Received: 12 March 2019 ; Revised: 24 May 2019 ; Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดไดโคฟอลด้วยแลคเคสจาก *Lentinus polychrous* Lev. ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ซึ่งมีการเติมสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารละลายโลหะหนัก (เหล็กและแมงกานีส) ที่ความเข้มข้น 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไดโคฟอล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแลคเคส 4.32 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร ค่าพีเอช 7 และอุณหภูมิที่ 28 ± 3 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไดโคฟอลในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ที่เวลา 240 นาที พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติและเหล็กสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง โดยที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติและเหล็กสูงสุดที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดไดโคฟอลเพียง 72 และ 83% ตามลำดับ ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของแมงกานีส พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไดโคฟอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของแมงกานีสทุกความเข้มข้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไดโคฟอลได้เท่ากับ 100% และประสิทธิภาพการกำจัดไดโคฟอลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนให้ประสิทธิภาพการกำจัดไม่ต่ำกว่า 80% ที่เวลา 480 นาที ในทุกสภาวะ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการนำเอนไซม์แลคเคสมาประยุกต์ใช้สำหรับกำจัดไดโคฟอลในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ไดโคฟอล, แลคเคส, ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน, สารอินทรีย์ธรรมชาติ, โลหะหนัก

Abstract

The objective of this research was to investigate dicofol removal by laccase from *Lentinus polychrous* Lev. in a membrane bioreactor with addition of natural organic matter (NOM) and heavy metals solutions (iron and manganese) at concentration 0-50 mg/l, dicofol concentration 1 mg/l, laccase concentration 4.32 U/ml, pH 7 and temperature at 28 ± 3 °C. Based on the results of the dicofol removal efficiency in the membrane bioreactor system at 240 minutes, it was found that increasing the concentration of natural organic matter and iron solution caused a decrease in removal efficiency. At maximum NOM or iron concentrations of 50 mg/l the dicofol removal efficiency was only 72 and 83%, respectively. Increasing the concentration of manganese, increased the efficiency of dicofol removal. The efficiency of dicofol removal was 100% at all manganese concentration and the efficiency of dicofol removal in the membrane bioreactor was not less than 80% at 480 minutes in all conditions. This study indicates a good potential for application of laccase for dicofol removal in a membrane bioreactor.

Keywords: dicofol, laccase, membrane bioreactor, natural organic matter, heavy metals

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Doctoral student, Assist. Prof., Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

E-mail: apinya.on.58@ubu.ac.th, karnika.r@ubu.ac.th* Tel : 045-3533342

บทนำ

ไดโคฟอล (Dicofol; DCF) มีสูตรเคมีคือ $C_{14}H_9Cl_5O$ เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูของพืช เช่น หนอน เพลี้ย แมลง รวมถึงวัชพืช เป็นต้น ซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มของเกษตรกร โดยการฉีดพ่นทางใบของต้นพืช โดยสามารถใช้ได้กับพืชเกือบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นพืชไร่ พืชสวน ผักและผลไม้ต่าง ๆ และไม้ดอกไม้ประดับ และด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ไดโคฟอลเป็นที่นิยมใช้ในภาคการเกษตรเป็นอย่างมาก ปัจจุบันมีมากกว่า 30 ประเทศทั่วโลกใช้สารไดโคฟอลหรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของไดโคฟอลอยู่ และพบว่าใช้ในพืชมากกว่า 60 ชนิด ซึ่งทำให้ปริมาณความต้องการใช้สารไดโคฟอลทั่วโลกเพิ่มขึ้น จึงทำให้ในระหว่างปีพ.ศ. 2544-2556 ประเทศจีนมีการผลิตไดโคฟอลประมาณ 5,500 ตันต่อปี และมีปริมาณการใช้ไดโคฟอลทั่วโลกประมาณ 2,750 ตันต่อปี ซึ่งการใช้สารเคมีดังกล่าวของกลุ่มเกษตรกรจะทำให้เกิดการสะสมหรือการตกค้างของสารเหล่านี้ในระบบสิ่งแวดล้อมทั่วไป รูปแบบการได้รับพิษของไดโคฟอลมีด้วยกัน 3 ทาง ได้แก่ ทางปาก ผิวหนัง และการหายใจ โดยอาการหลังได้รับพิษ หากสัมผัสจะมีอาการระคายเคืองบริเวณที่สัมผัสและเกิดผดผื่น หากเข้าตาจะทำให้เยื่อตาอักเสบได้ และเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยการดื่ม กิน หรือหายใจ จะทำให้เกิดการกระตุ้นไซโตไคน์ไหลเข้าเซลล์ได้มากกว่าปกติ ทำให้ไปกระตุ้นกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของร่างกาย เกิดอาการเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง รวมถึงเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้² จากตัวอย่างต่อสุขภาพมนุษย์ที่กล่าวมาองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐ หรือ US.PEA จึงจัดให้สารไดโคฟอลมีความเป็นพิษอยู่ในระดับ 2 หมายถึงเป็นสารที่อันตรายที่มีความเป็นพิษสูงในระดับปานกลาง³ ขณะที่ทางสหภาพยุโรปได้กำหนดให้มีไดโคฟอลปนเปื้อนในน้ำดื่มไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร⁴ ปัจจุบันพบว่ามีการนำเอนไซม์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดสารปนเปื้อนที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษสูง โดยเฉพาะสารในกลุ่มของอะโรมาติก นอกจากนี้ยังง่ายต่อการจัดการและเก็บรักษา สามารถทำงานในสภาวะที่มีสารพิษปนเปื้อนได้ และทำงานได้เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลง เช่น พีเอช อุณหภูมิ ค่าความเค็ม รวมถึงเอนไซม์ยังสามารถเปลี่ยนรูปสารพิษให้อยู่ในรูปสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ได้น้อยที่สุดได้⁵

เอนไซม์แลคเคส (Benzenediol: oxygenoxidoreductase; EC 1.10.32) พบได้ทั่วไปในเชื้อราพวกไวท์รอต (White-rot fungi) พืชชั้นสูง แมลงบางชนิดและแบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งแลคเคสจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเทส

โดยสามารถย่อยสลายสารพิษได้หลากหลาย เช่น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ฟีนอล อะมิโนฟีนอล อะโรมาติก เอมีน สีย้อม และสารกำจัดแมลงบางชนิด เช่น DDE DEET เป็นต้น⁶⁻⁷ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเอนไซม์ชนิดอื่นๆแล้ว แลคเคสเป็นเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นน้อย จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยแหล่งเอนไซม์แลคเคสที่ใช้ในการศึกษานี้มาจาก *Lentinus polychrous* Lev. ซึ่งรู้จักกันในชื่อของเห็ดขอนดำ เห็ดลม หรือเห็ดบด จัดเป็นเชื้อราในกลุ่มไวท์รอตชนิดที่สร้างเอนไซม์แลคเคสแล้วขับออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme)

นอกจากนี้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป ไม่ได้มีเฉพาะการปนเปื้อนของยาฆ่าแมลงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากการสำรวจในน้ำผิวดินยังพบสารอินทรีย์ธรรมชาติ หรือ NOM ซึ่งเกิดจากซากผลิตภัณฑ์ของเสียในธรรมชาติที่มีองค์ประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจนและไฮโดรเจน เป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มโลหะหนักจำพวกเหล็กและแมงกานีส ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่พบได้มากในธรรมชาติ สำหรับปริมาณของ NOM พบว่ามีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเหล็กและแมงกานีสที่พบอยู่ในช่วง 5-14 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.3-1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ [8] ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาร่วมกับปัจจัยข้างต้น เพื่อให้มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมจริง ซึ่งผลกระทบของเหล็กและแมงกานีสอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของไดโคฟอลด้วยเอนไซม์แลคเคส จากรายงานการศึกษาของ Zhai และคณะ (2015)⁹ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ระดับไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้เอนไซม์เซลล์สามารถย่อยสลายไดโคฟอลได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้นอกจากจะพิจารณาถึงความสามารถในการย่อยสลายสารกำจัดแมลงชนิดไดโคฟอลด้วยแลคเคสแล้ว ยังศึกษาถึงผลของเหล็กและแมงกานีสที่พบอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติต่อการย่อยสลายสารดังกล่าว จะทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผลการศึกษาสามารถจะนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้แลคเคสในรูปเอนไซม์อิสระ สามารถที่จะบำบัดสารพิษได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดแล้ว เอนไซม์ดังกล่าวจะถูกปล่อยทิ้งไปพร้อมกับน้ำที่ผ่านการบำบัด จึงทำให้สิ้นเปลืองการใช้เอนไซม์ในแง่ของค่าใช้จ่ายสำหรับการสกัดเอนไซม์ใหม่ และเพื่อเป็นการแก้ไขข้อเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการนำระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนมาใช้ โดยเป็นการผสมผสานระหว่างการแยกทางกายภาพด้วยเมมเบรน (Membrane separation) และกระบวนการทางชีวภาพในถังปฏิกรณ์ (Biological

process in reactor) ภายใต้กระบวนการนี้สารพิษต่างๆจะถูกลดลงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ส่วนน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดจะถูกแยกจากตัวเร่งชีวภาพออกด้วยระบบเมมเบรน ซึ่งการประยุกต์ใช้เมมเบรนส่วนใหญ่ในกระบวนการทางชีวภาพนิยมใช้เมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration; MF) และอัลตราฟิลเตรชัน(Ultrafiltration; UF) โดยที่ระบบเมมเบรนจะอาศัยการแยกสารหรืออนุภาคแบบคัดขนาด ซึ่งพบว่ากระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน มีขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร ใช้ในการแยกโมเลกุลขนาดใหญ่เช่นโปรตีน เอนไซม์ เซลล์จุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถใช้กระบวนการของอัลตราฟิลเตรชันมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเอนไซม์ ซึ่งข้อดีคือเพื่อทำหน้าที่กักเอนไซม์ไว้ในระบบ จึงทำให้มีเอนไซม์หมุนเวียนไว้ใช้ในระบบได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องเติมเอนไซม์ใหม่

ดังนั้นการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อย่อยสลายไดโคพอลด้วยเอนไซม์แลคเคสร่วมกับระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน โดยในการศึกษามุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายไดโคพอล รวมถึงในสภาวะตามธรรมชาติโดยทั่วไป ที่มีสาร NOM และสารกลุ่มโลหะหนักจำพวกเหล็กและแมงกานีส ซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายไดโคพอลด้วยแลคเคส และศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมมเบรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก่อนและหลังใช้งาน ผลจากการศึกษานี้สามารถชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการย่อยสลายไดโคพอลด้วยแลคเคส ที่ตกค้างในน้ำเสียในอนาคตได้

ระเบียบวิธีวิจัย

1. เอนไซม์และสารเคมี

เอนไซม์แลคเคสจาก *Lentinus polychous* Lev. ซึ่งได้จากโรงเพาะเห็ด จ.อุบลราชธานี และสารเคมีที่ใช้เช่น ผงไดโคพอลบริสุทธิ์, เมทานอล (เกรดวิเคราะห์ HPLC $\geq 99.9\%$), สารวิเคราะห์ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ABTS และไฮดรอน (II) คลอไรด์เตตระไฮเดรต ($\geq 99\%$) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา สารวิเคราะห์โปรตีนสำเร็จรูป (Bradford solution) จากบริษัท AppliChem ประเทศเยอรมัน และแมงกานีส (II) คลอไรด์เตตระไฮเดรต จากบริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

สารอินทรีย์ธรรมชาติได้จากหนองอีเจมส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จะถูกนำมาทำให้สารดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงขึ้นด้วยกระบวนการรีเวอร์ออสโมซิส ซึ่งก่อนเข้าระบบมีปริมาตรน้ำเท่ากับ 1,500 ลิตร และกำหนดให้หลังนำเข้าระบบมีปริมาตรน้ำคงเหลือเท่ากับ 30 ลิตร และเก็บน้ำตัวอย่างดังกล่าวไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ เครื่อง UV spectrophotometer (SHIMADZU UV1204, Japan) เครื่อง pH meter (Eutech pH 700 Meter, Singapore) เครื่อง HPLC (SHIMADZU CLASS-VP 10AVP, Japan) คอลัมน์ที่ใช้คือ C18 ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 7.8 x 300 mm (Vertisep OA 8 um HPLC) และเครื่อง AAS (PerkinElmer AAnalyst 200, U.S.)

แผ่นเยื่อกรองที่ใช้ผลิตจากบริษัท GE Water & Process Technologies เป็นแบบ Flat sheet membrane มีขนาดรูพรุน (MWCO) 20 KDa วัสดุที่ทำผลิตจาก Polyether-sulfone; PES มีขนาดพื้นที่ของเยื่อกรองเท่ากับ 191x 140 mm มีค่าความต้านทานแรงดันสูงสุดที่ 70 psi (483 kPa)

2. การกำจัดไดโคพอลด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

การศึกษากำจัดไดโคพอลด้วยเอนไซม์แลคเคสด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน แบบไหลตามขวาง โดยใช้เอนไซม์แลคเคสจาก *Lentinus polychous* Lev. น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากสารไดโคพอลบริสุทธิ์ จากนั้นทำการศึกษาโดยใช้ปริมาณเอนไซม์แลคเคสเริ่มต้นที่ 4.32 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของไดโคพอลที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เหล็กและแมงกานีสในช่วง 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ปริมาตรรวมในถังปฏิกรณ์เริ่มต้นเท่ากับ 12 ลิตร จากนั้นดำเนินการทดสอบและเก็บสารละลายในช่วงเวลา 0-480 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไดโคพอลคงเหลือในระบบ สำหรับเปอร์เซ็นต์การกำจัดไดโคพอลด้วยแลคเคส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Removal}(\%) = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ C_t คือความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3. การดำเนินระบบของชุดเยื่อกรองชนิดอัลตราฟิลเตรชัน

จาก Figure 1 เป็นการดำเนินระบบภายใต้การกรองแบบไหลขวาง (Cross flow) หรือเป็นแนวขนานกับแผ่นเยื่อกรอง โดยน้ำตัวอย่างจากถังฟีด (Feed tank) จะถูกปั๊มเข้าระบบโดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจาก pump (P_1) ผ่านเข้ามายังแผ่นเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งความดันที่ใช้ในระบบเท่ากับ 5 psig ในขณะที่น้ำส่วนที่ไม่ผ่านเยื่อกรองจะป้อนกลับ

หรือถูกส่งกลับมายังถังปฏิกิริยาโดยอาศัยแรงจาก pump (P₂) ซึ่งจะเรียกน้ำในส่วนนี้ว่า รีเทนเทท (Retentate) ส่วนน้ำที่ผ่านเมมเบรนไปได้ จะถูกเรียกว่า เพอมีเอท (Permeate) ซึ่งน้ำใน

ส่วนดังกล่าวจะถูกนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเหลือในระบบต่อไป

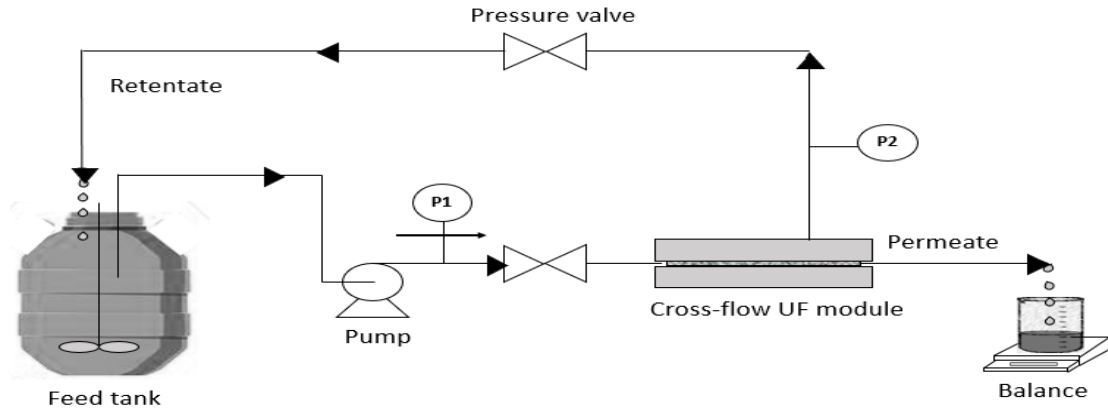


Figure 1 Ultrafiltration membrane bioreactor

4. การล้างแผ่นเยื่อกรอง

เมื่อดำเนินระบบจนถึงช่วงเวลาหนึ่ง ค่าฟลักซ์ที่ได้จะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการอุดตันของเยื่อกรอง (Fouling) ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของแผ่นเยื่อกรองดังนั้นจึงต้องทำความสะอาดเยื่อกรอง เพื่อให้ประสิทธิภาพของแผ่นเยื่อกรองกลับใกล้เคียงหรือเท่ากับแผ่นเยื่อกรองเริ่มต้น ซึ่งหลังดำเนินระบบเสร็จในแต่ละครั้ง เยื่อกรองชนิดอัลตราฟิลเตรชันจะถูกนำมาล้างด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี โดยอันดับแรกจะใช้น้ำปราศจากประจุในการล้างดำเนินระบบล้างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 10 น้ำปราศจากประจุและกรดซัลฟิวริก พีเอช 4 เป็นระยะเวลา 30 นาทีในแต่ละสารและล้างด้วยน้ำปราศจากประจุอีกครั้ง จากนั้นทำการวัดฟลักซ์ที่ความดันในช่วง 5-20 psig แผ่นเยื่อกรองหากยังไม่ได้ใช้ทันทีควรจัดเก็บไว้ในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงแบคทีเรียต่างๆที่อาจเกิดบนผิวของเยื่อกรอง

5. การตรวจวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานของแลคเคสตามวิธีของ⁹ โดยใช้ 2,2'-azino-bis(3-ethylthiazoline-6-sulfonate) (ABTS) เป็นสารสับสเตรท ผสมสารละลายตัวอย่างกับโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ และ ABTS จากนั้นเขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปแช่

ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และหยุดปฏิกิริยาด้วยกรดไตรคลอโรอะซิติก ที่ความเข้มข้น 80% โดยน้ำหนัก แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร โดย 1 ยูนิท ของเอนไซม์คือจำนวนของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นต่อนาที

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี¹⁰ โดยใช้ Bradford reagent สำเร็จรูป และใช้ Bovine serum albumin (BSA) เป็นโปรตีนมาตรฐาน เชื่อจางให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ จากนั้นนำสารตัวอย่าง ผสมกับ Bradford reagent 200 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากประจุ 700 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณไดโคพอลด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ C18 (7.8 x 300 มิลลิเมตร) ตามวิธีของ¹¹ โดยละลายไดโคพอลด้วยเมทานอล สำหรับโมบายเฟสที่ใช้เป็นเมทานอลต่อน้ำปราศจากประจุ ในอัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาณการฉีดตัวอย่างเท่ากับ 20 ไมโครลิตร อัตราการไหลของโมบายเฟสเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้เป็นอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อม และใช้ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 229 นาโนเมตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลของ NOM ที่มีต่อการสลายไดโคพอลด้วยเอนไซม์แลคเคส

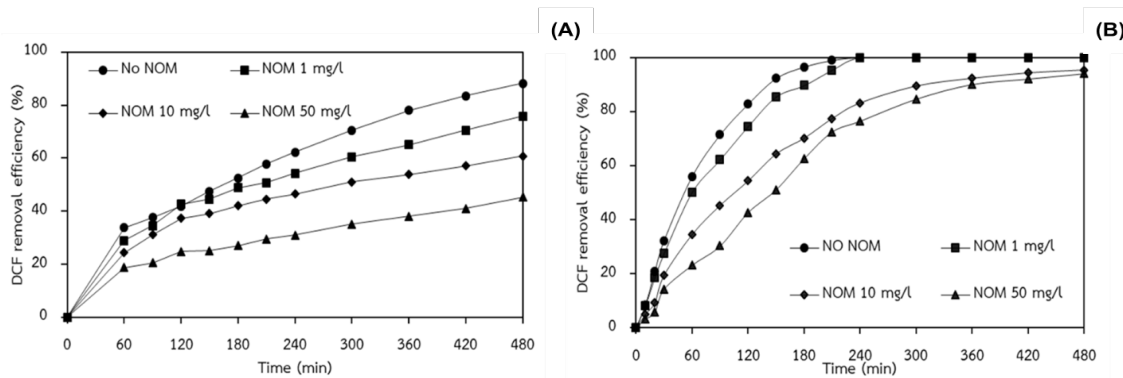


Figure 2 effect of NOM concentration to dicofol removal, (A) batch reactor (B) membrane bioreactor

จากการศึกษาการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคสในถังปฏิกรณ์แบบกะ ดังแสดงใน Figure 2 (A) เวลาในการทดสอบ 480 นาที ความเข้มข้นของ NOM ที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วง 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NOM เพิ่มขึ้น และเมื่อนำข้อมูลของไดโคพอลที่ลดลงจากข้างต้น ไปคำนวณอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของไดโคพอลในกรณีที่ไม่ได้เติมและมีการเติม NOM ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อศึกษารูปแบบการยับยั้งของ NOM ที่ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคส ในรูปแบบของการยับยั้งแบบไม่แข่งขัน ซึ่งรูปแบบการยับยั้งของ NOM ดังกล่าวเหมือนกับงานวิจัยของ¹² โดยใช้สาร NOM ที่ใช้เติมในระบบเหมือนกัน แต่ชนิดของสารที่ได้นำมาทดสอบต่างชนิดกัน คือ ใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และสารมลพิษที่ใช้คือบิสฟีนอลเอ โดยรูปแบบการยับยั้งแบบไม่แข่งขันจะมีลักษณะดังนี้ เมื่อแลคเคสเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น (ไดโคพอล) จากนั้นสาร NOM จะเข้าไปจับกับแลคเคส ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น และส่งผลให้ความสามารถในการสลายไดโคพอล

ได้ลดลง และเมื่อทดสอบในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ดังแสดงใน Figure 2 (B) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ NOM ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลลดลงเช่นกัน โดยเมื่อพิจารณาที่เวลา 0-240 นาที พบว่าประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และที่เวลาตั้งแต่ 360 นาที เป็นต้นไป ประสิทธิภาพการสลายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่จะสังเกตได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ NOM ที่ 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลได้เท่ากับ 100% ที่เวลา 240 นาที ในขณะที่เดียวกันที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพการสลายลดลงเท่ากับ 76.33 และ 65.28% ที่เวลา 240 นาที ตามลำดับสำหรับงานวิจัยของ¹³ ได้ใช้กรดฮิวมิกเป็นตัวแทนของสาร NOM เนื่องจากมีโครงสร้างเหมือนกัน ในการสลายบิสฟีนอลเอ โดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดฮิวมิก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายลดลงเช่นกัน จากผลการพิจารณาประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลที่เวลา 480 นาที ทั้งในระบบถังปฏิกรณ์แบบกะและถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน Figure 2 (A), (B) ที่ความเข้มข้นของ NOM ในช่วง 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลเท่ากับ 78.43, 65.38,

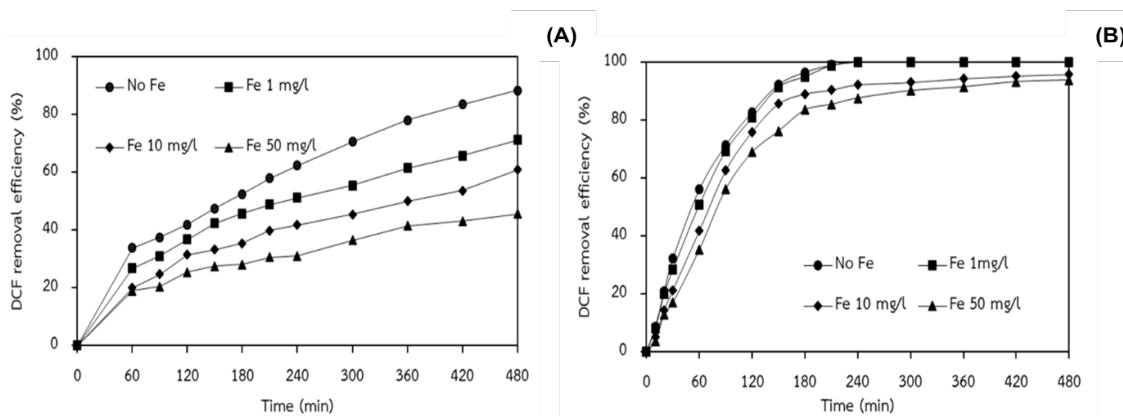


Figure 3 effect of Fe concentration to dicofol removal, (A) batch reactor (B) membrane bioreactor

53.42 และ 35.76% ของระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะ และ 100, 100, 95.43 และ 94.01% ของระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคฟอลของทั้งสองระบบแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะในระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน มีการใช้เมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชันในระบบ ซึ่งในระหว่างการดำเนินระบบของเมมเบรนนั้น จะเกิดการสะสมของเอนไซม์แลคเคส รวมถึงสาร NOM อยู่บริเวณผิวหน้าและภายในรูพรุนของแผ่นเมมเบรนดังกล่าว ทำให้ไดโคฟอลบางส่วนถูกสะสมอยู่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรนด้วย และจากมูลเหตุดังกล่าวจึงทำให้ไดโคฟอลหลุดออกจากระบบได้น้อยลง และเมื่อทดสอบเฉพาะสารไดโคฟอลกับแผ่นเมมเบรนในระบบ โดยใช้เพียงสารไดโคฟอล (ไม่แสดงผล) จากนั้นดำเนินระบบภายใต้ถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งแรงดันที่ใช้เท่ากับ 5 psig พบว่าไดโคฟอลสามารถหลุดออกจากระบบได้มากกว่า 95% เมื่อดำเนินระบบเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 480 นาที ดังนั้นจากเหตุผลข้างต้นจึงคาดว่ามีส่วนทำให้ในระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนมีประสิทธิภาพการสลายไดโคฟอลที่สูงกว่าในระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะ

ผลของสารละลายเหล็กที่มีต่อการกำจัดไดโคฟอลด้วยแลคเคส

จาก Figure 3 (A) ผลของการสลายไดโคฟอลด้วยแลคเคสในถึงปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้น 480 นาที พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคฟอลลดลงเช่นเดียวกับในกรณีของการเติม NOM และจากการนำข้อมูลการลดลงของไดโคฟอล ไปคำนวณอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของไดโคฟอลในกรณีที่ไม่มีและมีการเติมเหล็กที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเกิดการยับยั้งปฏิกิริยาการสลายไดโคฟอลด้วยแลคเคสในรูปแบบของการยับยั้งแบบแข่งขัน

จากการทดสอบในระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรน ดังแสดงใน Figure 3 (B) พบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็กสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคฟอลยิ่งลดลงเช่นกัน และเมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 0-240 นาที ของทุกความเข้มข้น พบว่าประสิทธิภาพการสลายไดโคฟอลเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 300 นาทีเป็นต้นไป การสลายไดโคฟอลเพิ่มขึ้นน้อยมาก และจุดที่น่าสังเกตคือความเข้มข้นสารละลายเหล็กในช่วง 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสลายไดโคฟอลได้เท่ากันคือ 100% ที่เวลา 240 นาที ซึ่งอาจเป็นเพราะการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็กที่ระดับต่ำๆ ส่งผลต่อการสลายไดโคฟอลเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับในกรณีที่ไม่มีเติมสารละลายเหล็กในระบบ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กในช่วง 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีการสลายไดโคฟอลลดลงเท่ากับ 83.27 – 88.05% ที่เวลา 240 นาที ตามลำดับ

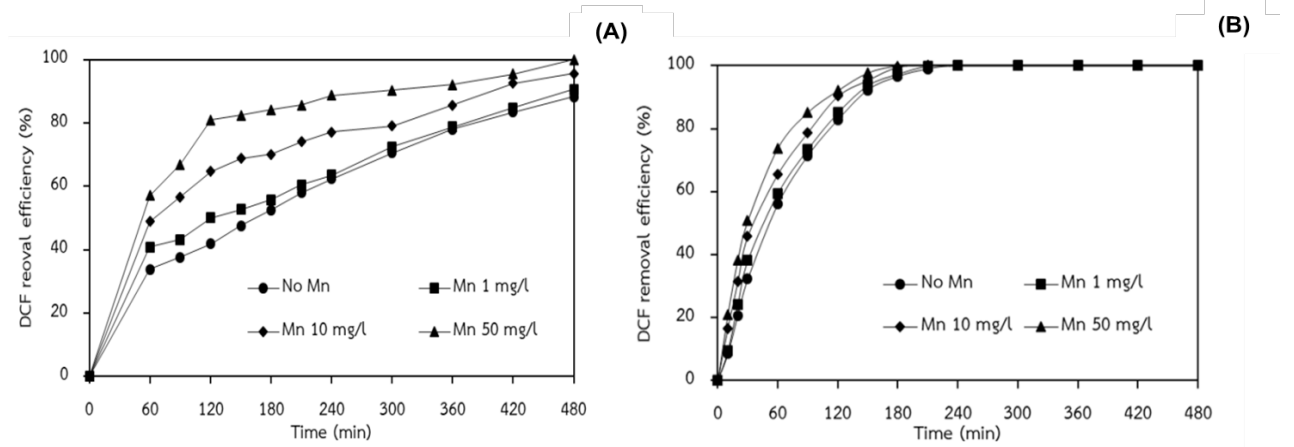


Figure 4 effect of Mn concentration to dicofol removal, (A) batch reactor (B) membrane bioreactor

ผลการพิจารณาการสลายไดโคพอลที่เวลา 480 นาที ทั้งในระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะและถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน Figure 3 (A) และ (B) พบว่ามีการสลายไดโคพอลได้เท่ากับ 88.25, 75.82, 60.71 และ 45.32% และ 100, 100, 95.43 และ 93.45% ตามลำดับ จากการศึกษาข้างต้นจะสังเกตเห็นว่า ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลในถึงปฏิกรณ์แบบกะค่อนข้างที่จะต่ำกว่าการสลายไดโคพอลในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน และคาดว่าผลดังกล่าวน่าจะเกิดจากแผ่นเมมเบรนที่ใช้ในระบบ ซึ่งข้อจำกัดของการใช้เมมเบรนโดยทั่วไปคือเมื่อดำเนินระบบถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ จะเกิดการสะสมและอุดตันบริเวณผิวหน้าและภายในรูพรุนของแผ่น เมมเบรนเอง โดยการอธิบายจะเป็นในลักษณะเช่นเดียวกับในกรณีของผลของการเติม NOM ที่มีต่อการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคส

ผลของสารละลายแมงกานีสที่มีต่อการกำจัดไดโคพอลด้วยแลคเคส

จาก Figure 4 (A) ศึกษาการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคสในระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลเพิ่มขึ้นไปด้วย ซึ่งจะแตกต่างจากในกรณีของการเติมสาร NOM และ สารละลายเหล็กในการทดลองก่อนหน้านี้ โดยพบว่าที่เวลา 480 นาที ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอล

ในกรณีที่เติมสารละลายแมงกานีสตั้งแต่ 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในทุกความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 80% ซึ่งคาดว่า การเติมสารละลายแมงกานีสทำให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลดีขึ้น เนื่องจากแมงกานีสอาจไปช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดีขึ้น และนอกจากนี้ในงานวิจัยของ¹⁴ ได้ทำการศึกษาผลของโลหะหนักต่อค่ากิจกรรมการทำงานของโปรตีนจาก *Aspergillus niger* KIBGE-IB36 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแมงกานีสส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวมีค่ากิจกรรมการทำงานเพิ่มขึ้น

ผลจากการศึกษาการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคสในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ดังแสดงใน Figure 4 (B) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแมงกานีส ทำให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลด้วยแลคเคสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และยังใช้เวลาในการสลายในระบบนานขึ้น ในช่วง 0-240 นาที ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลก็ยิ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว จนกระทั่งที่เวลา 240 นาทีเป็นต้นไป พบว่ามีประสิทธิภาพของการสลาย ไดโคพอลได้ 100% ในทุกความเข้มข้นของแมงกานีส ดังนั้นผลจากการสลายไดโคพอลที่เวลา 480 นาที ทั้งในระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะและถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน Figure 4 (A), (B) พบว่ามีการสลายไดโคพอลได้เท่ากับ 88.25, 78.53, 91.51 และ 100% ของระบบถึง

