



Volume 37 Number 2 March - April 2018

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and **TECHNOLOGY**

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 37 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 2 March - April 2018



ปีที่ 37 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2561

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ **เทคโนโลยี**

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



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 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มณี
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ศิริอมพรพรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวลิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร 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 วังศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดิเทพ รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วิรัชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทศรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramul
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.Supannee 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.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
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

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยงานวิจัยจากหลากหลายสาขาวิชา จำนวน 15 บทความ ครอบคลุมในศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งมีประโยชน์และมีคุณค่าในด้านวิชาการเป็นอย่างมาก นำมารวบรวมจัดพิมพ์และเผยแพร่เช่นเดียวกับฉบับก่อนๆ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือต่อยอดเพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ และเกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ได้ต่อไป

เนื้อหาของงานวิจัยจาก 15 บทความในวารสารฯ ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยเนื้อหาจากงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ จำนวน 3 บทความ ได้แก่ (1) การประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยวิธี Indirect Empirical Methods เพื่อทบทวนและวิเคราะห์ความจุของช่วงถนน (2) การเพิ่มประสิทธิภาพการพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบเทอร์บูเลนซ์เหนือสภาวะวิกฤติในช่องการไหลแอนนูลัสโดยการพันเกลียวลวดรอบผิวท่อ เพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบเทอร์บูเลนซ์เหนือสภาวะวิกฤติในช่องการไหลแอนนูลัสที่วางในแนวนอนในกรณีที่มีผิวท่อมีการพันเกลียวลวดและไม่พันเกลียวลวด (3) ผลกระทบคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีจากระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ กรณีศึกษาสระเก็บน้ำห้วยเกษียร จังหวัดปราจีนบุรี งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพจำนวน 4 บทความ ได้แก่ (4) การวิเคราะห์พฤษเคมีและผลของแฟรกชันจากสารสกัดใบชุมเห็ดเทศต่อแบคทีเรีย (5) การเสริม *Bacillus* sp. ผสมหลายชนิดในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถนะการผลิตลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ คอลเลสเตอรอล และกรดไขมันในเนื้อ (6) การปนเปื้อนของแบคทีเรียและราบางชนิดในอากาศในรถยนต์ส่วนบุคคล (7) ผลของไซโคลอัลลิอินต่อการสลายไขมันและลิวปีนออกซิเดชัน งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพจำนวน 3 บทความ ได้แก่ (8) ความหลากหลายของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น (9) ศักยภาพการทนเค็มของไม้ยืนต้นบางชนิด (10) ลักษณะมัดท่อลำเลียงของอ้อยพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานการหักล้มของลำต้นที่แตกต่างกัน และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 5 บทความ ได้แก่ (11) การศึกษาการวัดความคล้ายคลึงในกระบวนการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำเป็นสำหรับคำแนะนำ (12) แอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับและป้องกันการโจมตีด้วยการเปลี่ยนเอสเอสแอล (13) การประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า (14) การออกแบบและพัฒนากรอบปรับปรุงเส้นทางสำหรับเครือข่ายเนมดาต้า และ (15) การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยพิจารณาถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยว

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้เขียนงานวิจัยทุกท่าน ที่ได้ส่งบทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารฯ ฉบับนี้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนิสิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เพื่อใช้ประกอบการศึกษาและเพิ่มพูนความรู้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฯ ฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอเชิญชวนทุกท่านส่งผลงานวิจัยหรือบทความทางวิชาการมาลงตีพิมพ์ในวารสารฯ มา ณ โอกาสนี้

รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ความหลากหลายของพืชมีต่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น

ภาพปก : วรชาติ โตแก้ว และคณะ. 2561, 202-217.

สารบัญ

บทความวิชาการ

- การประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยวิธี Indirect Empirical Methods 151
Roadway Capacity Estimation by Indirect Empirical Methods
วุฒิไกร ไชยปัญญา, จำรัส พัทธ์ศฤงคาร, ลัดดา ตันวานิชกุล
Wuttikrai Chaipanha, Jumrus Pitaksringkarn, Ladda Tanwanichkul

บทความวิจัย

Physical Science

- การเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบเทอร์บูเลนต์เหนือสภาวะวิกฤติ
ในช่องการไหลแอนนูลัสโดยการพันเกลียวลวดรอบผิวท่อ 161
Enhancement of Convective Heat Transfer Coefficients of CO₂
Supercritical Flow in Annulus Channel with Spiral Wire Wrapped Around Tube Surface
วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ, ยุทธนา อุไรชื่น, พรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง
Weerawoot Arunwattana, Yuthana Uraichean, Poramate Chunpang

- ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำด้านกายภาพ และเคมี จากระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ
กรณีศึกษา สระเก็บน้ำห้วยเกษียร จังหวัดปราจีนบุรี 172
Physical and Chemical water quality impacts of solar floating photovoltaic electric generation:
a case study of Huai Kasain reservoir, Prachinburi province
ปิยรัฐ กล้าทอง, วิสาखा ภู่จินดา, จำลอง โพธิ์บุญ, อภิชาติ คงแป้น
Piyarat Klumthong, Wisakha Phoochinda, Chamlong Poboon, Apichart Kongpann

Biological Science

- การวิเคราะห์พิษของเคมีและผลของแฟรกชันจากสารสกัดใบชุมเห็ดเทศต่อแบคทีเรีย
Methicillin Resistant *Staphylococcus Aureus* และ *Pseudomonas Aeruginosa* 180
Phytochemical Analysis and Effect of *Senna Alata* Leaf Extract Fractions on Methicillin Resistant
Staphylococcus Aureus* and *Pseudomonas Aeruginosa
กนกพร ไชยอนันต์พร, วรัญญา จตุพรประเสริฐ, วิยะดา มงคลธนาธิกร, ทศพล ไชยอนันต์พร
Kanokporn Chaianunporn, Waranya Chatuphonprasert, Wiyada Mongkolthanaruk, Thotsapol Chaianunporn

สารบัญ

- การเสริม *Bacillus* sp. ผสมหลายชนิดในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถนะการผลิตลักษณะซาก
คุณภาพเนื้อ คอเลสเตอรอลและกรดไขมันในเนื้อ 191
**The Effects of Multi-Strain *Bacillus* Species Supplementation in Drinking Water of Broilers Chickens
on Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, Cholesterol and Fatty Acid in Meat**
มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, วรางคณา กิจพิพิช, จิรัฏฐ์วัฒน์ ศรีอ่อนเลิศ,
ศักดิ์ดา ประจักษ์บุญเจษฎา, ชวลิต ผึ้งปฐมภรณ์, ศราวุธ ม่วงเผือก,
เอกกมล กมลลาภวรกุล, เสาวภา เขียนงาม
Manatsanun Nopparatmaitree, Warangkana Kitpipit, Jirathawat Sri-onlerd,
Sakda Prajukboonjatsada, Chawalit Phuengpathomphorn, Sarawut Mongphuank,
Ekkamon Kamonlapworakul, Saowapar Khiangnam
- ความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น 202
**Species Diversity of Vascular Plants in Ban Hin Hao Community Forest, Ban Fang District,
Khon Kaen Province**
วรชาติ โตแก้ว, นวพรรษ ผลดี
Worachat Tokaew, Nawaphat Poldee
- ศักยภาพการทนเค็มของไม้ยืนต้นบางชนิด 218
Potential for Salinity Tolerance of some Perennial Plants
สุพัตรา สารแสน, สุกุลกานต์ สิมลา, สุรศักดิ์ บุญแต่ง, เบ็ญจพร กุลนิตย์
Suputra Sarasaen, Sakunkan Simla, Surasak Boontang, Benjaporn Kunlanit
- ลักษณะมัดท่อลำเลียงของอ้อยพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานการหักล้มของลำต้นที่แตกต่างกัน 231
Vascular Bundle Traits of Sugarcane Lines with Different Stem Lodging Resistant Levels
สุภาพร จำกุดสิง, วุฒิพันธ์ ท่าพริก, วรศิริกุลญา ธาริมา, พัชริน สงศรี,
นันทวุฒิ จรุงกลาง
Supaporn Jumkudling, Wutipon Thaprik, Worasitikulya Taratima, Patcharin Songsri,
Nuntawoot Jongrungklang
- การปนเปื้อนของแบคทีเรียและราบางชนิดในอากาศในรถยนต์ส่วนบุคคล 238
Contamination of some Airborne Bacteria and Fungi in Personal Cars
ซูไบตะ หะยีวาเงาะ, พุรกอนนี สาและ, อับดุลลาห์ โดลาห์ ดาลี, คอสิยาห์ สะลี, นูร์อัยนี หะยียูโซะ
Zubaidah Hajiwangoh, Phurkonni Salaeh, Abdullah Dolah Dalee, Khosiya Sali, Nur-ainee Hayeeyusoh

สารบัญ

ผลของไซโคลลัลลิอิน ต่อการสลายไขมันและลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน	245
Effect of cycloalliin on lipolysis and lipid peroxidation	
อชิตา จารุชodikamol, จินตนา ประทุมชาติ, จิราพร พรหมโคตร, ฉวีวรรณ พุ่มเพชร, ศิริพันธ์ จันรุ่งคำ, พรทิพย์ วรกีจพูนผล, พรปวีณ์ บรรลึงค์, ปวีตรา พูลบุตร, เบญจมาศ คุณณี Achida Jaruchotikamol, Jintana Pratumchart, Jiraporn Promkod, Chaweewan Pumpet, Sirinan Janrongkhum, Pornthip Worakitpoonpal, Pornpawee Banlung, Pawitra Pulbutr, Benjamart Cushnie	
Computer and Information Science	
การศึกษาการวัดความคล้ายคลึงในกระบวนการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำเป็นสำหรับระบบแนะนำ	259
Studying Similarity Measures in Memory-based Collaborative Filtering Technique for Recommendation Systems	
กิตติศักดิ์ อ่อนเอื้อน, สุณันทา สดสี, พยุง มีสัง Kittisak Onuean, Sunantha Sodsee, Phayung Meesad	
แอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับและป้องกันการโจมตีด้วยการเปลี่ยเอสเอสแอล	279
Application to Detect and Protect against SSL Stripping Attacks	
สมนึก พ่วงพรพิทักษ์, ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์ Somnuk Puangpronpitag, Nattavut Sriwiboon	
การประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า	283
Assessing the Value of E-learning Systems by Value Measuring Methodology	
จุฑารัตน์ รุ่งวารินทร์, ธรา อังสกุล, จิติมนต์ อังสกุล Jutarat Rungwarin, Thara Angskun, Jitimon Angskun	
การออกแบบและพัฒนากลไกปรับปรุงเส้นทางสำหรับเครือข่ายเนมดาต้า	296
A Design and Development of Path-convergence Mechanisms for Named Data Networking	
ธงชัย เจือจันทร์, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์, นพรัตน์ โพธิ์สิงห์, สุวัฒน์ กล้วยทอง, อภิชาติ สมรัตน์ Thongchai Chuachan, Somnuk Puangpronpitag, Nopparat Posing, Suwat Gluaythong, Apichart Somrat	
การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยพิจารณาถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยว	304
Semantic Web Services Selection by Considering the Quality of Service for tourism	
เอกชัย แนนอุดร, ศุภกฤษณ์ นีวัฒนากุล Ekkachai Naenudorn, Suphakit Niwattanakul	

การประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยวิธี Indirect Empirical Methods Roadway Capacity Estimation by Indirect Empirical Methods

วุฒิไกร ไชยปัญหา¹, จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร², ลัดดา ตันวานิชกุล³

Wuttikrai Chaipanha¹, Jumrus Pitaksringkarn², Ladda Tanwanichkul³

Received: 17 July 2017; Accepted: 2 October 2017

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทบทวนแนวทางในการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนน ซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่ใช้ในการออกแบบและวางแผนด้านการขนส่งและจราจร โดยเนื้อหาหลักของบทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนในการวิเคราะห์ ตัวอย่างผลการศึกษา ข้อดีและข้อจำกัดของการวิเคราะห์ความจุด้วยวิธี Indirect Empirical Method ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถลดข้อจำกัดในการสำรวจข้อมูลในภาคสนาม โดยวิธีการนี้ประกอบด้วย 2 แนวทาง คือ (1) การคำนวณค่าความจุตามคู่มือ ซึ่ง HCM เป็นคู่มือที่ได้รับการยอมรับสูงสุดและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่เนื่องจากเป็นคู่มือที่ถูกพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกาจึงอาจไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรงในพื้นที่ที่มีเงื่อนไขของสภาพการจราจรที่มีความแตกต่างออกไป และ (2) การประมาณค่าความจุด้วยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค วิธีการนี้มีข้อจำกัดในการนำเข้าข้อมูลและตัวแปรที่มีจำนวนมากแต่มีข้อดีที่สามารถจำลองสถานการณ์ เงื่อนไข และพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์ได้อย่างละเอียดทำให้ผลการประมาณค่าความจุมีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น โดยการประมาณค่าความจุด้วยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคถือได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งในการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนและทางหลวงในประเทศไทยที่ยังคงมีการศึกษาค้นคว้าน้อยจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการทำวิจัยในอนาคต

คำสำคัญ : ความจุของช่วงถนน แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค HCM

Abstract

This paper aims to study and review the methodology for analyzing roadway capacity. This is an important principle in the design and planning of transportation and traffic facilities. The main contents of this article offer analytical procedures, sample study results, and considers the advantages and limitations of the Indirect Empirical Method, which is a method that can reduce the limitations of field surveys. This method consists of two approaches: (1) capacity calculation according to the manual, for which HCM is the most widely used; however, since this is a guide developed in the United States, it may not be applicable directly in areas where traffic conditions are different, and (2) capacity estimation using the traffic micro-simulation model. The latter approach has limitations on the input data and variables, but has the advantage of accurately simulating the conditions and driver behaviors, thus making the estimation of capacity more reasonable. By capacity estimation using the traffic micro-simulation model, it is possible to develop a roadway and highway capacity analysis in Thailand. There are still relatively few existing studies of this subject area, which makes the topic particularly interesting for research in the future.

Keywords : Roadway Capacity, Traffic Micro-simulation model, HCM

¹ นักศึกษา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40000

² อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40000

¹ Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40000

² Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40000

* Corresponding author: Wuttikrai Chaipanha, Email : w.chaipanha@gmail.com

บทนำ

การวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวกจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบส่วนประกอบสิ่งอำนวยความสะดวกจราจรที่เกี่ยวข้อง นำไปสู่การตัดสินใจและการวางแผนปรับปรุงประสิทธิภาพของโครงข่ายถนนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

โดยวิธีการในการประมาณค่าความจุของช่วงถนนในปัจจุบันสามารถแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ (1) Direct-Empirical Method ซึ่งวิธีการประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยตรงที่พิจารณาจากข้อมูลการสำรวจตามสภาพการจราจรจริง และ (2) วิธีการประมาณค่าความจุแบบ Indirect-Empirical Method ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าความจุของช่วงถนนทางอ้อมจากการใช้แนวทางตามคู่มือการวิเคราะห์ความจุและการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมาณค่าความจุ

การประมาณค่าความจุของช่วงถนนด้วยวิธี Indirect Empirical Method ถือเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประมาณค่าความจุของช่วงถนนที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากการสำรวจและวิเคราะห์ความจุโดยตรงทำได้ค่อนข้างยากในทางปฏิบัติและไม่บ่อยครั้งที่ช่วงถนนหรือทางหลวงนอกเมืองจะให้บริการจราจรในสภาพใกล้เคียงความจุ โดยในบทความนี้ได้ทำการทบทวนวิธีการและแนวทางในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความจุของถนนด้วยวิธี Indirect Empirical ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนและทางหลวงในประเทศไทยต่อไป