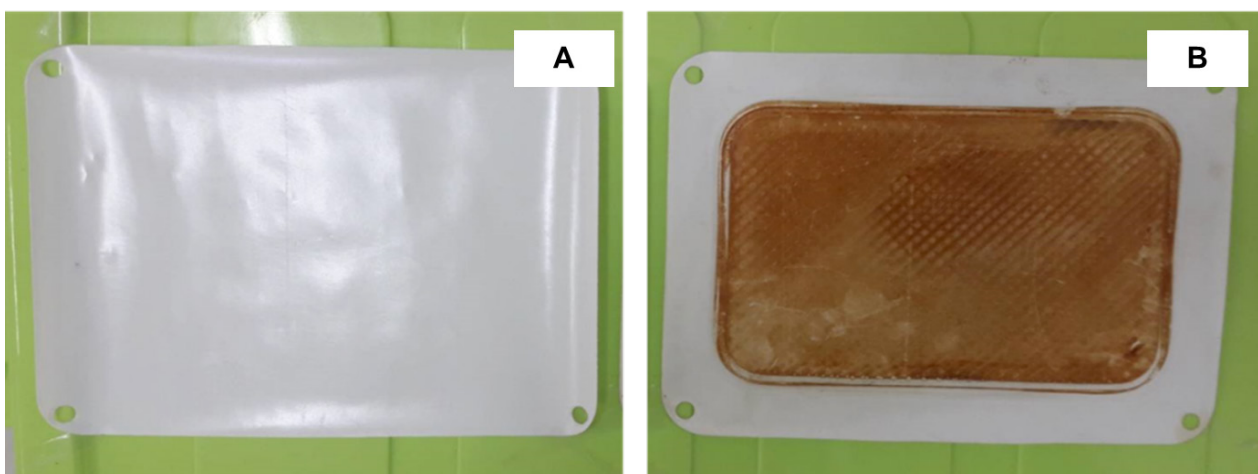


Figure 5 Physical characteristics of membranes, (A) before (B) after

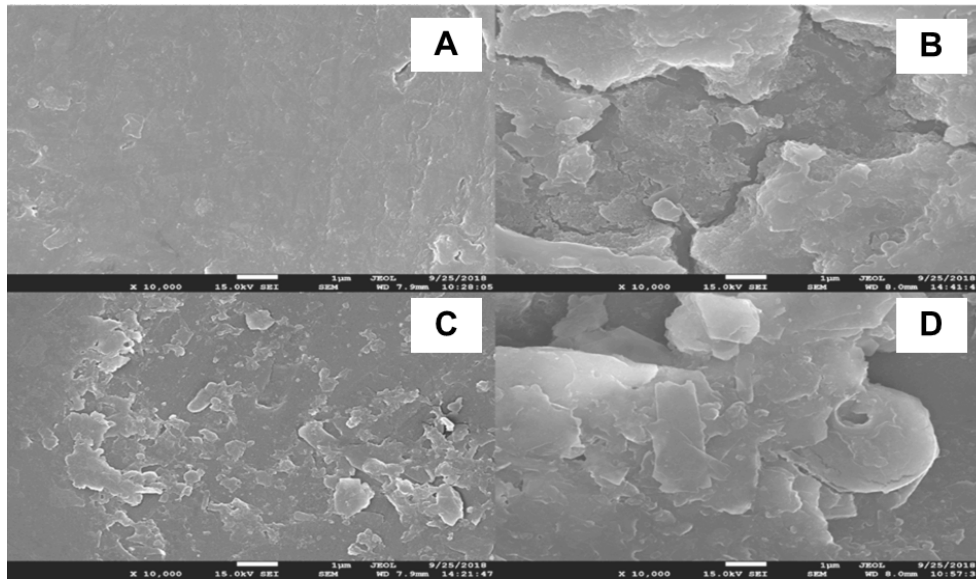


Figure 6 Membrane SEM surface images: (A) before (B) after the addition of NOM (C) after the addition of Fe (D) after the addition of Mn

ปฏิกรณ์แบบกะ และ 100% ในทุกความเข้มข้นของ แอมกานีสของระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ซึ่งข้อมูลที่ได้ต่างจากการเติมสาร NOM และสารละลายเหล็กในระบบตั้งที่นาเสนอข้อมูลไปก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงอาจจะสรุปได้ว่าสารละลายแอมกานีสเป็นสารที่ช่วยส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์แลคเคส จึงทำให้ประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลสูงกว่าในกรณีที่เติมสาร NOM และสารละลายเหล็ก (ซึ่งเป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว) และจากผลการศึกษายังคงเห็นว่าประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลในถึงปฏิกรณ์แบบกะก็ยังคงต่ำกว่าการสลายไดโคพอลในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะเกิดจากการสะสมและการอุดตันของอนุภาคต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบของเมมเบรนเช่นกัน

ลักษณะของแผ่นเยื่อกรองก่อนและหลังใช้งาน

ศึกษาลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังใช้งานของแผ่นเยื่อกรอง พบว่าแผ่นเยื่อกรองก่อนเข้าระบบ Figure 5 (A) แผ่นเยื่อกรองมีลักษณะขาวสะอาด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นเยื่อกรองหลังเข้าระบบ Figure 5 (B) พบว่าหลังดำเนินระบบเป็นระยะเวลา 480 นาที ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของไดโคพอลที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 4.32 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของ NOM ที่ใช้เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์รวมถึงสาร NOM เกาะบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง (เนื่องจากสีของเอนไซม์มีสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนสีของ NOM มีสีน้ำตาลแดง) สำหรับ

ในกรณีที่ไม่ได้เติม NOM ในระบบ จะพบว่าผิวหน้าของเมมเบรนมีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อนๆ ซึ่งเป็นสีของเอนไซม์แลคเคส (ไม่แสดงผล) ดังนั้นพิจารณาผลข้างต้นพบว่าลักษณะทางกายภาพในกรณีที่ได้ศึกษาได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้อธิบายเหตุผลในกรณีที่ได้ศึกษาผลของ NOM ที่มีต่อการกำจัดไดโคพอลด้วยแลคเคส ด้วยระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

สำหรับการศึกษาลักษณะของพื้นผิวเยื่อกรองก่อนและหลังใช้งาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy) ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า ก่อนใช้งานเยื่อกรอง Figure 6 (A) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบทั่วทั้งแผ่น และหลังใช้งานในกรณีที่มีการเติมสารอินทรีย์ธรรมชาติ Figure 6 (B) พบว่ามีการซ้อนทับของสารเป็นชั้นๆ อย่างหนาแน่น ส่วนการเติมสารละลายเหล็ก Figure 6 (C) พบว่ามีการสะสมของสารละลายเหล็กบริเวณผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง พื้นผิวขรุขระทั่วทั้งแผ่น และการเติมสารละลายแอมกานีส Figure 6 (D) พบว่ามีการสะสมแอมกานีสมีการเกาะบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรองและซ้อนทับกัน

สรุปผลการศึกษา

เอนไซม์แลคเคสที่สกัดจาก *Lentinus polychrous* Lev. สามารถสลายไดโคพอลได้ในทั้งสองระบบ โดยความเข้มข้นของไดโคพอลที่ใช้เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เริ่มต้นเท่ากับ 4.32 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 เมื่อศึกษาในระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรนในกรณีที่ได้เติมและไม่เติม NOM และสารกลุ่มโลหะหนักจำพวกเหล็กและ

แมงกานีส ที่ความเข้มข้น 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพการสลาย ไดโคพอลมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NOM และสารละลายเหล็กเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการสลายมีค่าไม่ต่ำกว่า 80% ที่เวลา 480 นาทีของสารดังกล่าว สำหรับในกรณีที่เติมสารละลายแมงกานีส ซึ่งใช้ความเข้มข้นเดียวกันกับข้างต้น พบว่าประสิทธิภาพการสลายไดโคพอลเท่ากับ 100% ในทุกกรณี ที่เวลา 480 นาที

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนการศึกษาริวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Hoekstra, P. F., Burnison, B. K., Garrison, A. W., Neheli, T., & Muir, D. C. (2006). Estrogenic activity of dicofol with the human estrogen receptor: Isomer- and enantiomer-specific implications. *Chemosphere*, 64(1), 174-177.
- Settimi, L., Masina, A., Andron, A., & Axelson, O., Prostate cancer and exposure to pesticides in agricultural settings. *International Journal of Cancer*, 2003. 104(4): p. 458-461.
- Hoekstra, P. F., Burnison, B. K., Garrison, A. W., Neheli, T., & Muir, D. C. (2006). Estrogenic activity of dicofol with the human estrogen receptor: Isomer- and enantiomer-specific implications. *Chemosphere*, 64(1), 174-177.
- Marmot, M., Allen, J., Bell, R., Bloomer, E., & Goldblatt, P. (2012). WHO European review of social determinants of health and the health divide. *The lancet*, 380(9846), 1011-1029.
- Robles-Hernández, L., González-Franco, A. C., Crawford, D. L., & Chun, W. W. (2008). Review of environmental organopollutants degradation by white-rot basidiomycete mushrooms. *Tecnociencia Chihuahua*, 2(2), 32-40.
- Marmot, M., Allen, J., Bell, R., Bloomer, E., & Goldblatt, P. (2012). WHO European review of social determinants of health and the health divide. *The lancet*, 380(9846), 1011-1029.
- สุพจน์ ปุณบุตร และกรรณิการ์ รัตนพงศ์เสลา "การตรึงแลคเคสและเปรียบเทียบการใช้ในถังปฏิกรณ์แบบกะและแบบไหลต่อเนื่องในหอบบรรจุสำหรับกำจัดพาราเซตามอล" วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2
- Rosconi, F., Fraguas, L. F., Martínez-Drets, G., & Castro-Sowinski, S. (2005). Purification and characterization of a periplasmic laccase produced by *Sinorhizobium meliloti*. *Enzyme and Microbial technology*, 36(5-6), 800-807.
- Zhai, Z., Yang, T., Zhang, B., & Zhang, J. (2015). Effects of metal ions on the catalytic degradation of dicofol by cellulase. *Journal of Environmental Sciences*, 33, 163-168.
- Shin, K.-S. and Y.-J. Lee, Purification and characterization of a new member of the laccase family from the white-rot basidiomycete *Coriolushirsutus*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2000. 384(1): p. 109-115.
- Bradford, M.M., A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 1976. 72(1-2): p. 248-254.
- Qiu, X., et al., Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China. *Environmental Science & Technology*, 2005. 39(12): p. 4385-4390.
- Zhai, Z., et al., Effects of metal ions on the catalytic degradation of dicofol by cellulase. *Journal of environmental sciences*, 2015. 33: p. 163-168.
- Zhang, J., et al., Removal of dicofol from water by immobilized cellulase and its reaction kinetics. *Journal of environmental management*, 2011. 92(1): p. 53-58.
- Jiang, W., et al., Influence of NOM and SS on the BPA removal via peroxidase catalyzed reactions: Kinetics and Purification Technology, 2017. 173: p. 244-249.

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุ Speed Control of Induction Motor with Its Parameter Different from Nominal Value

กุลพงษ์ บุญมาวงศ์¹, วิโรจน์ แสงรงทอง^{2*}

Kunlapong Boonmawong¹, Wirote Sangtungong^{2*}

Received: 3 April 2019 ; Revised: 13 May 2019 ; Accepted: 4 June 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะของผลตอบสนองความเร็วที่ได้รับจากระบบควบคุมเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวและมีตัวแปรสถานะ 8 ตัวแปรระบบควบคุมวงปิดดังกล่าวมีเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ที่มีค่าไอเกน 8 ค่าการคำนวณโดยตรงและการสุ่มเลือกจะกำหนดค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวการเลือกค่าไอเกนที่เป็นจำนวนเต็มลบที่เหมาะสม 8 ค่าและการหาค่าตอบของระบบสมการพหุนาม 8 สมการคือการคำนวณค่าเกนโดยตรงการสุ่มเลือกจะปรับจูนค่าเกนที่เป็นจำนวนเต็มบวกการคำนวณค่าเกนของตัวควบคุมพีไอโดยตรงจะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุและแตกต่างจากค่าที่ระบุการจำลองสถานการณ์จะแบ่งออกเป็น 5 กรณีดังนี้มอเตอร์และโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความต้านทานโรเตอร์เท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุมอเตอร์มีความต้านทานสเตเตอร์เท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุมอเตอร์และโหลดเชิงกลมีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุและมอเตอร์และโหลดมีค่าความต้านทานโรเตอร์ ค่าความต้านทานสเตเตอร์ และโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน

คำสำคัญ: ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ การควบคุมแบบเวกเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำค่าไอเกน

Abstract

This paper compares the performance of speed responses given by the direct vector control system of an induction motor. The four PI controllers are incorporated in such a control system with eight state-variables. The coefficient matrix of the above closed-loop system holds eight eigenvalues. The direct computation method and random selection was used to specify all the PI gains. The direct method proceeds with a decision on eight appropriate negative integers of eigenvalues and then solving a set of eight simultaneous polynomial-equations. All its roots become proper PI gains. The random selection assigns arbitrarily each PI gain to a positive integer. When all the parameters of the induction motor and its mechanical load match with the corresponding nominal values and when some parameters deviate from the corresponding ones, the direct method provides speed responses preferable to those caused by random selection. Five instances are included in simulation. These involve matching between each parameter and the corresponding nominal value, tenfold increase of either rotor resistance, stator resistance, or moment of inertia from the corresponding one, and simultaneously a fourfold increase of rotor resistance, stator resistance, and moment of inertia from the corresponding ones.

Keywords: Parameter of induction motor, vector control, induction motor, eigenvalue.

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ² อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 30000

¹ Graduate Student, ² Lecturer of Electrical Engineering, Power Electronic Energy Machines and Control Research Group, School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology 30000

* Corresponding author: Email: cewirote@sut.ac.th

บทนำ

การควบคุมเวกเตอร์โดยตรงและโดยอ้อมของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะแยกการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กและทอร์คออกจากกันได้อย่างอิสระ¹ แผนการควบคุมความเร็วและฟลักซ์แม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำจึงไม่มีความซับซ้อนและมีหลักการที่คล้ายกับการควบคุมความเร็วและฟลักซ์แม่เหล็กของมอเตอร์ดีซีแบบแยกกระตุ้นการควบคุมความเร็วแบบเวกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอกมีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมและในการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า การวิเคราะห์ลูปควบคุมชั้นในและลูปควบคุมชั้นนอกแยกออกจากกันอย่างอิสระและการกำหนดความกว้างแถบ (bandwidth) ของลูปควบคุมแต่ละลูป จะนำมาใช้คำนวณค่าเกนของตัวควบคุมพีไอที่อยู่ในแผนการควบคุมแบบเวกเตอร์² วิธีการนี้ได้รับความนิยมแต่การเลือกความกว้างแถบคืองานลองผิดลองถูกและต้องพิจารณาสมการของสัญญาณรบกวน

ในทางปฏิบัติเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำขับเคลื่อนโหลดเชิงกลความร้อนจะเกิดขึ้นภายในมอเตอร์ และแท่งตัวนำโรเตอร์และชุดขดลวดสเตเตอร์จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นจากค่าปกติหรือค่าที่ระบุ³ ในบางกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำอาจจะต้องขับเคลื่อนโหลดเชิงกลที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยเปลี่ยนแปลงจากค่าที่ระบุ³ การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานและโมเมนต์ความเฉื่อยจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของผลตอบสนองความเร็ว เพราะระบบควบคุมความเร็ววงปิดแบบเวกเตอร์มีค่าไอเกนที่เปลี่ยนแปลงจากค่าที่ระบุหรือค่าที่ได้เลือกในขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมค่าความต้านทานและโมเมนต์ความเฉื่อย (J) อาจจะเปลี่ยนแปลงจากค่าที่ระบุได้ถึง² เท่าหรือมากกว่านั้นคือผลตอบสนองความเร็ว (ω_m) ที่ติดตามความเร็วอ้างอิง (ω_m^*) อาจจะมีค่าผิดพลาด ($\Delta\omega_m$) เพิ่มขึ้น และถ้าค่าความต้านทานและโมเมนต์ความเฉื่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากเกินไปหรือผิดปรกติระบบควบคุมความเร็ววงปิดจะไม่สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้

บทความนี้จะพิจารณาระบบควบคุมความเร็ววงปิดแบบเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง ระบบควบคุมนี้มีตัวควบคุมพีไอ⁴ ตัวการเลือกค่าเกนของตัวควบคุมพีไอที่ง่ายและสะดวกที่สุดคือการสุ่มเลือกค่าเกนที่เป็นจำนวนเต็มบวกหรือการปรับจูนแบบลองผิดลองถูก (trialanderror) วิธีอื่นในการเลือกค่าเกนของตัวควบคุมคือการคำนวณค่าเกนโดยตรง⁵ ค่าพารามิเตอร์ที่ระบุของมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกล และค่าไอเกนของระบบควบคุมวงปิด จะนำมาใช้คำนวณหาค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ⁴ ตัวการหาค่าตอบเชิงเลขของระบบสมการไม่เชิงเส้นจะได้รับค่าเกนของตัวควบคุม

พีไอระบบควบคุมวงปิดจะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีสมรรถนะที่ขึ้นอยู่กับค่าไอเกน การเลือกค่าไอเกนที่มีค่าลบบที่เหมาะสมจะได้รับคำตอบหรือค่าเกนทุกค่าที่มีค่าบวกและระบบควบคุมความเร็ววงปิดจะให้ผลตอบสนองที่ดีตามความเร็วอ้างอิงได้ดีหรือมีสมรรถนะสูง

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงจากค่าปกติหรือจากค่าที่ระบุ ผลตอบสนองความเร็วจะมีแนวโน้มของสมรรถนะที่ต่ำลง และมีช่วงระยะเวลาในสถานะชั่วคราวที่ยาวนานขึ้นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กำลังขับเคลื่อนโหลดเชิงกลอาจจะมีค่าพารามิเตอร์ทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงจากค่าที่ระบุ มอเตอร์ที่ขับเคลื่อนโหลดไม่เกินโหลดที่ปกติหรือมอเตอร์ที่ทำงานในสภาวะปกติ จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ภายในขอบเขตหนึ่ง และผู้ผลิตมอเตอร์จะประมาณค่าขอบเขตนี้ แต่ผู้ใช้งานไม่ทราบขอบเขตที่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ผู้ใช้งานจึงไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่อพิจารณาเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลผู้ใช้งานจะไม่ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แต่ละค่าที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของผลตอบสนองความเร็วมากหรือน้อย