วิธีการประมาณค่าความจุของช่วงถนน

Minderhoud et al.,¹ กล่าวว่า วิธีการประมาณค่าความจุของช่วงถนนแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ (1) Direct-Empirical Method และ (2) Indirect-Empirical Method รายละเอียดดัง Figure 1

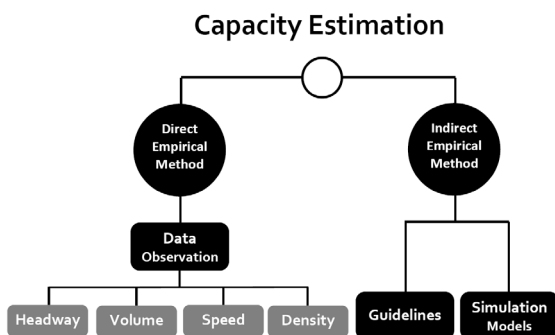


Figure 1 Roadway capacity-estimation methods

การประมาณค่าความจุแบบ Direct Empirical

การประมาณค่าความจุแบบ Direct Empirical เป็นการประมาณค่าความจุโดยตรงที่พิจารณาจากข้อมูลการสำรวจตามสภาพการจราจรจริง โดย 2 ข้อมูลสำคัญที่มีความจำเป็นในการประมาณค่าความจุของช่วงถนน คือ ปริมาณจราจรและช่วงเวลาห่าง (Headway) อย่างไรก็ตามอาจมีการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะการจราจรเพิ่มเติม เช่น ความหนาแน่นและความเร็วเฉลี่ย ซึ่งจะสามารถช่วยให้ประมาณค่าความจุได้ดียิ่งขึ้น โดยข้อมูลปริมาณจราจรและช่วงเวลาห่างถือเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ความจุในวิธีนี้ ส่วนข้อมูลความเร็วและความหนาแน่นอาจจำเป็นสำหรับบางวิธี การสำรวจข้อมูลต้องดำเนินการในช่วงที่การจราจรไม่ติดขัดหรือเกินความจุของช่วงถนนนานเกินไป ตัวอย่างวิธีการประมาณค่าความจุแบบ Direct Empirical เช่น

1) ประมาณค่าความจุด้วย Headway (Estimation with Headway) แบบจำลอง Headway ใช้พื้นฐานตามทฤษฎีที่ระดับความจุของช่วงถนน ซึ่งผู้ขับขี่ยานพาหนะทุกคนจะถูกจำกัดด้วย Headway แบบจำลองนี้สามารถประยุกต์ใช้เฉพาะช่องจราจรเดียว ในกรณีของหลายช่องจราจรจะถูกแยกพิจารณารายช่องจราจร สองแบบจำลอง Headway ที่เป็นที่ยอมรับและใช้อย่างแพร่หลาย คือ Branston's Generalized Queueing Model และ Buckley's Semi-Poisson Model ซึ่งทั้งสองวิธีใช้หลักการพื้นฐานของ Poisson แต่แตกต่างกันสมมติฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมจราจรที่เล็กน้อย การประมาณค่าความจุด้วย Headway ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (3)

$$h_m = \sum \frac{h_p}{n} \quad (\text{วินาที/คัน}) \tag{1}$$

$$q = \frac{n}{T} = \frac{1}{h_m} \quad (\text{คัน/วินาที}) \tag{2}$$

$$q = \frac{3600}{h_m} \quad (\text{คัน/ชั่วโมง}) \tag{3}$$

โดยที่

- h_m = เวลาห่างเฉลี่ย (Mean Headway) (วินาที/คัน)
- h_p = เวลาห่าง (Headway) ของยวดยาน p ถึงยวดยานคันก่อนหน้า (วินาที/คัน)
- q = ความหนาแน่น (วินาที/คัน)
- n = จำนวนรวมของยวดยานที่ผ่านจุดที่ทำการสำรวจในช่วงเวลา T (วินาที/คัน)

2) ประมาณค่าความจุด้วยปริมาณจราจร (Estimation with Traffic Volumes) วิธีการประมาณค่าความจุด้วย

ปริมาณจราจรเพียงอย่างเดียว สามารถเลือกใช้สองค่าปริมาณจราจรสูงสุดได้แก่ (1) ปริมาณจราจรสูงสุดการสำรวจ (Observed Extreme Value) เป็นการประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยใช้ค่าปริมาณจราจรสูงสุดที่รู้ค่าในช่วงที่สำรวจ ตัวอย่างวิธีการที่เป็นที่นิยมเช่น Bimodal Model และ Maxima Methods เป็นต้น และ (2) ปริมาณจราจรสูงสุดจากการคาดการณ์ (Expected Extreme Value) วิธีการนี้ใช้อัตราการไหลสูงสุดที่สำรวจได้ในเวลาที่กำหนดเพื่อพยากรณ์ค่าความจุที่สูงกว่าด้วยหลักการทางสถิติตัวอย่างวิธีการที่เป็นที่นิยม เช่น Direct Probability และ Asymptotic Method เป็นต้น

3) ประมาณค่าความจุด้วยปริมาณจราจรและความเร็ว (Estimation with Traffic Volumes and Speed) วิธีการประมาณค่าความจุโดยใช้ทั้งข้อมูลปริมาณจราจรและความเร็วในการวิเคราะห์สภาพของการจราจร ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความชัดเจนและมีประสิทธิภาพในการหาค่าความจุ โดยค่าความจุจะได้เป็นความจุ ณ จุดที่มีการสำรวจ วิธีการที่ใช้คือ Product Limit Method