บทความนี้จะกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์ (R_s) ค่าความต้านทานโรเตอร์ (R_r) และโมเมนต์ความเฉื่อย (J) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญและเปรียบเทียบค่าไอเกนและผลตอบสนองความเร็วของระบบควบคุมวงปิดแบบเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำในกรณีที่มอเตอร์และโหลดมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุและแตกต่างจากค่าที่ระบุในแต่ละกรณี ตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนที่ได้จากการสุ่มเลือกและได้จากการคำนวณค่าเกนโดยตรงเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุค่าความต้านทานโรเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุหรือค่าความต้านทานสเตเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ เมื่อมอเตอร์และโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุ โมเมนต์ความเฉื่อยจะมีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ นอกจากนี้ค่าความต้านทานโรเตอร์ ค่าความต้านทานสเตเตอร์ และโมเมนต์ความเฉื่อยจะมีค่าเท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน

บทความนี้มีเนื้อหาที่ประกอบด้วยแผนการควบคุมเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งาน สมการปริภูมิสถานะของระบบควบคุมความเร็ววงปิด ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลที่ใช้งานค่าเกนของตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการสุ่มเลือกและได้จากการคำนวณโดยตรงค่าไอเกนของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ ผลการจำลองสถานการณ์

ของระบบควบคุมความเร็ววงปิดแบบเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำในกรณีที่มีมอเตอร์และโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุและในกรณีที่มอเตอร์และโหลดมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุการอภิปรายผลการจำลองสถานการณ์ และสรุป

แผนการควบคุมเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แสดงใน Figure 1 คือแผนการควบคุมทอร์กและฟลักซ์แม่เหล็ก

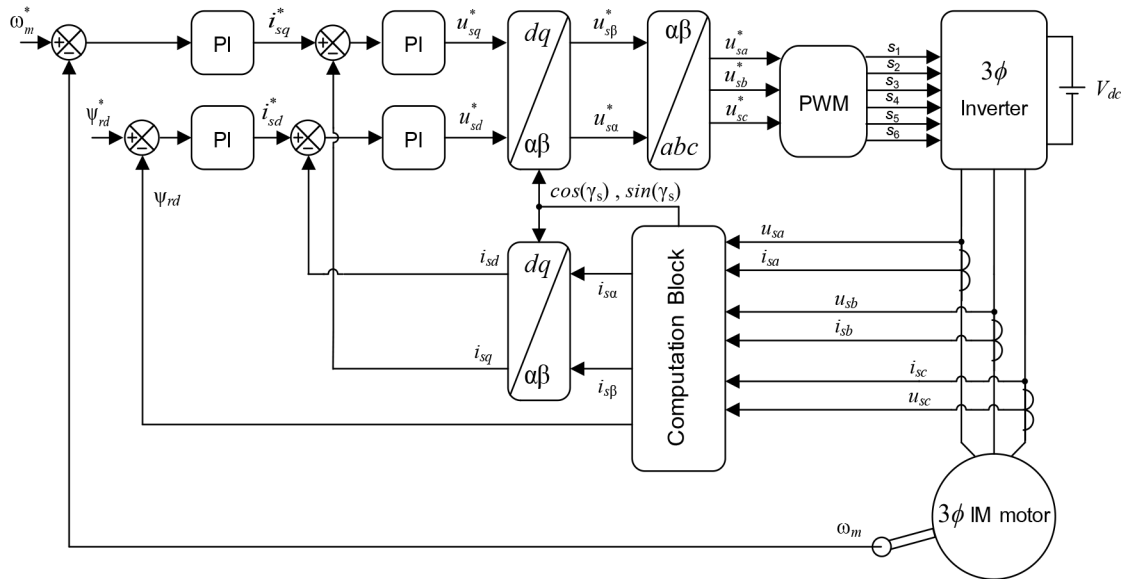


Figure 1 The vector control system of speed of induction motor with inverter supplying stator-voltage

ภายในพร้อมกันที่แยกได้อย่างอิสระที่อยู่ในกรอบอ้างอิงสนามแม่เหล็กโรเตอร์ (ที่มีแกนตรง d และแกนขวาง q)1 แผนการควบคุมนี้จะเหมือนกับการควบคุมมอเตอร์ดีซีที่มีแปรผันชนิดกระตุ้นแยก ตัวควบคุมความเร็วและตัวควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กคือตัวควบคุมพีไอที่อยู่ในรูปควบคุมชั้นนอก ตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนตรงและแกนขวางคือตัวควบคุมพีไอที่อยู่ในรูปควบคุมชั้นใน รูปควบคุมชั้นนอกมีการป้อนกลับของความเร็วหรืออัตราเร็วเชิงมุมทางกล (ω_m) และขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์ (ψ_{rd}) และรูปควบคุมชั้นในมีการป้อนกลับของกระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนตรง (i_{sd}) และแกนขวาง (i_{sq}) ที่อยู่ในกรอบอ้างอิงสนามแม่เหล็กโรเตอร์

ตัวควบคุมความเร็วจะนำความผิดพลาดของความเร็ว ($\Delta\omega_m = \omega_m^* - \omega_m$) มาคำนวณหากระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนขวางอ้างอิง (i_{sq}^*) ที่สมมูลกับทอร์กทางแม่เหล็กไฟฟ้าอ้างอิง ($T_e^* = K_T \psi_{rd}^* i_{sq}^*$) ตัวควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กจะนำความผิดพลาดของฟลักซ์แม่เหล็ก ($\Delta\psi_{rd} = \psi_{rd}^* - \psi_{rd}$) มาคำนวณหากระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนตรงอ้างอิง (i_{sd}^*) ตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนขวางจะนำความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าแกนขวาง ($\Delta i_{sq} = i_{sq}^* - i_{sq}$) มาคำนวณหาแรงดันสเตเตอร์แกนขวางอ้างอิง (u_{sq}^*) และตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าสเตเตอร์แกนตรงจะนำความ

ผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าแกนตรง ($\Delta i_{sd} = i_{sd}^* - i_{sd}$) มาคำนวณหาแรงดันสเตเตอร์แกนตรงอ้างอิง (u_{sd}^*) แรงดันสเตเตอร์อ้างอิงดังกล่าวคือแรงดันดีซีที่อยู่ในกรอบอ้างอิงสนามแม่เหล็กโรเตอร์การแปลงแกนย้อนกลับจะเปลี่ยนแรงดันสเตเตอร์อ้างอิงที่อยู่ในกรอบอ้างอิงสนามแม่เหล็กไปเป็นแรงดันสเตเตอร์อ้างอิงที่อยู่ในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง (ที่มีแกนนอน α และแกนตั้ง β) แรงดันสเตเตอร์อ้างอิงที่ได้จากการแปลงแกนคือแรงดันเอชีสองเฟส ($u_{s\alpha}^*, u_{s\beta}^*$) ที่จะเปลี่ยนไปเป็นแรงดันเอชีสองเฟสอ้างอิง ($u_{sa}^*, u_{sb}^*, u_{sc}^*$) การเปรียบเทียบระหว่างแรงดันเอชีสองเฟสอ้างอิงและสัญญาณพาหะสามเหลี่ยมที่มีความถี่สูงจะสร้างสัญญาณพัลส์ 6 สัญญาณที่มีความกว้างเปลี่ยนแปลงหรือการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (pulse-width modulation) หรือพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) (s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 และ s_6) สัญญาณพัลส์ 6 สัญญาณนี้จะบังคับการสวิตช์ของไอจีบีที 6 ตัวที่เชื่อมต่อเป็นอินเวอร์เตอร์สามเฟส การเปิดและปิดของไอจีบีทีแต่ละตัวที่มีรูปแบบแน่นอนจะกำหนดให้อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันดีซีไปเป็นแรงดันเอชีสองเฟส อินเวอร์เตอร์จะจ่ายแรงดันเอชีสองเฟสที่มีค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) และความถี่ที่เปลี่ยนแปลงได้ถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส กระแสไฟฟ้าเอชีสเตเตอร์สามเฟส (i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}) ที่ไหลผ่านมอเตอร์จะทำให้เกิด

สนามแม่เหล็กและสร้างทอร์กทางแม่เหล็กไฟฟ้า ($T_e = K_T \psi_{rd} i_{sq}$) ที่ขับเคลื่อนโหลดเชิงกลให้เกิดการหมุนกระแสไฟฟ้าสแตเตอร์สามเฟสที่ได้จากการวัดจะเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้าสแตเตอร์สองเฟส (i_{sa}, i_{sb}) การแปลงแกนจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสแตเตอร์ที่อยู่ในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปเป็นกระแสไฟฟ้าสแตเตอร์แกนตรงและแกนขวางที่เป็นกระแสไฟฟ้าดีซีและเป็นสัญญาณป้อนกลับ แรงดันเอสเตเตอร์สามเฟส (u_{sa}, u_{sb}, u_{sc}) ที่ได้จากการวัดจะเปลี่ยนไปเป็นแรงดันสเตเตอร์สองเฟส (u_{sa}, u_{sb}) กระแสไฟฟ้าสแตเตอร์สองเฟสและแรงดันสเตเตอร์สองเฟสที่ได้จากการวัดจะใช้คำนวณหาฟลักซ์แม่เหล็กสเตเตอร์ (ψ_{sa}, ψ_{sb}) และฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์ (ψ_{ra}, ψ_{rb}) ที่อยู่ในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งตามลำดับ ค่าโคไซน์และค่าไซน์ของตำแหน่งเชิงมุมของฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์ที่ใช้ในการแปลงแกนจะคำนวณได้จาก $\cos(\gamma_s) = (\psi_{ra} / \psi_{rd})$ และ $(\gamma_s) = (\psi_{ra} / \psi_{rd})$ และขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์จะคำนวณได้จาก $\psi_{rd} = \sqrt{\psi_{ra}^2 + \psi_{rb}^2}$

ดังนั้นระบบควบคุมความเร็ววงปิดมีอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันสเตเตอร์และกระแสไฟฟ้าสแตเตอร์สามเฟสถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำ แต่อินเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันเอสซีที่มีค่าอาร์เอ็มเอสจำกัดค่าหนึ่งหรือไม่มากกว่าค่ามากที่สุดค่าหนึ่ง

สมการปริภูมิสถานะของระบบควบคุมวงปิดที่มีตัวแปรสถานะ 8 ตัว

เมื่อพิจารณาขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์อ้างอิง (ψ_{rd}^*) เป็นค่าพารามิเตอร์คงที่ ตัวแปรสถานะคือ $\Delta i_{sd}, \Delta i_{sq}, \Delta \psi_{rd}, \Delta \omega_m, \int \Delta i_{sd} d\tau, \int \Delta i_{sq} d\tau, \int \Delta \psi_{rd} d\tau$ และ $\int \Delta \omega_m d\tau$ และอินพุตคือความเร็วอ้างอิง (ω_m^*) ความเร่งอ้างอิง ($\dot{\omega}_m^*$) และโหลดทอร์ก (T_L) ระบบควบคุมความเร็ววงปิดแบบเวกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวและมีตัวแปรสถานะ 8 ตัวแปรจะมีสมการปริภูมิสถานะ 5 ดังนี้

$$\dot{x} = Ax + \Phi + Bu \tag{1}$$

- โดยที่ x คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะ
 A คือเมตริกซ์สัมประสิทธิ์
 Φ คือเวกเตอร์การรบกวน
 B คือเมตริกซ์อินพุต
 และ u คือเวกเตอร์ของอินพุต

เวกเตอร์การรบกวนจะเกิดจากการเชื่อมต่อไขว้ (cross-coupling) ของแกนตรงและแกนขวางภายในมอเตอร์เมื่อสมการปริภูมิสถานะมีเวกเตอร์การรบกวน ระบบควบคุมจึงเป็นระบบไม่เชิงเส้น สมการปริภูมิสถานะมีเมตริกซ์

สัมประสิทธิ์ A ที่มีค่าเจาะจงหรือค่าไอเกน^๑ ค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวและค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกล ระบบควบคุมวงปิดให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีสมรรถนะที่สัมพันธ์กับค่าไอเกน^๑ ค่านี้ถ้าค่าไอเกนทุกค่าเป็นจำนวนจริงลบหรือเป็นคู่สังยุคของจำนวนเชิงซ้อนที่มีส่วนจริงลบ เมื่อความเร็วอ้างอิงและโหลดทอร์กมีค่าคงที่ ($\dot{\omega}_m^* = 0$ และ $T_L = 0$) ความผิดพลาดจะมีแนวโน้มลดลงและลู่เข้าหาศูนย์ในสถานะอยู่ตัว ($\Delta \omega_m(\infty), \Delta \psi_{rd}(\infty), \Delta i_{sq}(\infty), \Delta i_{sd}(\infty) \rightarrow 0$) และระบบควบคุมวงปิดมีจุดสมดุลหรือจุดการทำงานที่ขึ้นอยู่กับเวกเตอร์การรบกวน ความเร็วอ้างอิง และโหลดทอร์ก

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์ที่ระบุที่แสดงในตารางที่ 16 แต่ตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวมีค่าเกนพีและค่าเกนไอที่ไม่ทราบค่า ค่าเกนพีและค่าเกนไอจึงเป็นตัวแปรสมการปริภูมิสถานะจะมีเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ที่มีสมาชิกเป็นนิพจน์ของตัวเลขและตัวแปร เมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะให้พหุนามคุณลักษณะที่มีสัมประสิทธิ์ที่เป็นนิพจน์ของตัวเลขและตัวแปรเช่นเดียวกัน แต่สัมประสิทธิ์มีนิพจน์ของตัวเลขและตัวแปรที่ซับซ้อนมากกว่าการเลือกค่าไอเกน 8 ค่าที่เป็นจำนวนจริงลบที่ต้องการจะให้พหุนามคุณลักษณะที่ต้องการกำหนดให้พหุนามคุณลักษณะทั้งสองมีสัมประสิทธิ์ที่ตรงกันเท่ากันจะสร้างระบบสมการพหุนามหรือระบบสมการไม่เชิงเส้น 8 สมการที่มีตัวแปร 8 ตัวแปร การหาค่าตอบเชิงเลขแบบวนซ้ำ^{4,7} จากระบบสมการดังกล่าวจะได้รับค่าเกน 8 ค่าของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวนั่นคือค่าไอเกน 8 ค่าจะนำมาใช้คำนวณหา ค่าเกนของตัวควบคุมโดยตรง

Table 1 nominal parameters of motor and load

Parameter	Nominal value
Stator resistance(0.
Rotor resistance(0.
Mutual inductance(69.
Stator inductance(73.
Rotor inductance(71.
Moment of inertia(0.
Load torque(12 N×
Number of poles(4

การสุ่มเลือกค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวที่ทำให้เมตริกซ์สัมประสิทธิ์มีค่าไอเกนทุกตัวที่เป็นจำนวนจริงลบคือการลองผิดลองถูกที่อาจจะใช้เวลาสั้นหรือนานที่ไม่แน่นอน เมตริกซ์สัมประสิทธิ์อาจจะมีค่าไอเกนทุกค่าหรือมีค่าไอเกนบาง

ค่าที่ไม่เป็นค่าที่ต้องการ เมื่อตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวมีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการคำนวณโดยตรงและมีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการสุ่มเลือก ระบบควบคุมวงปิดแบบเวกเตอร์จะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีสมรรถนะที่แตกต่างกันในกรณีที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุและในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์บางค่าแตกต่างจากค่าที่ระบุและเนื่องจากระบบควบคุมวงปิดมีตัวแปรสถานะ 8 ตัวแปรการพิจารณากรณีที่ค่าพารามิเตอร์บางค่าแตกต่างจากค่าที่ระบุจึงมีความน่าสนใจ ถ้าตัวควบคุมพีไอมีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการคำนวณโดยตรงและมอเตอร์และโหลดมีค่าพารามิเตอร์บางค่าที่แตกต่างจากค่าที่ระบุ ระบบควบคุมวงปิดอาจจะให้หรือไม่ให้ผลตอบสนองที่มีสมรรถนะดีกว่าผลตอบสนองที่เกิดจากตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการสุ่มเลือก

ค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมพีไอและการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์และโหลด

การสุ่มเลือกจะกำหนดให้ตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวมีค่าเกณฑ์เท่ากันและมีค่าเกณฑ์เท่ากัน ค่าเกณฑ์ที่มีค่าเท่ากับ 8 และค่าเกณฑ์ที่มีค่าเท่ากับ 25 ค่าเกณฑ์และค่าเกณฑ์อ้างอิงกล่าวคือค่าเกณฑ์ชุดที่ 1 ที่แสดงใน Table 2 และเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุ เมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนชุดที่ 1 ที่แสดงใน Table 3 ค่าไอเกนทุกค่าคือจำนวนจริงลบและจำนวนเชิงซ้อนที่มีส่วนจริงลบ ค่าไอเกน 4 ค่าแรกมีตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพในระนาบเชิงซ้อน ค่าไอเกน 4 ค่านี้จึงเป็นค่าที่ไม่ต้องการ แต่ค่าไอเกนที่เหลืออีก 4 ค่ามีตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ การคำนวณค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมโดยตรงจะเกิดจากการกำหนดให้ค่าไอเกนทุกค่าเป็นจำนวนจริงลบที่แตกต่างกันและมีตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพเรียงตามลำดับที่แสดงในตารางที่ 34 ค่าไอเกนทุกค่านี้คือค่าไอเกนที่ต้องการและเป็นค่าไอเกนชุดที่ 2 เมื่อมอเตอร์และโหลดมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุ การหาค่าตอบเชิงเลขของระบบสมการพหุนาม 8 สมการและ 8 ตัวแปรจะให้ค่าเกณฑ์และค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัว ค่าตอบที่ได้รับคือค่าเกณฑ์ชุดที่ 2 ที่แสดงใน Table 2 ค่าเกณฑ์ทุกค่ามีค่าบวก

ค่าความต้านทานโรเตอร์อาจจะเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่า 8 และในทางปฏิบัติ เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำขับเคลื่อนโหลดเชิงกลมอเตอร์และโหลดจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงจากค่าที่ระบุภายในขอบเขตหนึ่ง แต่ผู้ใช้งานจะไม่ทราบขอบเขตที่ชัดเจนและแน่นอน การพิจารณาความต้านทานโรเตอร์และค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุจะประมาณขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าปกติ และ

ถ้ามอเตอร์ขับเคลื่อนโหลดเชิงกลในสภาวะปกติการพิจารณาโมเมนต์ความเฉื่อยที่มีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุจะประมาณขอบเขตที่มากกว่าปกติเช่นเดียวกัน เมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนที่เปลี่ยนแปลงจากเดิม นอกจากนี้การพิจารณาค่าความต้านทานโรเตอร์ ค่าความต้านทานสเตเตอร์ และโมเมนต์ความเฉื่อยที่มีค่าเท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกันจะประมาณขอบเขตที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้

Table 2 PI controller gains in the case of the parameters equal to their nominal values

Gain	The first set	The second set
K_{pd}	8	5.
K_{pq}	8	6.
$K_{p\psi}$	8	66.
$K_{p\omega}$	8	4.
K_{ld}	2	9.
K_{lq}	2	36.
$K_{l\psi}$	2	302.
$K_{l\omega}$	2	40.

Table 3 eigenvalues of coefficient matrix when the parameters match nominal values

Eigenvalue	The first set	The second set
λ	0.	-
λ	0.	-
λ	-	-
λ	0.	-
λ	15.	-
λ	184.	-
λ	-	-
λ	-	-

เมื่อค่าความต้านทานโรเตอร์มีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ และตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวมีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการสุ่มเลือกและการคำนวณโดยตรงเมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่แสดงใน Table 4 ตามลำดับ

เมื่อค่าความต้านทานสเตเตอร์มีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ และตัวควบคุมพีไอมีค่าเกณฑ์ที่ได้รับจากการสุ่มเลือกและการคำนวณโดยตรงเมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนชุดที่ 5 และชุดที่ 6 ที่แสดงใน Table 5 ตามลำดับ

Table 4 The eigenvalues in the case of R_l larger than its nominal value by ten times

Eigenvalue	The third set	The fourth set
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-
λ	-	-

Table 5 The eigenvalues in the case of R_s larger than its nominal value by ten times

Eigenvalue	The fifth set	The sixth set
λ	0.	-
λ	0.	-
λ	-	-
λ	0.	-
λ	14.	-
λ	120.	-
λ	-	-
λ	-	-

Table 6 The eigenvalues in the case of J_l larger than its nominal value by ten times

Eigenvalue	The seventh set	The eighth set
λ	0.	-
λ	0.	-
λ	-	-
λ	0.	4.
λ	15.	-
λ	16.	-
λ	-	-
λ	-	-

เมื่อโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ และตัวควบคุมมีค่าเกณฑ์ที่เกิดจากการสุ่มเลือกและการคำนวณโดยตรงเมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนชุดที่ 7 และชุดที่ 8 ที่แสดงใน Table 6 ตามลำดับ

เมื่อค่าความต้านทานโรเตอร์ ค่าความต้านทานสเตเตอร์ และโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าเท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน และตัวควบคุมมีค่าเกณฑ์ที่เกิดจากการสุ่มเลือกและ

การคำนวณโดยตรงเมตริกซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าไอเกนชุดที่ 9 และชุดที่ 10 ที่แสดงใน Table 7 ตามลำดับ

Table 7 The eigenvalues at R_r , R_s , and J_l larger than their nominal values by four times

Eigenvalue	The ninth set	The tenth set
λ	-	-
λ	0.	-
λ	0.	-
λ	-	7.
λ	-	-
λ	50.	-
λ	-	-
λ	-	-

ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีมอเตอร์และโหลดมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุเมื่อตัวควบคุมพีไอชุดที่มีค่าเกณฑ์ที่ 1 (GainPI1) ค่าไอเกนชุดที่ 1 ที่แสดงใน Table 3 จะมีค่าไอเกน 4 ค่าแรกที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพ ระบบควบคุมวงปิดให้ผลตอบสนองความเร็ว (กราฟเส้นทึบ) ที่ใช้เวลานานในการลู่เข้าหาความเร็วอ้างอิง (กราฟเส้นประ) ที่แสดงใน Figure 2 เมื่อตัวควบคุมพีไอชุดที่มีค่าเกณฑ์ที่ 2 (GainPI2) ค่าไอเกนชุดที่ 2 ที่แสดงใน Table 3 จะมีค่าไอเกนที่ใกล้กับแกนจินตภาพอยู่ห่างจากแกนจินตภาพมากขึ้นผลตอบสนองความเร็วจึงมีสถานะชั่วครู่ในช่วงระยะเวลาที่สั้นมากที่แสดงใน Figure 3 และติดตามความเร็วอ้างอิงได้อย่างรวดเร็ว แต่เกิดการพุ่งเกินเล็กน้อยในสถานะชั่วครู่ เพราะผลตอบสนองที่มีความรวดเร็วจะกระตุ้นพลวัตไม่เชิงเส้นของการรั้งความตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกณฑ์ที่ 1 ให้ความผิดพลาดของความเร็ว (กราฟเส้นประ) มากกว่าความผิดพลาดของความเร็วที่ได้รับจากตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกณฑ์ที่ 2 (กราฟเส้นทึบ) ที่แสดงใน Figure 4

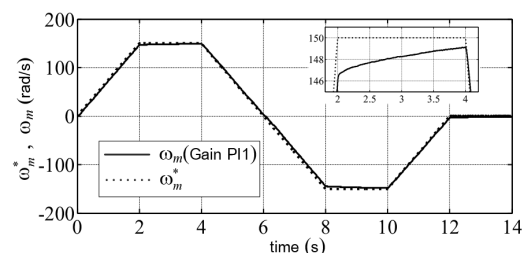


Figure 2 speed reference and speed response caused by the first set of the PI gains and the parameters at nominal values

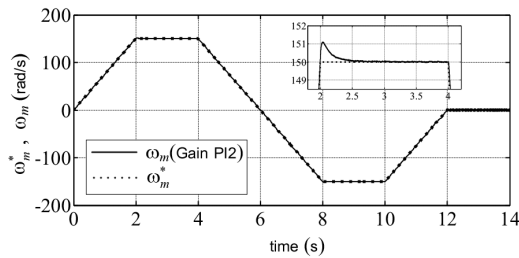


Figure 3 speed reference and speed response due to the second set of the PI gains and the parameters at nominal values

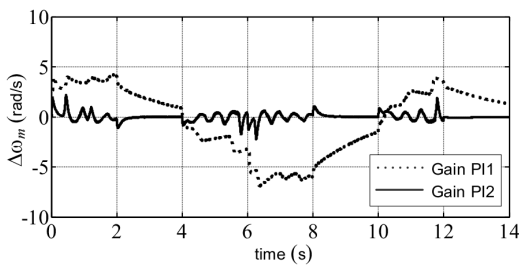


Figure 4 speed errors owing to the first and second gains and the nominal parameters

ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ระบุ

1. ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ Rr มีค่าเป็น 10 เท่าของค่าที่ระบุ

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าความต้านทานโรเตอร์เท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนชุดที่ 1 ค่าไอเกนชุดที่ 3 ที่แสดงใน Table 4 จะมีค่าไอเกน 4 ค่าแรกที่ใกล้เคียงกับค่าไอเกน 4 ค่าแรกของค่าไอเกนชุดที่ 1 ที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพที่แสดงใน Table 3 และค่าไอเกนชุดที่ 3 มีค่าไอเกนที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 5 จึงเหมือนกับผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 2 เมื่อมอเตอร์และโหลดหมุนกลับทิศทาง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 7 (กราฟเส้นประ) จะเพิ่มขึ้น

เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนชุดที่ 2 ค่าไอเกนชุดที่ 4 ที่แสดงใน Table 4 จะมีค่าไอเกน 4 ค่าแรกที่ใกล้เคียงกับค่าไอเกน 4 ค่าแรกของค่าไอเกนชุดที่ 2 ที่แสดงใน Table 3 และค่าไอเกนชุดที่ 4 มีค่าไอเกนที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 3 ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 6 มีการพุ่งเกิน

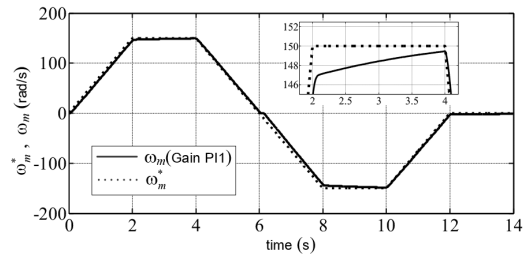


Figure 5 speed reference and speed response thanks to the first PI gains and Rr at the ten times of its nominal value

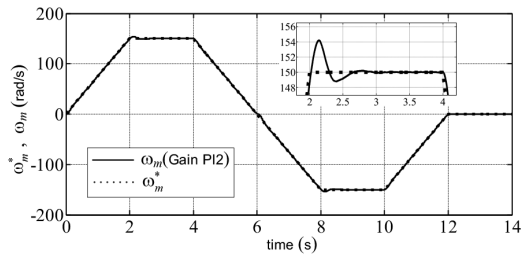


Figure 6 speed reference and speed response caused by the second PI gains and Rr at the ten times of its nominal value

เพิ่มขึ้นและมีการพุ่งต่ำในสถานะชั่วคราว เพราะพลวัตไม่เชิงเส้นของการเร่งความเร็วได้รับการกระตุ้นเพิ่มขึ้น ผลตอบสนองจะใช้ช่วงระยะเวลานานกว่าในการลู่เข้าหาความเร็วอ้างอิง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 7 (กราฟเส้นทึบ) จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ค่าเกนชุดที่ 1 ให้ความผิดพลาดของความเร็วมากกว่าความผิดพลาดของความเร็วที่ได้รับจากค่าเกนชุดที่ 2

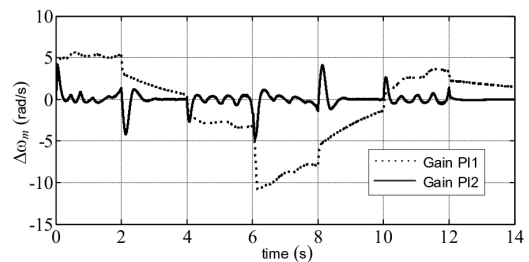


Figure 7 speed errors due to the first and second PI gains and Rr at the ten times of its nominal value

2. ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ Rs มีค่าเป็น 10 เท่าของค่าที่ระบุ

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าความต้านทานสเตเตอร์เท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่า

เกณฑ์ที่ 1 ค่าไอเกณฑ์ที่ 5 ที่แสดงใน Table 5 จะมีค่าไอเกณฑ์ 4 ค่าแรกที่เป็นคู่สังยุคของจำนวนเชิงซ้อน 2 คู่ที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพของระนาบเชิงซ้อน และค่าไอเกณฑ์ที่ 5 มีค่าไอเกณฑ์ที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 8 จึงเหมือนกับผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 2 เมื่อมอเตอร์และโหลดเริ่มเดินเครื่องและหมุนกลับทิศทาง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 10 (กราฟเส้นประ) จะเพิ่มขึ้น

เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกณฑ์ที่ 2 ค่าไอเกณฑ์ที่ 6 ที่แสดงใน Table 5 จะมีค่าไอเกณฑ์ 4 ค่าแรกที่ไม้อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพ และมีค่าไอเกณฑ์ที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 9 มีการพุ่งเกินที่ใกล้เคียงกับการพุ่งเกินของผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 3 และมีสถานะชั่วคราวในช่วงระยะเวลาที่นานกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อมอเตอร์และโหลดเริ่มเดินเครื่องและหมุนกลับทิศทาง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 10 (กราฟเส้นทึบ) จะมากกว่าความผิดพลาดที่แสดงใน Figure 4 (กราฟเส้นทึบ) ค่าเกณฑ์ที่ 1 ให้ความผิดพลาดของความเร็วมากกว่าความผิดพลาดของความเร็วที่ได้รับจากค่าเกณฑ์ที่ 2

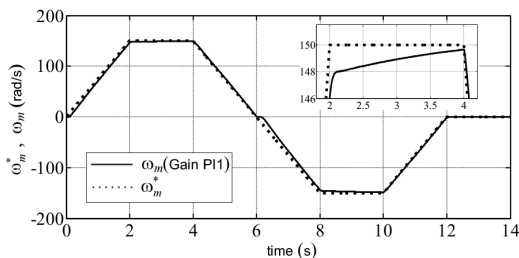


Figure 8 speed reference and speed response owing to the first PI gains and Rs at the ten times of its nominal value

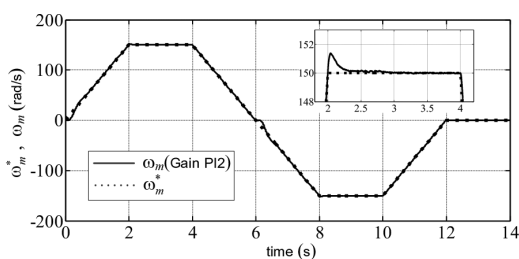


Figure 9 speed reference and speed response thanks to the second PI gains and Rs at the ten times of its nominal value

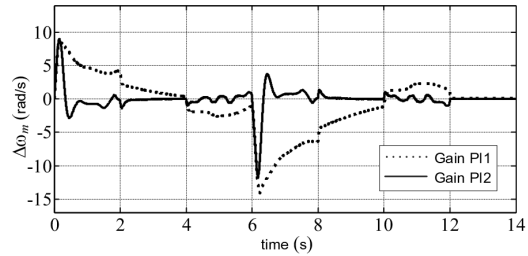


Figure 10 speed errors caused by the first and second PI gains and Rs at the ten times of its nominal value

ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้งาน มีแผนการคำนวณฟลักซ์แม่เหล็ก โรเตอร์ที่ใช้ค่าความต้านทานสเตเตอร์ และฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์ที่ได้จากการคำนวณจะนำมาใช้ในการแปลงพิกัด การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานสเตเตอร์จะมีผลกระทบต่อความถูกต้องของการคำนวณฟลักซ์แม่เหล็กโรเตอร์ ผลตอบสนองจึงมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้น

3. ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีค่าเป็น 10 เท่าของค่าที่ระบุ

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 10 เท่าของค่าที่ระบุ เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกณฑ์ที่ 1 ค่าไอเกณฑ์ที่ 7 ที่แสดงใน Table 6 จะมีค่าไอเกณฑ์ 4 ค่าแรกที่ใกล้เคียงกับค่าไอเกณฑ์ 4 ค่าแรกของค่าไอเกณฑ์ที่ 1 ที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพที่แสดงใน Table 3 และค่าไอเกณฑ์ที่ 7 มีค่าไอเกณฑ์ที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ แต่ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 11 มีความแตกต่างจากผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 2 เมื่อมอเตอร์และโหลดเริ่มเดินเครื่องและหมุนกลับทิศทาง ความผิดพลาดของความเร็วแสดงใน Figure 13 (กราฟเส้นประ) จะเพิ่มขึ้น

เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกณฑ์ที่ 2 ค่าไอเกณฑ์ที่ 8 ที่แสดงใน Table 6 จะมีค่าไอเกณฑ์ 5 ค่าแรกที่ไม้อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพ แต่ค่าไอเกณฑ์ 2 ค่าที่เป็นคู่สังยุคเชิงซ้อนมีขนาดของส่วนจินตภาพมากกว่าขนาดของส่วนจริง และค่าไอเกณฑ์ที่ 8 มีค่าไอเกณฑ์ที่เหลืออีก 3 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 3 ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 12 มีการพุ่งเกินมากกว่า มีการพุ่งต่ำ มีการแกว่ง และมีสถานะชั่วคราวในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน เพราะค่าไอเกณฑ์ที่ 8 มีค่าไอเกณฑ์ 2 ค่าที่เป็นคู่สังยุคเชิงซ้อนเด่น ผลตอบสนองมีแนวโน้มเข้าสู่หาความเร็วอ้างอิง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 13 (กราฟเส้นทึบ) จะมากกว่าความผิดพลาดที่แสดงใน Figure 4

(กราฟเส้นทึบ) ค่าเกนชุดที่ 1 ให้ความผิดพลาดของความเร็วมากกว่าความผิดพลาดของความเร็วที่ได้รับจากค่าเกนชุดที่ 2