4) ประมาณค่าความจุด้วยปริมาณจราจร ความเร็ว และความจุ (Estimation with Traffic Volumes, Speed and Densities) แบ่งได้เป็น 2 วิธี โดยความแตกต่างสำคัญของทั้งสองวิธี คือ วิธี Dynamics On-Line Method สำหรับประมาณค่าความจุภายใต้สภาพจริง ส่วนวิธี Static Long Term (Off-Line) Approach ใช้ Fundamental Diagram ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณจราจร (q) ความเร็วเฉลี่ย (u) และความหนาแน่น (k) ซึ่งอาจจะสามารถใช้เพียงสองตัวแปรในการสร้าง Fundamental Diagram ได้เช่นกัน โดยความจุสูงสุดอยู่ในจุดที่ความหนาแน่นมีค่าวิกฤต k_c ตามสมการที่ (4)

$$k = \frac{u}{q} \quad (4)$$

ตัวอย่าง Fundamental Diagram ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย และความหนาแน่น ที่สามารถใช้ในการประมาณค่าความจุ เช่น Green shields Model, Greenberg Model และ Underwood เป็นต้น

การประมาณค่าความจุแบบ Indirect Empirical

การประมาณค่าความจุแบบ Indirect-Empirical Method เป็นวิธีการประมาณค่าความจุของช่วงถนนทางอ้อม โดยสามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ การใช้แนวทางจากคู่มือการวิเคราะห์ความจุ (ซึ่งในปัจจุบัน HCM เป็นคู่มือที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด) และการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร

(Simulation Models) ที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมาณค่าความจุ รายละเอียดทั้งสองวิธีการซึ่งเป็นใจความสำคัญของบทความนี้จะแสดงในหัวข้อถัดไป

การประมาณค่าความจุของช่วงถนนด้วยวิธี Highway Capacity Manual (HCM)

U.S. Highway Capacity Manual (HCM) นับเป็นคู่มือฉบับแรกที่ริเริ่มเสนอแนวคิดเชิงปริมาณในการประมาณค่าความจุและระดับการให้บริการสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกการจราจร จนกระทั่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยถูกพัฒนาขึ้นโดย TRB Committee on Highway Capacity and Quality of Service และเผยแพร่ครั้งแรกในปี ค.ศ.1950 และพัฒนาปรับปรุงเรื่อยมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1965, 1985, 2000 และ 2010

ซึ่งหากจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความจุใน HCM2010 เฉพาะรูปแบบการเดินทางของยานพาหนะ (Automobile) สำหรับการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนหรือสิ่งอำนวยความสะดวกการจราจรสิ่งอำนวยความสะดวกการจราจรแบบต่อเนื่อง (Uninterrupted-Flow Facilities) ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทนี้จะไม่เป็นสาเหตุให้การจราจรเกิดความล่าช้าหรือหยุดชะงักแก่กระแสจราจร ได้แก่ ทางด่วน (Freeway) ทางหลวงหลายช่องจราจร (Multilane Highway) และทางหลวงสองช่องจราจร (Two-lane Highway) ซึ่งในช่วงถนนจะต้องไม่มีสัญญาณไฟจราจร ป้ายหยุดบริเวณทางแยก และวงเวียนที่ทำให้กระแสจราจรหยุดชะงักต้องมีช่วงระยะห่างอย่างน้อย 2 ไมล์ มีวิธีการวิเคราะห์ความจุสำหรับช่วงถนนหรือทางหลวงหลายช่องจราจรและทางหลวงสองช่องจราจรโดยสรุป ดังนี้

การประมาณค่าความจุทางหลวงหลายช่องจราจร (Multilane Highway)

Transport Research Board (TRB)² การวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการของถนนหลายช่องจราจร (Multilane Highway) ซึ่งเป็นช่วงถนนที่ไม่มีกรอบกั้นการไหลของกระแสจราจร (Uninterrupted-flow) โดยทั่วไปพิจารณาบนช่วงถนนหลายช่องจราจรที่มีช่วงห่างระหว่างทางแยกสัญญาณไฟจราจรตั้งแต่ 2 ไมล์ ขึ้นไป กรณีที่สัญญาณจราจรใกล้กันมากจะวิเคราะห์ในลักษณะที่เป็นถนนในเขตเมือง (Urban Street) มีแนวทางในการวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการ³ (Figure 2) ดังนี้

1) นำเข้า/เตรียมข้อมูลที่จำเป็น (Input Data) เช่น ความเร็วในการไหลอิสระ จำนวนช่องและความกว้างของช่องจราจร ระยะปลอดภัย ประเภทของเกาะกลางถนน สัดส่วนของ

ยวดยานขนาดใหญ่ และ PHF เป็นต้น

2) ประมาณค่าความเร็วในการไหลอิสระ (Estimate Free Flow Speed, FFS) ของช่วงถนน ในสภาพจริง ซึ่งสามารถสำรวจได้โดยตรงหรือจากการประมาณจากขีดจำกัดความเร็วบวกด้วย 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3) เลือกค่าความจุในสภาพในอุดมคติ (Select Base Capacity) สำหรับทางหลวงหลายช่องจราจรจาก Speed-Flow Curve ของ HCM2010 (ในหน่วยของ pc/hr/ln) ซึ่งสามารถใช้ค่าความจุตาม Table 1 โดยไม่ความจำเป็นต้องทำการเทียบบัญญัติไตรยางค์ (Interpolate)