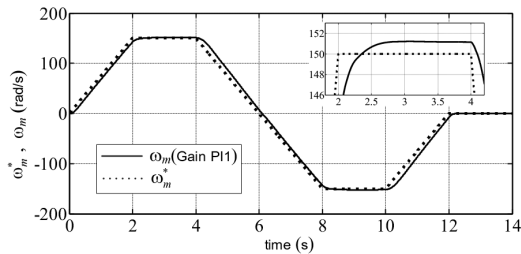


Figure 11 speed reference and speed response due to the first PI gains and J at the ten times of its nominal value

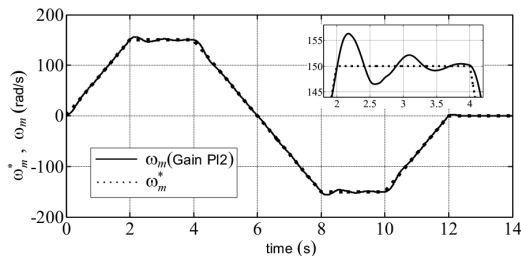


Figure 12 speed reference and speed response owing to the second PI gains and J at the ten times of its nominal value

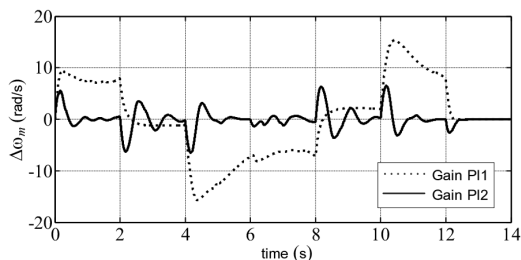


Figure 13 speed errors thanks to the first and second PI gains and J at the ten times of its nominal value

4. ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ R_r, R_s และ J มีค่าเป็น 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าความต้านทานโรเตอร์และค่าความต้านทานสเตเตอร์เท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน และมอเตอร์และโหลดเชิงกลมีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 4 เท่าของค่าที่ระบุ เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนชุดที่ 1 ค่าไอเกนชุดที่ 9 ที่แสดงใน Table 7 จะมีค่าไอเกน 4

ค่าแรกทีใกล้เคียงกับค่าไอเกน 4 ค่าแรกของค่าไอเกนชุดที่ 1 ที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพที่แสดงใน Table 3 และค่าไอเกนชุดที่ 9 มีค่าไอเกนที่เหลืออีก 4 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ แต่ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 14 มีความแตกต่างจากผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 2 เมื่อมอเตอร์และโหลดเริ่มเดินเครื่องและหมุนกลับทิศทาง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 16 (กราฟเส้นประ) จะเพิ่มขึ้น

เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนชุดที่ 2 ค่าไอเกนชุดที่ 10 ที่แสดงใน Table 7 จะมีค่าไอเกน 5 ค่าแรกที่ไม่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพ แต่ค่าไอเกน 2 ค่าที่เป็นคู่สังยุคเชิงซ้อนมีขนาดของส่วนจินตภาพมากกว่าขนาดของส่วนจริง และค่าไอเกนชุดที่ 10 มีค่าไอเกนที่เหลืออีก 3 ค่าที่อยู่ห่างจากแกนจินตภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่แสดงใน Figure 3 ผลตอบสนองความเร็วที่แสดงใน Figure 15 มีการพุ่งเกินมากกว่า มีการพุ่งต่ำ มีการแกว่ง และมีสถานะชั่วคราวในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน เพราะค่าไอเกนชุดที่ 10 มีค่าไอเกน 2 ค่าที่เป็นคู่สังยุคเชิงซ้อนเด่น ผลตอบสนองมีแนวโน้มลู่ออกหาความเร็วอ้างอิง ความผิดพลาดของความเร็วที่แสดงใน Figure 16 (กราฟเส้นทึบ) จะมากกว่าความผิดพลาดที่แสดงใน Figure 4 (กราฟเส้นทึบ) ค่าเกนชุดที่ 1 ให้ความผิดพลาดของความเร็วมากกว่าความผิดพลาดของความเร็วที่ได้รับจากค่าเกนชุดที่ 2

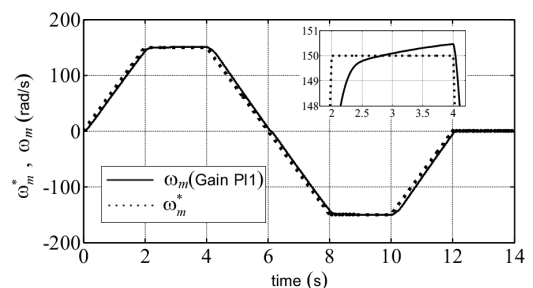


Figure 14 speed reference and speed response caused by the first PI gains and R_r, R_s, J at the four times of nominal values

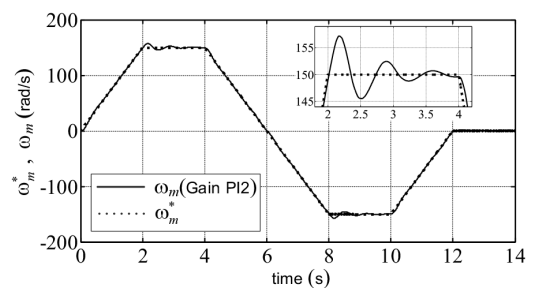


Figure 15 speed reference and speed response due to the second PI gains and R_r, R_s, J at the four times of nominal values

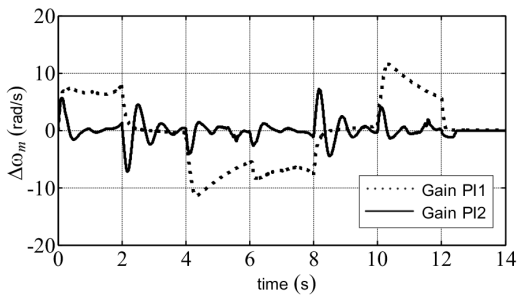


Figure 16 speed errors owing to the first and second PI gains and R_r , R_s , J at the four times of their nominal values

5. ผลการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ R_r , R_s และ J มีค่าเป็น 4 เท่าของค่าที่ระบุพร้อมกัน และมอเตอร์หมุนในสภาวะไร้โหลด

เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกินชุดที่ 1 (Gain PI1) และมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีโหลดทอร์ค ($T_L = 0$) ด้านทานการหมุนหรือมอเตอร์หมุนในสภาวะไร้โหลด (no-load condition) หลังจากความเร็วอ้างอิง (กราฟเส้นประ) ที่แสดงใน Figure 17 มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงและมีค่าคงที่ที่ไม่เป็นศูนย์ ระบบควบคุมวงปิดจะให้ผลตอบสนองความเร็ว (กราฟเส้นทึบ) ที่มีการพุ่งเกินในช่วงระยะเวลายาวนาน และมีแนวโน้มของการเกิดความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกินชุดที่ 2 (Gain PI2) ระบบควบคุมวงปิดจะให้ผลตอบสนองความเร็ว (กราฟเส้นทึบ) ที่แสดงใน Figure 18 ที่มีการพุ่งเกินสูงกว่าเล็กน้อย แต่การพุ่งเกินเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น และสถานะชั่วคราวมีช่วงระยะเวลาสั้นกว่า ผลตอบสนองจะลู่เข้าหาความเร็วอ้างอิง (กราฟเส้นประ) ในสถานะอยู่ตัว และผลตอบสนองจะติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอ้างอิงได้ดีกว่า เพราะตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกินชุดที่ 2 ให้ความผิดพลาดของความเร็ว (กราฟเส้นทึบ) ที่แสดงใน Figure 19 น้อยกว่าความผิดพลาดของความเร็ว (กราฟเส้นประ) ที่ได้รับจากค่าเกินชุดที่ 1

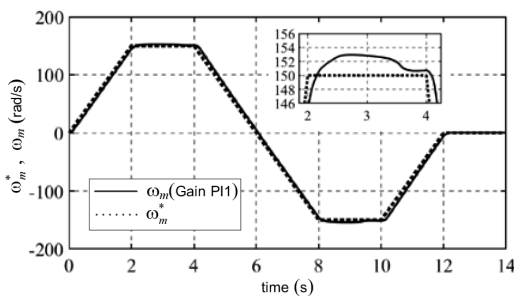


Figure 17 speed reference and speed response thanks to the first PI gains and R_r , R_s , J at the four times of their nominal values under no-load condition

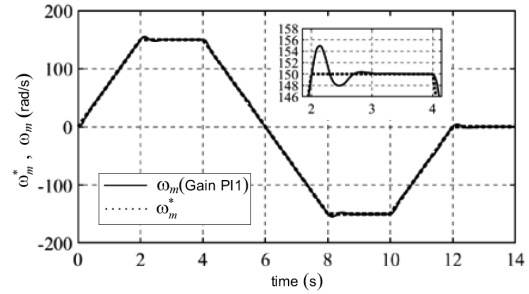


Figure 18 speed reference and speed response caused by the second PI gains and R_r , R_s , J at the four times of their nominal values under no-load condition

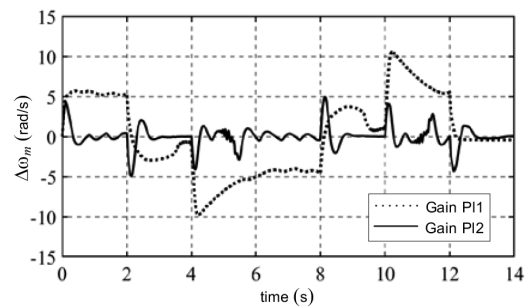


Figure 19 speed errors due to the first and second PI gains and R_r , R_s , J at the four times of their nominal values under no-load condition

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำขับเคลื่อนโหลดเชิงกลและมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนในสภาวะไร้โหลด ตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกินที่ได้รับจากการคำนวณโดยตรง จะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าความผิดพลาดของผลตอบสนองความเร็วที่เกิดจากตัวควบคุมพีไอที่มีค่าเกินที่ได้รับจากการสุ่มเลือก

สมรรถนะของผลตอบสนองที่เกิดจากการคำนวณค่าเกินโดยตรงและการสุ่มเลือกค่าเกิน

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับค่าที่ระบุและแตกต่างจากค่าที่ระบุ เมื่อความเร็วอ้างอิงต้องการให้มอเตอร์และโหลดหมุนด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ความเร็วที่ลดลง และหมุนกลับทิศทาง ตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวที่มีค่าเกินที่ได้จากการคำนวณโดยตรงจะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า และถ้าความเร็วอ้างอิงต้องการให้มอเตอร์และโหลดหมุนด้วยความเร็วคงที่ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น ผลตอบสนองความเร็วจะมีแนวโน้มลู่เข้าหาความเร็วอ้างอิง เพราะเมตริกซ์สัมประสิทธิ์มีค่าไอเกนที่ใกล้กับแกนจินตภาพมากที่สุดอยู่ห่างจากแกน

จินตภาพ และถ้าเมตริกซ์สัมประสิทธิ์มีค่าไอเกนบางค่าที่เป็นคู่สังยุคเชิงซ้อนเด่น ค่าไอเกนจะมีขนาดของส่วนจินตภาพที่มากกว่าขนาดของส่วนจริงน้อยกว่า 2 เท่า และผลตอบสนองความเร็วจะมีการพุ่งเกินที่ไม่สูงมากในสถานะชั่วคราว เมื่อตัวควบคุมพีไอมีค่าเกนที่ได้จากการสุ่มเลือก ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดมากกว่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นสูงกว่า เพราะเมตริกซ์สัมประสิทธิ์อาจจะมีค่าไอเกนบางค่าที่อยู่ใกล้กับแกนจินตภาพมาก การสุ่มเลือกค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวที่ทำให้ค่าไอเกนทุกค่าอยู่ห่างจากแกนจินตภาพ คืองานที่ใช้ระยะเวลายาวนานและไม่มีความแน่นอน

สรุป

ระบบควบคุมความเร็ววงปิดแบบเวกเตอร์โดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีตัวควบคุมพีไอ 4 ตัว จะมีเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ที่มีค่าไอเกน 8 ค่า เมื่อมอเตอร์และโหลดเชิงกลมีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงและแตกต่างจากค่าที่ระบุ ค่าไอเกนบางค่าหรือทุกค่าจะเปลี่ยนแปลงจากค่าเดิมหรือจากค่าที่ได้เลือกในขั้นตอนการคำนวณโดยตรง การเปลี่ยนแปลงของค่าไอเกนจะมีผลกระทบต่อผลตอบสนองความเร็วที่มีแนวโน้มของความผิดพลาดมากขึ้น การนำค่าไอเกน 8 ค่ามาคำนวณหาค่าเกนของตัวควบคุมโดยตรงและค่าไอเกนที่ใกล้กับแกนจินตภาพมากที่สุดมีตำแหน่งอยู่ห่างจากแกนจินตภาพ ระบบควบคุมจะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า แต่การเลือกค่าไอเกนทุกค่าที่มีค่าลบที่เหมาะสมเท่านั้นจะได้รับค่าเกนทุกค่าของตัวควบคุมที่มีค่าบวก การสุ่มเลือกค่าเกนของตัวควบคุมพีไอ 4 ตัวอาจจะได้รับค่าไอเกนบางค่าที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับแกนจินตภาพมาก และระบบควบคุมจะให้ผลตอบสนองความเร็วที่มีความผิดพลาดมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

1. Abu Rub H, Iqbal A, Guzinski J. High performance control of AC drives with MATLAB/SIMULINK models. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons; 2012.
2. Ohishi K, Hayasaka E, Nagano T, Hara K, Kanmachi T. High-performance speed servo system considering voltage saturation of a vector-controlled induction motor. IEEE Trans Ind Electron 2006 Jun;53(3):795-802.
3. Sul SK. Control of electric machine drive systems. New Jersey, USA: John Wiley & Sons; 2011.
4. กุลพงษ์ บุญมาวงศ์, วิโรจน์ แสงธงทอง. การเขียนโปรแกรมเชิงสัญลักษณ์ที่ใช้หาค่าตอบของระบบสมการไม่เชิงเส้นที่มี 8 สมการและ 8 ตัวแปร. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 41 (Volume 2). 21-23 พฤศจิกายน 2561; โรงแรมสุนีย์แกรนด์. อุบลราชธานี: หน้า 282-5.
5. กุลพงษ์ บุญมาวงศ์, วิโรจน์ แสงธงทอง. สมการปริภูมิสถานะของการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ที่มีตัวควบคุมพีไอสี่ตัว. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 40 (Volume II). 15-17 พฤศจิกายน 2560; โรงแรมเดอะชาयน์. บางละมุง, ชลบุรี: หน้า 476-9.
6. Hydro-Quebec TransEnergie Technologies. SimPowerSystems for use with Simulink: user's guide version 3. Natick, MA: The MathWorks; 2003.
7. Lopez CP. MATLAB symbolic algebra and calculus tools: hands-on MATLAB training and exercises. New York, USA: Springer; 2014. (MATLAB solutions series). 8. Tang J, Yang Y, Diao L, Chen J, Chang Y, Liu Z. Parameter identification of induction motors for railway traction applications. In: Proceedings of the 10th Annual 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE); 2018 Sep 23-27; Portland, OR, USA; p. 284-8.

การประยุกต์ระบบการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เพื่อแนะนำการท่องเที่ยวในพื้นที่ 12 เมือง ต้องห้าม... พลาดในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง

Applications of Location Based Services for Suggesting Tourist Attraction in 12 Hidden Gems Cities of the Central Tourism Group

ธัญญรัตน์ ไชยคราม^{1*}

Thanyarat Chaiyakarm^{1*}

Received: 6 August 2018 ; Revised: 4 March 2019 ; Accepted: 24 April 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยว พร้อมทั้งจำแนกประเภทการท่องเที่ยวตามลักษณะและกิจกรรมของแหล่งท่องเที่ยว และ 2) เพื่อแนะนำแหล่งท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยี Location Based Service (LBS) ผ่านการให้บริการของ Google Maps GIS online สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวโดยใช้โทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ ตามความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวทั้งในด้านระยะเวลา ลำดับและทิศทางในการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว เพื่อเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวและเป็นการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวในเมืองทางเลือก การประยุกต์ระบบการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เพื่อให้บริการแนะนำการท่องเที่ยวพร้อมทั้งจัดทำแผนที่การท่องเที่ยว จากการลงสำรวจพื้นที่เพื่อจัดเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของแหล่งท่องเที่ยวด้วยเครื่อง A-GPS (Assisted GPS) ผลการศึกษา พบว่าในพื้นที่ศึกษามีแหล่งท่องเที่ยว โดยจำแนกตามเกณฑ์ของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยได้ 8 ประเภท คือการท่องเที่ยวประเภท นิเวศและการเกษตร ประเภทน้ำพุร้อนธรรมชาติ ประเภทถ้ำ ประเภทน้ำตก ประเภทประวัติศาสตร์ ประเภทวัฒนธรรมและ ประเพณี ประเภทศิลปวิทยาการ และประเภทนันทนาการ ซึ่งในแต่ละจังหวัดมีแหล่งท่องเที่ยว ดังนี้ จังหวัดราชบุรี จำนวน 67 แห่ง จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 72 แห่ง จังหวัดนครปฐม จำนวน 21 แห่ง และจังหวัดสมุทรสงคราม จำนวน 20 แห่ง รวมทั้งสิ้น 180 แห่ง แล้วนำแหล่งท่องเที่ยวทั้งหมดมาระบุตำแหน่งด้วยการบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Location Based Service: LBS) เพื่อแสดงผลผ่านทางโทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ ตลอดจนยังเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ไปยังผู้ใช้งานอื่นได้หลากหลายช่องทาง เช่น Gmail, Google Drive, Facebook และ Twitter ซึ่งสามารถทำได้ สะดวก และง่าย เพื่อใช้วางแผนการเดินทางสำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยเส้นทาง และแนะนำแหล่งท่องเที่ยวที่ไม่ควรพลาดเมื่อมาท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษา

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เทคโนโลยี Google Maps GIS online 12 เมือง
ต้องห้าม... พลาด

Abstract

The objectives of this research were: 1) to study the location of tourist attractions including classifying the types of tourism by characteristics and tourist site activity and 2) to suggest tourist attractions using Location Based Service (LBS) technology through Google Maps GIS online service for itinerary planning using mobile portable devices according to the tourist satisfaction in order to provide the tourist information about distance, time, order and direction to access the location with the lowest expenses and also publicize the alternative city tourist attractions. Application of the

¹ อาจารย์ประจำ, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

¹ สังกัดหน่วยปฏิบัติการ ด้านภูมิศาสตร์ ภูมิสารสนเทศและการจัดการทรัพยากร

¹ Lecturer, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand.