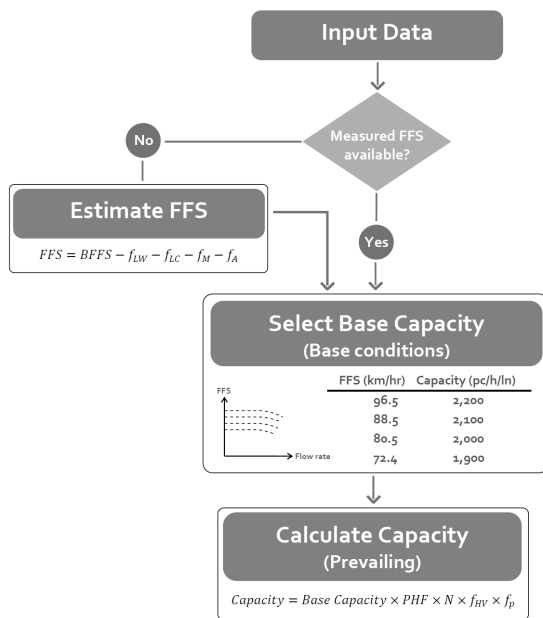


Figure 2 Methodology for Estimating the Capacity of Multilane Highway

Table 1 Relationship between Free-Flow Speed and Capacity on Multilane Highway⁴

ความเร็วในการไหลอิสระ (km/hr)	ความจุ (pc/hr/ln)
96.5	2,200
88.5	2,100
80.5	2,000
72.4	1,900

*ตารางนี้ได้ถูกแปลงหน่วยจาก HCM2010 ต้นฉบับที่ใช้ใน U.S. ให้อยู่ในระบบ SI unit

4) คำนวณค่าความจุ (Calculate Capacity) ในสภาพจริงโดยการปรับแก้เนื่องจาก Peak Hour Factor (PHF) จำนวนช่องจราจร ยวดยานขนาดใหญ่ และความคุ่นเคยเส้นทางของผู้ขับขี่ โดยใช้สมการที่ (5) ในการปรับแก้

$$Capacity = BaseCap \times PHF \times N \times f_{HV} \times f_p \tag{5}$$

โดยที่

Capacity = ความจุในสภาพจริง (veh/hr/ln)

BaseCap = ความจุสภาพในอุดมคติ (pc/hr/ln)

PHF = Peak Hour Factor

N = จำนวนช่องจราจร

f_{HV} = ค่าปรับแก้เนื่องจากยวดยานขนาดใหญ่*

f_p = ค่าปรับแก้เนื่องจากผู้ขับขี่*

*ค่าปรับแก้แสดงในคู่มือ Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010)

การประมาณค่าความจุของทางหลวง 2 ช่องจราจร (Two-lane Highway)

TRB² ได้แสดงรายละเอียดในการวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการของทางหลวงสองช่องจราจรซึ่งเป็นทางหลวงที่มีหนึ่งช่องจราจรต่อทิศทาง การแข่งถูกจำกัดด้วยระยะห่างหรือช่องว่างจากกระแสนจราจรในทิศทางตรงข้ามและระยะการมองเห็นที่เพียงพอสำหรับผู้ขับขี่ที่จะมองเห็นได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านปริมาณจราจรและลักษณะทางเรขาคณิตเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้โอกาสในการแข่งลดลง

โดยการวิเคราะห์นี้จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขการไม่มีการรบกวนการไหลของกระแสนจราจร (Uninterrupted Flow) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีอุปสรรคในการควบคุมการจราจรและสัญญาณไฟจราจรโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.0- 3.0 ไมล์จากสัญญาณไฟจราจรที่ใกล้ที่สุดถ้าระยะห่างจากทางแยกสัญญาณไฟจราจรน้อยกว่า 2.0 ไมล์ จะต้องวิเคราะห์ให้เป็นถนนในเมือง โดยความจุของทางหลวงสองช่องจราจรภายใต้เงื่อนไขพื้นฐานหรือสภาพในอุดมคติ เท่ากับ 1,700 pc/hr/dir และสูงสุดที่ 3,200 pc/hr ขั้นตอนการวิเคราะห์ความจุของทางหลวงสองช่องจราจร (Figure 3) ดังนี้

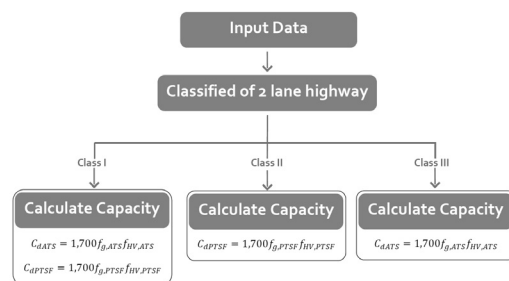


Figure 3 Methodology for Estimating the Capacity of Two-lane highway

1) นำเข้า/เตรียมข้อมูล (Input Data) ที่จำเป็น เช่น ความกว้างของช่องจราจร ความกว้างของไหล่ทาง และสัดส่วนของยานพาหนะขนาดใหญ่ เป็นต้น