¹ Academic Service and Research Unit in Geographic and Natural Resource Management

* Corresponding author; Thanyarat Chaiyakarm, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Cherry.mrtech@gmail.com

geographic information system for tourist attraction locating and tourism mapping by area survey for collecting the tourist location using A-GPS (Assisted GPS), revealed that there were 8 tourist attraction types in the area of study classified in accordance with the criteria of Tourism Authority of Thailand: eco-tourism and agricultural attractions, natural hot spring attractions, cave attractions, waterfall attractions, historical attractions, cultural attractions, Arts and Sciences educational attractions and recreational attractions. The numbers of attractions in each province were as follows: 67 attractions in Ratchaburi province, 72 attractions in Suphan Buri province, 21 attractions in Nakhon Pathom province, and 20 attractions in Samut Songkhram province, 180 attractions altogether. All tourist attractions were used for locating with Location Based Service (LBS) and displayed through cell phones, PDAs or other mobile devices. Information could be distributed and publicized conveniently to other people via various channels such as Gmail, Google Drive, Facebook and Twitter. It will be useful in itinerary planning for the people who were unaccustomed to the routes and require suggestion of the hidden gems attractions in the area of study.

Keywords: Geographic Information System, Location Based Service (LBS), Google Maps GIS online, 12 hidden gems cities

บทนำ

เทคโนโลยีด้านการสื่อสารการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินกิจกรรมของผู้คนในแต่ละวันมากขึ้นทั้งยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่ออำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือเทคโนโลยีการบริการการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ โดยใช้อุปกรณ์พกพาหรือที่เราเรียกกันดีในนามของเทคโนโลยี Location Based Service (LBS) และเทคโนโลยีการให้บริการแผนที่ผ่านเว็บไซต์ (Web Map Services) หรือการให้บริการแผนที่ออนไลน์ ซึ่งเป็นอีกเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาและปรับพัฒนาให้มีการทำงานร่วมกันอย่างลงตัวมากขึ้น และเป็นที่ยอมรับมากในสังคมในปัจจุบัน เนื่องจากทั้งสองเทคโนโลยีมีประโยชน์ในการใช้ชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น เรามักใช้บริการแผนที่ออนไลน์ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบตัวอย่างของบริการต่างๆ เช่น ใช้ในกรณีฉุกเฉินการกู้ภัยอุบัติเหตุซึ่งจะเข้าถึงจุดเกิดเหตุได้เร็วขึ้น หรือเป็นการบริการเกี่ยวกับการเฝ้าติดตามทรัพย์สิน หรือสิ่งที่อยู่ในความสนใจ ตลอดจนการให้บริการนำทาง (Navigation Service) ที่ใช้ในการค้นหาสถานที่ เส้นทางสำหรับการเดินทาง ตรวจสอบสภาพจราจร ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ให้บริการแผนที่ออนไลน์ที่มีผู้พัฒนามากขึ้นเพื่อรองรับและให้บริการแก่ประชากรในสังคมทั้ง Google Maps, Bing Maps และ Yahoo Maps เป็นต้น หลายครั้งเราจะพบงานวิชาการ งานวิจัยหลายฉบับที่นำหลักการและเทคโนโลยีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆ ซึ่งสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ก็เล็งเห็นถึงคุณค่าและประโยชน์ที่จะพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านการท่องเที่ยวที่ปัจจุบันได้กลายเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย ทั้งนี้โดยพิจารณาจากความพร้อม และศักยภาพของประเทศที่มีต่อการท่องเที่ยว ซึ่งประเทศไทยมี

จุดเด่นและข้อได้เปรียบประเทศอื่นๆหลายประการ ที่มีความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติ ศิลปวัฒนธรรม และประเพณีที่เป็นเอกลักษณ์ ในปี 2558 World Economic Forum: WEF ได้จัดอันดับขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยวโดยพิจารณาจากศักยภาพการรองรับและการให้บริการแก่นักท่องเที่ยว ประเทศไทยจัดอยู่ในอันดับที่ 35 จาก 141 ประเทศทั่วโลก นับได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการท่องเที่ยวเป็นอันดับต้นๆของโลกประกอบกับนโยบายของรัฐที่ทำงานร่วมกับหน่วยงานต่างๆ ที่มุ่งเน้นการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจบริการและการท่องเที่ยวให้มีศักยภาพเติบโต และสนับสนุนภาคการผลิต เพื่อให้เกิดความสมดุลและยั่งยืนในการพัฒนาอุตสาหกรรมท่องเที่ยวที่คำนึงถึงขีดความสามารถในการรองรับของระบบนิเวศ และศักยภาพของพื้นที่ รวมทั้งการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ครอบคลุมทุกมิติและครบวงจร จากความร่วมมือกันของภาครัฐและเอกชน ได้จัดโครงการส่งเสริมการท่องเที่ยวระหว่างเมืองหลักกับเมืองทางเลือก² การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย หรือ ททท. ได้เปิดตัวโครงการ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด Plus ประจำปี 2561 เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของนักท่องเที่ยวจากเมืองท่องเที่ยวหลักไปสู่เมืองท่องเที่ยวทางเลือกที่มีศักยภาพ โดยได้ดำเนินงานต่อเนื่องเป็นปีที่ 4 ต่อจากโครงการ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด โดยมีจังหวัดที่เข้าร่วมโครงการ ดังนี้ คือ ภาคเหนือ 6 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง ลำพูน น่าน แพร่ เพชรบูรณ์ พิษณุโลก ภาคอีสาน 4 จังหวัด ได้แก่ เลย ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ภาคกลาง 4 จังหวัด ได้แก่ ราชบุรี สุพรรณบุรี สมุทรสงคราม นครปฐม ภาคตะวันออก 4 จังหวัด ได้แก่ จันทบุรี สระแก้ว ตราด ระยอง ภาคใต้ 6 จังหวัด ได้แก่ ชุมพร ระนอง ตรัง สตูล นครศรีธรรมราช พัทลุง โดยมุ่งเน้นจุดขายที่เป็นเอกลักษณ์ในแต่ละเมือง และกระตุ้นการท่องเที่ยวในเชิงคุณภาพมากกว่า

ปริมาณ สำหรับโครงการ 12 เมืองต้องห้าม...พลาดนี้ ได้เริ่มต้นดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2558 ซึ่งเท่าที่ผ่านมาได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีจากทุกภาคส่วนไม่ว่าจะเป็นนักท่องเที่ยวจากทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ หน่วยงานภาครัฐและเอกชนในพื้นที่ 12 เมืองต้องห้ามพลาด ส่งผลให้มีจำนวนนักท่องเที่ยวและรายได้ของเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี โดยตั้งแต่ในช่วงเดือนมกราคม ถึง สิงหาคม 2560 มีนักท่องเที่ยวชาวไทยเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศจำนวน 13.6 ล้านคน คิดเป็นรายได้จากการเดินทางท่องเที่ยว 52,400 ล้านบาท³

จังหวัดราชบุรี สุพรรณบุรี สมุทรสงคราม นครปฐม เป็นกลุ่มการท่องเที่ยวในเขตภาคกลางที่เข้าร่วมในโครงการ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด Plus ปี 2560 ด้วยเนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพทางพื้นที่และมีโครงสร้างพื้นฐานทางสังคม รวมทั้งมีประวัติอันยาวนานควรค่าแก่การศึกษา และมีศิลปวัฒนธรรมประเพณีที่โดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ โดยเฉพาะกลุ่มการท่องเที่ยวตามวิถีชีวิตลุ่มแม่น้ำภาคกลาง ซึ่งเป็นกลุ่มพื้นที่ที่ควรอนุรักษ์ อีกทั้งเป็นกลุ่มจังหวัดที่มีศักยภาพสูงสามารถพัฒนาเป็นเขตพื้นที่สำหรับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ตามมาตรฐานสากล เนื่องจากมีทรัพยากรธรรมชาติและโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมที่มีคุณภาพและมีมาตรฐานเชื่อมโยงระหว่างจังหวัดต่างๆ สะดวกทั้งภายในและภายนอกภูมิภาค นับได้ว่าเป็นกลุ่มจังหวัดที่มีการบริการด้านโครงสร้างพื้นฐานที่ดีในระดับที่น่าพอใจแต่ทว่ายังขาดประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวที่ดี และประชาสัมพันธ์ได้ยังไม่ทั่วถึง แหล่งท่องเที่ยวบางแห่งยังไม่เป็นที่รู้จัก ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวและการเชื่อมโยงระหว่างแหล่งท่องเที่ยวแต่ละแหล่งยังไม่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับทำการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวต้องใช้งบประมาณที่สูงมากทำให้เกิดปัญหาแหล่งท่องเที่ยวบางแห่งขาดงบประมาณในการทำการประชาสัมพันธ์ ทำให้ไม่เป็นที่รู้จัก แหล่งท่องเที่ยวบางแห่งถูกมองข้าม ทั้งที่เป็นแหล่งที่มีคุณค่าต่อการท่องเที่ยวและนำศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัยพื้นที่ท่องเที่ยวตามทิศทางกรขับเคลื่อนการท่องเที่ยวในประเทศไทย ตามกลยุทธ์ของกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา ด้านพื้นที่ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้บริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ในรูปแบบของแผนที่ออนไลน์ (Location Based Service: LBS) ร่วมกับเทคโนโลยี Google Maps GIS online ที่เป็นเว็บแมพเซอร์วิสซึ่งเป็นเว็บแมพที่ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ แต่ผู้พัฒนาต้องปฏิบัติตามข้อตกลงและเงื่อนไขต่างๆ ตามที่ Google Maps กำหนดไว้เท่านั้น สำหรับ

การพัฒนาและสร้างแผนที่เพื่อให้บริการแนะนำแผนที่ออนไลน์สำหรับการท่องเที่ยวในพื้นที่ 12 เมือง ต้องห้าม...พลาด ในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง และแสดงผลทางโทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ และประชาสัมพันธ์ไปยังผู้ใช้งานอื่นได้หลากหลายช่องทาง เช่น Gmail, Google Drive, Facebook และ Twitter ซึ่งสามารถสืบค้นได้ง่าย สะดวก และปรับปรุงเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลได้รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำและมีค่าใช้จ่ายน้อย หรือแทบไม่มีค่าใช้จ่ายเลย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาตำแหน่งที่ตั้งพร้อมทั้งจำแนกประเภทการท่องเที่ยวตามลักษณะและกิจกรรมของแหล่งท่องเที่ยวสำหรับการบริการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยี Location Based Service (LBS) Online ผ่านการให้บริการของ Google MapsGIS online

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในรูปแบบของแผนที่ออนไลน์ในเขตพื้นที่ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด ในพื้นที่ศึกษา 4 จังหวัด คือ จังหวัดราชบุรี สุพรรณบุรี สมุทรสงคราม และจังหวัดนครปฐม

2. การวิจัยจะเลือกวิเคราะห์ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวออนไลน์บนเทคโนโลยี Google Maps GIS online โดยใช้ยานพาหนะจากรถยนต์ส่วนบุคคลเท่านั้นในการควบคุมความเร็วภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆในการใช้งานจริงของการใช้ถนน

3. โทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆต้องอยู่ในสถานะใช้ระบบ Internet ทุกครั้งพร้อมทั้งสามารถระบุตำแหน่งได้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการรวบรวมข้อมูลจากการลงสำรวจภาคสนามและสัมภาษณ์นักท่องเที่ยว ผู้ประกอบการในแหล่งท่องเที่ยว และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

2. ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นการรวบรวมข้อมูลของแหล่งท่องเที่ยวจากเอกสาร หนังสือ วารสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งข้อมูลคุณลักษณะของแหล่งท่องเที่ยว เช่น เวลาเปิด-ปิด สิ่งอำนวยความสะดวก และการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว

3. รวบรวมชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ เพื่อสร้างความเชื่อมโยงของฐานข้อมูลตำแหน่งที่ตั้ง และข้อมูลเชิงคุณลักษณะของแหล่งท่องเที่ยวในมาตราส่วน 1:50,000

วิธีดำเนินการวิจัย

การประยุกต์สารสนเทศภูมิศาสตร์สร้างแผนที่ออนไลน์ผ่าน Google Maps GIS online เพื่อแนะนำแหล่งท่องเที่ยวในเขตพื้นที่ 12 เมือง ต้องห้าม...พลาด ในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลางโดยมีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวจากการลงสำรวจภาคสนาม และจากการสัมภาษณ์ เพื่อจัดเก็บตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์และข้อมูลคุณลักษณะของแหล่งท่องเที่ยว โดยใช้เครื่อง Assisted GPS: A-GPS จำนวนทั้งสิ้น 180 แห่ง ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 จังหวัด

2. จำแนกประเภทของแหล่งท่องเที่ยวตามลักษณะความสำคัญ และสภาพแวดล้อม ตามเกณฑ์การแบ่งของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย ซึ่งแบ่งเป็น 12 ประเภท⁴ ตามลักษณะและกิจกรรมของแหล่งท่องเที่ยว ได้แก่แหล่งท่องเที่ยวประเภทเชิงนิเวศ ประเภทศิลปวิทยาการ ประเภทประวัติศาสตร์ ประเภทธรรมชาติ ประเภทนันทนาการ ประเภทวัฒนธรรม ประเภทสุขภาพน้ำพุร้อน ประเภทชายหาด ประเภทน้ำตก ประเภทถ้ำ ประเภทเกาะ และประเภทแก่ง

3. ศึกษาข้อจำกัดการทำงานของ Google Maps ซึ่งการนำเสนอแผนที่ออนไลน์ที่แสดงบนเว็บไซต์ของ Google Maps นั้นเราไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้งานได้ทั้งหมด แต่จะเป็นการนำข้อมูลมาแสดงผลภายใต้ข้อตกลงและเงื่อนไขต่างๆ ตามที่ Google Maps ได้กำหนดไว้เพื่อใช้วางแผนเท่านั้น จึงไม่ปรากฏสภาพอากาศ หรือสภาพการจราจร หรือเหตุการณ์อื่นๆ ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงใดๆกับลิขสิทธิ์เครื่องหมายการค้าของ Google Maps ได้

4. จัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และนำเข้าข้อมูลเชิงตาราง (Attribute Data) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งที่ตั้ง ตำบล อำเภอ จังหวัด ชื่อแหล่งท่องเที่ยว

ประเภทการท่องเที่ยว รายละเอียดการให้บริการ ค่าพิกัด และภาพประกอบของแต่ละแหล่งท่องเที่ยว และจัดให้อยู่ในรูปแบบ Shapefile โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcGIS Desktop 10.5⁵ เพื่อแปลงระบบพิกัด และโซนที่ตั้งให้เป็นระบบเดียวกัน คือ ระบบอ้างอิง UTM (Universal Transverse Mercator) WGS 1984 zone 47

5. กำหนดคุณสมบัติของเส้นทางการคมนาคมโดยให้ชั้นข้อมูลถนน ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ 1) Cost เป็นข้อมูลที่ใช้กำหนด Impedances ของเส้นทาง เช่น เวลา หรือระยะทาง ที่ใช้ในการเดินทาง 2) Descriptors เป็นข้อมูลที่อธิบายคุณสมบัติของเส้นทาง และ 3) Hierarchy เป็นข้อมูลที่กำหนดระดับชั้นของเส้นทาง และจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล Geodatabase ที่อยู่ภายใต้ Feature ตามมาตรฐานชั้นทางหลวงสำหรับทางหลวงท้องถิ่น⁶

6. จากนั้นนำข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวและข้อมูลชั้นถนน จากข้อมูล Shapefile ที่ทำการตรวจสอบ Topology และมีระบบพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์แล้ว มาทำการ Convert จากข้อมูล Shapefile ที่มีการตรวจสอบ Topology แล้วให้เป็นนามสกุล KML หรือ KMZ แล้วนำเข้าเข้าไปไว้ใน Google Maps และเรียกใช้งานผ่าน Google API ที่เชื่อมต่อกับ Account (บัญชี) อีเมล ที่เป็น Gmail.com

7. กำหนดชั้นข้อมูลรายละเอียดของแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ในการแสดงผลบน Google Maps GIS online เช่น ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้ง ตำบล อำเภอ จังหวัด ชื่อแหล่งท่องเที่ยว ประเภทการท่องเที่ยว รายละเอียดการให้บริการ ค่าพิกัดและภาพประกอบ พร้อมทั้งปรับแต่งสัญลักษณ์ และแก้ไขชื่อได้ตามต้องการ

8. หลังจากนั้นสามารถส่งต่อให้ผู้อื่นใช้งาน ผ่านระบบ Google Maps ตามรูปแบบของช่องทางการใช้งาน เช่น Google Mail Facebook และ Twitter และเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ไปยังผู้ใช้งานคนอื่นๆ จากการใช้งานบนสมาร์ตโฟน หรือ คอมพิวเตอร์ ที่สามารถทำได้ สะดวก และง่าย (Figure 1)

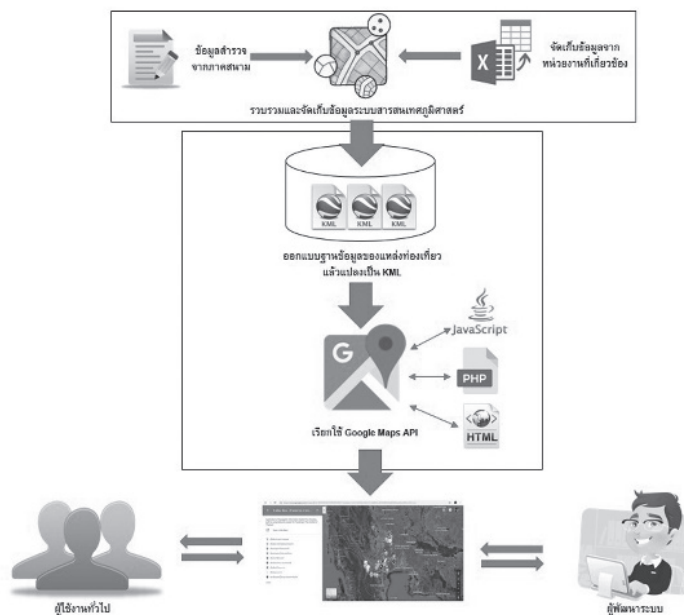


Figure 1 Google Maps GIS online Architecture

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาที่ตั้งพร้อมทั้งจำแนกประเภทการท่องเที่ยวตามลักษณะและกิจกรรมของแหล่งท่องเที่ยว ผลจากการศึกษา พบว่า ในเขตพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 จังหวัด ของเขตพื้นที่ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด กรณีศึกษากลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง จังหวัดราชบุรี สุพรรณบุรี สมุทรสงคราม นครปฐม มีแหล่งท่องเที่ยว แบ่งตามประเภทการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยได้ 8 ประเภทจากทั้งหมด 12 ประเภท คือ การท่องเที่ยวเชิงนิเวศและการเกษตร การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพน้ำพุร้อนธรรมชาติ การท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติประเภทถ้ำ การท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ ประเภทน้ำตก การท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์

การท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมและประเพณี การท่องเที่ยวทางศิลปวิทยาการ และการท่องเที่ยวเพื่อนันทนาการ โดยพบว่า มีแหล่งท่องเที่ยวประเภทประวัติศาสตร์สูงสุด 55 แห่ง รองลงมาคือ แหล่งท่องเที่ยวประเภทวัฒนธรรมและประเพณี 53 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศและการเกษตร 34 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวเพื่อนันทนาการ 17 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวทางศิลปวิทยาการ 10 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติประเภทถ้ำ 6 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ ประเภทน้ำตก 3 แห่ง และแหล่งท่องเที่ยวเชิงสุขภาพน้ำพุร้อนธรรมชาติ 2 แห่ง ตามลำดับซึ่งจังหวัดสุพรรณบุรี มีแหล่งท่องเที่ยวสูงที่สุด 72 แห่ง สามารถแสดงดัง Table 1 และ Figure 2

Table 1 All results of study Category: Types of Tourisms

Category: Types of Tourism	Province				Total
	RatchaBuri	SuphanBuri	SamutSongkharm	NakhonPathom	
1. Agro-ecotourism Attraction	16	15	1	2	34
2. Natural Hot Spring Attraction	2	0	0	0	2
3. Cave Attraction	5	1	0	0	6
4. Waterfall Attraction	2	1	0	0	3
5. Historical Attraction	10	30	10	5	55
6. Cultural and Festival Attraction	19	18	8	8	53
7. Art and Sciences Attraction	2	4		4	10
8. Recreational Attraction	11	3	1	2	17
Total Attraction	67	72	20	21	180

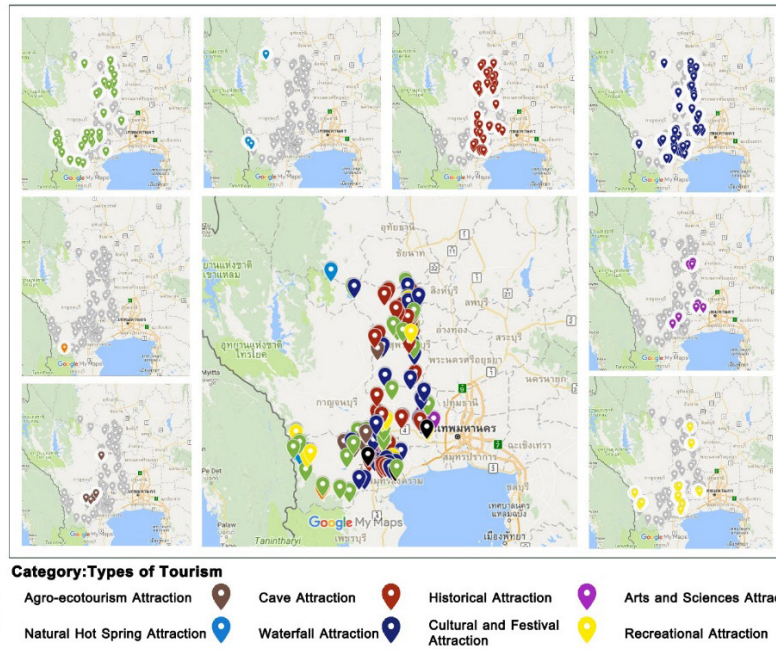


Figure 2 The map suggest tourist attractions through Google Maps GIS online

ผลการให้บริการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยี Location Based Service (LBS) Online ผ่านการให้บริการของ Google Maps GIS online

สามารถแสดงผลในมุมมองของผู้ใช้งาน ที่สามารถแสดงตำแหน่งของแหล่งท่องเที่ยวพร้อมรายละเอียดต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้น ประวัติความเป็นมา ลักษณะที่โดดเด่นของแหล่งท่องเที่ยว การให้บริการ ตำแหน่งที่ตั้ง และภาพประกอบ ซึ่งจะมีองค์ประกอบของแผนที่แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่เป็นแผนที่ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้ทั้งในรูปแบบของภาพถ่ายเทียม และรูปแบบของแผนที่ภูมิประเทศ และ 2) ส่วนที่เป็นชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ผู้พัฒนากำหนดภายใต้ข้อตกลงและเงื่อนไขต่างๆ ตามที่

Google Maps ได้กำหนดไว้โดยที่ผู้พัฒนาสามารถเรียกใช้งานแผนที่และสามารถส่งต่อเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ไปยังผู้ใช้งานคนอื่นๆที่สนใจ ผ่านการใช้งานจากโทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ เพื่อความสะดวกในการค้นหาทางขณะที่ผู้ใช้ขับรถ ซึ่งสามารถเรียกใช้งานแผนที่ได้จากหลากหลายช่องทาง เช่น Gmail, Google Drive, Facebook และ Twitter เพื่อเป็นการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวสำหรับวางแผนการเดินทางสำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยเส้นทางและจัดทำเส้นทางแนะนำในการท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษาซึ่งสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของแผนที่ได้ดัง Figure 3 และ Figure 4

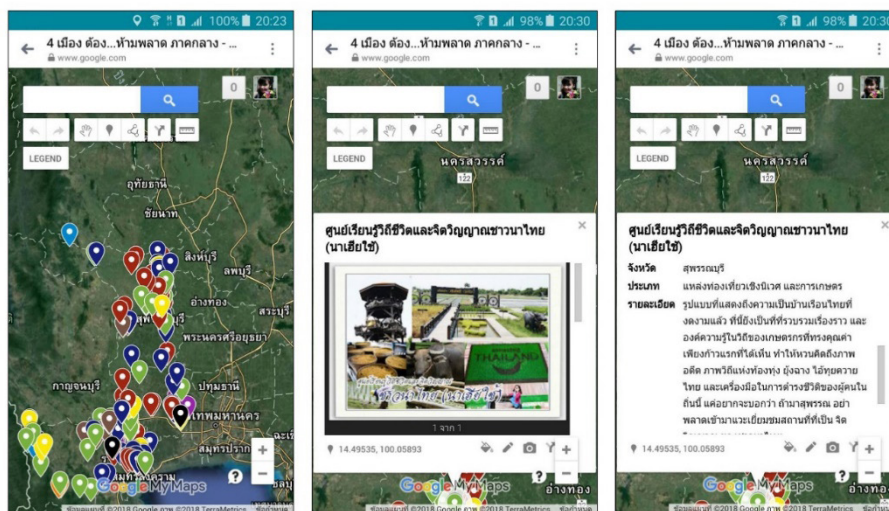


Figure 3 The map suggest tourist attractions on Smartphone

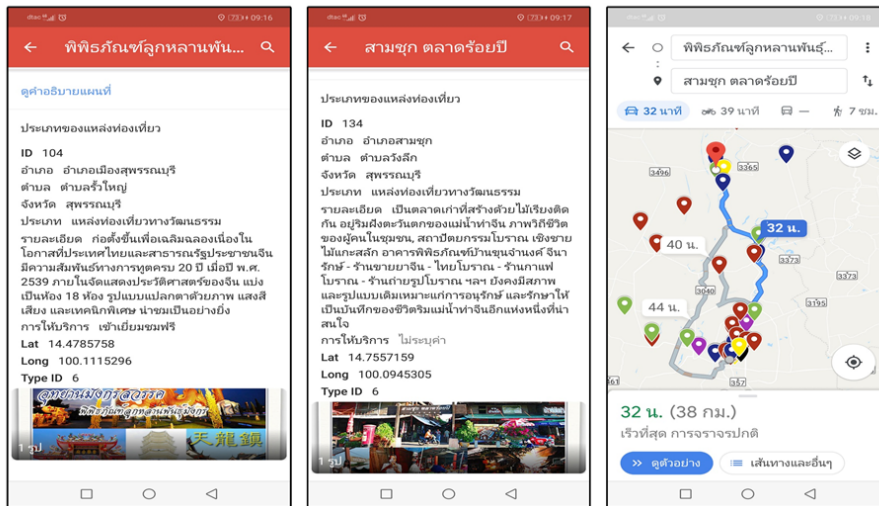


Figure 4 The map suggest the route of tourist destinations: Distance, Time, Sequences and Directions

วิจารณ์และสรุปผล

จากการวิจัยพบว่า การจำแนกประเภทของแหล่งท่องเที่ยว มีความสอดคล้องกับการแบ่งประเภทการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิษณุสินี พุทธิพิศกร และคณะ¹ ในเรื่องระบบนำทางการท่องเที่ยวแบบครบวงจรใน จังหวัดราชบุรีผ่านโทรศัพท์มือถือ PDA คอมพิวเตอร์หรือ อุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นการนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยว ที่ใช้งาน เพื่อค้นหาตำแหน่งและรายละเอียดของแหล่งท่องเที่ยว บนแผนที่ Google Maps เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์กับแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้นำทางนักท่องเที่ยว และผู้ใช้งานให้สามารถเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยว ต่าง ๆ ได้ถูกต้องตามความต้องการเช่นเดียวกับการวิจัยนี้ เนื่องจากในยุคปัจจุบันสื่ออินเทอร์เน็ตบนมือถือเป็นสื่อที่มีการ ใช้งานอย่างกว้างขวาง และเป็นสื่อที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากที่สามารถส่งข้อมูลข่าวสารไปยังกลุ่มเป้าหมายได้อย่าง รวดเร็ว และผลการวิจัยจึงมีความสอดคล้องกับการวิจัยของ ไพศาล กาญจนวงศ์ และคณะ² ที่ศึกษาเรื่องพฤติกรรมการใช้ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทางการท่องเที่ยวของนัก ท่องเที่ยวชาวจีนที่เดินทางมาเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ โดยพบ ว่านักท่องเที่ยวชาวจีนมีพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารระหว่างการเดินทาง เพื่อแชร์รูปภาพออนไลน์ มากที่สุด รองลงมาคือพฤติกรรมการใช้ก่อนการเดินทาง เพื่อ ใช้ในการวางแผนการเดินทาง และพฤติกรรมการใช้เมื่อเสร็จ สิ้นการเดินทางแต่พบความแตกต่างจากงานวิจัยด้านการท่อง เที่ยวในพื้นที่ศึกษาที่ทำการวิจัยก่อนหน้านี้³ ในแง่ของการเพิ่ม ขึ้นของจำนวนแหล่งท่องเที่ยวที่พบเป็นจำนวนมากในแต่ละ จังหวัด ทั้งนี้เนื่องมาจากทุกจังหวัดในพื้นที่ศึกษา พยายามจะ พัฒนาศักยภาพของแหล่งท่องเที่ยวในชุมชน และแหล่งท่อง

เที่ยวที่มีศักยภาพ เพื่อรองรับ นโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวจากภาครัฐตั้งแต่ปี 2558 ที่เริ่มต้นโครงการท่อง เที่ยวใน 12 เมืองต้องห้าม...พลาด

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ข้อจำกัดภาย ใต้ข้อตกลงและเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ Google Maps ได้กำหนด ไว้ และสภาพอากาศ สภาพการจราจร สัญญาณไฟจราจร หรือเหตุการณ์อื่นๆที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจมีผล ต่อความคลาดเคลื่อนในเรื่องของเวลาในการเดินทางได้

สำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาปัญหาและ อุปสรรคที่พบในการเดินทาง ภูมิทัศน์และความสะอาดของ แหล่งท่องเที่ยว การบริการและอำนวยความสะดวกแก่นักท่อง เที่ยว เช่น ร้านอาหาร สถานบริการน้ำมัน หรือร้านจำหน่าย สินค้าและผลิตภัณฑ์ของฝากของที่ระลึก สินค้า OTOP จาก ชุมชน เพื่อสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชนอีกช่องทาง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ และ คณะ มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2560ภายใต้สังกัดหน่วยปฏิบัติการ ด้านภูมิศาสตร์ ภูมิสารสนเทศและการจัดการทรัพยากร

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคม แห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี้.แผนพัฒนาเศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560 – 2564) สำนัก นายกรัฐมนตรี. กรุงเทพฯ. 2560

2. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ พ.ศ.2555 – 2559. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. กรุงเทพฯ. 2554
3. การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. ททท.เปิดตัวโครงการ 12 เมืองต้องห้ามพลาด Plus ปี 2561. www.innnews.co.th/shownews/show?newscode=825019. 2560
4. การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. ประเภทของการท่องเที่ยว. osthailand.nic.go.th/masterplan_area/userfiles/files/Tourism.pdf. 2560
5. สุเพชร จิระจรกุล. เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศ ด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 10.5 for Desktop. บริษัท เอ.พี.กราฟิ ดีไซน์และการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 2560
6. สำนักงานทางหลวงชนบท มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงท้องถิ่น กรุงเทพฯ. 2549
7. พิชญ์สินี พุทธิวิศร. ดลใจ ฆารเรือง. วรรณพรรณ ริมผดี. ระบบนำทางการท่องเที่ยวแบบครบวงจรในจังหวัดราชบุรี ผ่านสมาร์ตโฟน. มหาวิทยาลัยสวนดุสิต. 2559
8. ไพศาล กาญจนวงศ์. รักธิดา ศิริ. พฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทางการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวจีนที่เดินทางมาเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา มกราคม-เมษายน 2561
9. รัชฎ์รัตน์ ไชยคราม. การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์โครงข่ายในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อแนะนำเส้นทางทางการท่องเที่ยวในจังหวัดสุพรรณบุรี. การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2555

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) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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 ชื่อเรื่องให้ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้ตัวอักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้ส่งงานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 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 ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

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

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรู้คำย่อ

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 สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปลมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง 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

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. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 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. พัททชัย พุทธรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้น การสุกของพริก. 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 ดั้งเดิมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. 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. 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. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

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

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

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) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

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 complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

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

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

1. Manuscripts should be submitted through the Thai Jo Manuscripts submission system at www.journal.msu.ac.th.
2. The uncorrected manuscripts will be rejected by the editorial board.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกรวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 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.....

ออกไปเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

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

สาขาท่าขอนยางมหาสารคาม

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