2) แบ่งชั้นของทางหลวงสองช่องจราจร (Classified of Two-lane Highway) โดยกำหนดตามลักษณะหน้าที่ของแต่ละชั้น (Class) สำหรับถนนสายประธานหรือถนนสายหลักจะถูกพิจารณาเป็น Class I ในขณะที่ถนนสายรองและถนนสายท้องถิ่นจะถูกพิจารณาเป็น Class II หรือ Class III

3) คำนวณค่าความจุ (Calculate Capacity) ในสภาพจริงโดยทำการปรับแก้โดยใช้สมการที่ (6) หรือสมการที่ (7) (หรือทั้งสองสมการ) สำหรับทางหลวงสองช่องจราจร Class I ต้องคำนวณทั้งสองสมการโดยเลือกใช้ค่าที่ต่ำกว่าเป็นค่าความจุของทางหลวงสองช่องจราจร Class I สำหรับทางหลวงสองช่องจราจร Class II คำนวณเฉพาะสมการ PTSF-Based และสำหรับทางหลวงสองช่องจราจร Class III คำนวณเฉพาะสมการ ATS-Based

$$C_{dATS} = 1,700 \times f_{g,ATS} \times f_{H,ATS} \quad (6)$$

$$C_{dPTSF} = 1,700 \times f_{g,PTSF} \times f_{H,PTSF} \quad (7)$$

โดยที่

C_{dATS} = ความจุในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (ATS) (pc/hr)

C_{dPTSF} = ความจุในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับร้อยละของเวลาที่ใช้ในการขับตาม (PTSF) (pc/hr)

f_g = ค่าปรับแก้เนื่องจากความลาดชันสำหรับ ATS และ PTSF*

f_H = ค่าปรับแก้เนื่องจากยานพาหนะขนาดใหญ่สำหรับ ATS และ PTSF*

*ค่าปรับแก้แสดงในคู่มือ Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010)

ในการประเมินความจุ เมื่อการกระจายตัวของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางไม่ใช่ 50/50 (ในสภาพภูมิประเทศแบบราบและลูกเนิน) ความจุในสองทิศทางจะมีความแตกต่างกัน ในกรณีที่ความจุสองทิศทางรวมกันเกินกว่า 3,200 pc/hr จะกำหนดความจุพื้นฐานไว้ที่ 1,700 pc/hr ในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงกว่า และค่าความจุในทิศทางตรงข้ามจะสามารถหาได้โดยการใช้สัดส่วนของปริมาณจราจร ซึ่งสูงสุดไม่เกิน 1,500 pc/hr

การประมาณค่าความจุของช่วงถนนด้วยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

ถึงแม้ว่า HCM จะเป็นคู่มือที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนในปัจจุบัน แต่เนื่องจากเป็นแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกา ทำให้ไม่สามารถนำไปประยุกต์โดยตรงได้ในหลายๆ ประเทศ จากความแตกต่างของสภาพการจราจรของแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชียซึ่งมีรูปแบบและลักษณะการจราจรที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวจึงทำให้ผลการประเมินความจุของช่วงถนนที่ได้จาก HCM มีความคลาดเคลื่อนและขาดความสมเหตุสมผล โดยสาเหตุหลายประการที่ทำให้ HCM ไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้โดยตรง เช่น สัดส่วนของรถจักรยานยนต์และยานพาหนะที่ขับเคลื่อนโดยไม่ใช้เครื่องยนต์ที่สูง (Unmotorised Vehicles) Tiwari et al.,⁵ รถจักรยานยนต์ไม่ได้ถูกรวมเข้าไปในการประมาณค่าความจุหรือในขั้นตอนในการวิเคราะห์ของ HCM ใดๆทั้งสิ้น เนื่องจากในสหรัฐอเมริกามีสัดส่วนการจดทะเบียนรถจักรยานยนต์น้อยมาก) ประเภทของยานพาหนะที่หลากหลาย (Heterogonous Traffic) พฤติกรรมในการขับขีและความระมัดระวังของผู้ขับขีของแต่ละท้องถิ่น กฎจราจร สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ลักษณะทางกายภาพของถนน เขตทางและปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างทาง ทางเชื่อม สภาพผิวจราจร และสิ่งอำนวยความสะดวกจราจรอื่นๆ เป็นต้น

Central Road Research Institute⁶ กล่าวว่า ในบางประเทศใช้วิธีการดัดแปลงบางส่วนของ HCM เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรของแต่ละประเทศ อีกทั้งหลายประเทศได้มีความพยายามในการพัฒนาคู่มือความจุของทางหลวงสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความจุของทางหลวงในประเทศของตนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสาเหตุข้างต้นและทำให้ผลการวิเคราะห์สามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมการขับขีในท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น Indian Highway Capacity Manual (Indo-HCM) ของประเทศอินเดีย, Swedish Capacity Manual ของประเทศสวีเดน Indonesian Highway Capacity Manual (I-HCM) ของประเทศอินโดนีเซีย Korea Capacity Manual (KHCM) ของประเทศเกาหลีใต้ German Highway Capacity Manual (HBS) ของประเทศเยอรมันนี และ China Highway Capacity (CHCM) ของประเทศจีน เป็นต้น

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคเป็นอีกแนวทางหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนแบบ Indirect Empirical ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคสามารถจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขียานพาหนะแต่ละคันได้ ซึ่งจะสามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของการจราจรในสภาพจริงในแต่ละ

พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประมาณค่าความจุด้วยแบบจำลองระดับจุลภาคจะดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีขั้นตอนโดยสรุป (Figure 4) ดังนี้

1) สํารวจและรวบรวมข้อมูล (Data Collection) สําหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค ได้แก่ ข้อมูลกายภาพช่วงถนน ข้อมูลความต้องการในการเดินทาง ข้อมูลการควบคุมการจราจร และข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบแบบจำลอง

2) พัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Micro-simulation Model Development) พัฒนาแบบจำลองฐาน (Base Model) และทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibrate) และตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลอง (Validate) เพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพจริงการจราจรในสนาม ตามเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับ เช่น DMRB, Wisconsin DOT, Caltrans และ Austroad เป็นต้น จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3) กำหนดตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความจุ (Define Simulation Factors/Scenarios) กำหนดตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความจุหรือออกแบบสถานการณ์จำลองต่างๆ

4) ประมวลผลแบบจำลอง (Simulation Runs) ให้ได้ผลลัพธ์ของความเร็วสำหรับระดับปริมาณจราจรที่ต่างกันซึ่งถูกกำหนดตามสถานการณ์ในการจำลองสภาพจราจรหลายๆ สถานการณ์เพื่อประมาณค่าความจุสูงสุดตามเงื่อนไขต่างๆ

5) แสดงผลการวิเคราะห์ (Estimate Output) โดยสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-ปริมาณจราจร (Speed-Flow Curve)

6) ประมาณค่าความจุ (Estimate of Capacity) จากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

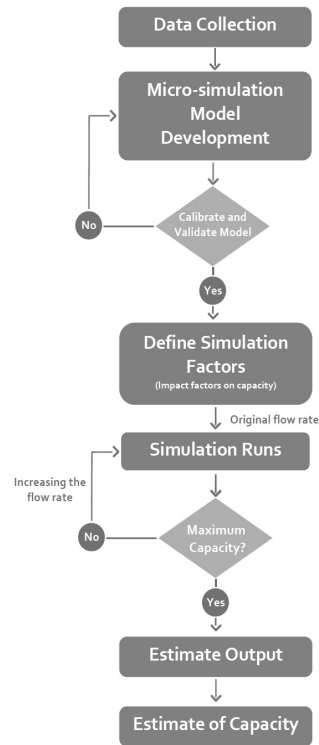


Figure 4 Methodology for roadway capacity estimation by using traffic micro-simulation model

ตัวอย่างการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในการประมาณค่าความจุของช่วงถนน

ลัดดา ตันวานิชกุล และคณะ⁷ ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคVISSIM ในการวิเคราะห์ความจุของถนน 6, 4 และ 2 ช่องจราจร โดยพิจารณาถึงจำนวนของทางเชื่อมมีผลอย่างมากต่อความจุของถนน เมื่อทางเชื่อมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความจุของถนนลดลงแบบจำลองตามระดับความถี่ทางเชื่อม ดังแสดงใน Figure 5

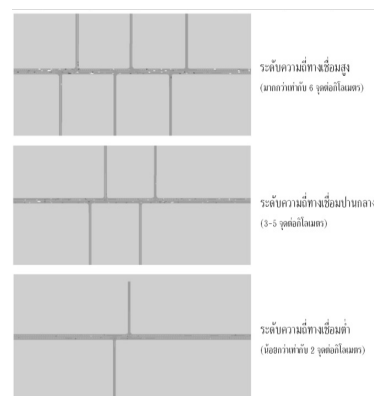


Figure 5 Evaluation of number of access points influencing on highway capacity⁷

สุวิช เพชรชมพูพันธ์^๖ วิเคราะห์ค่าความจุสำหรับถนน 6 ช่องจราจรซึ่งมีการจราจรทางในชั่วโมงเร่งด่วน ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค VISSIM Kim^๙ ได้ทำการพัฒนาแนวทางในการประมาณค่าความจุของถนนสองช่องจราจรภายใต้ลักษณะทางกายภาพและสภาพการจราจร ในช่วงถนน Science Park Road และ Highway 322 ใน Pennsylvania และศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความจุได้แก่ เขตห้ามแซง จุดเชื่อมต่อ โค้งราบ โค้งดิ่ง ชีตจำกัดความเร็ว และสัดส่วนของรถบรรทุก โดยได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง TWOSIM (Two-lane, two-way highway SIMulator) Arkatkar¹⁰ กล่าวว่า ปัญหาในการวัดค่าปริมาณจราจรที่มีรถยนต์หลากหลายประเภทสามารถจัดการได้โดยการแปลงรถยนต์ให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลต่อชั่วโมง (PCU/hr) นอกจากนี้ผลของการแปรผันของปริมาณจราจร ความกว้างของผิวถนน ขนาดของความลาดชันยังมีผลต่อการกำหนดค่า PCU ที่เหมาะสมด้วย จึงได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจร HETEROSIM ซึ่งพัฒนาโดย Arasan and Koshy ในปี 2005 ในการวิเคราะห์ความจุของถนนหลายช่องจราจร ในประเทศอินเดีย จากการสร้าง Speed-Volume Curves ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร แสดงให้เห็นว่า ความจุของถนน 4 ช่องจราจร และ 6 ช่องจราจร มีค่าเท่ากับ 4,600 PCU/hr และ 7,200 PCU/hr ในกรณีที่มีความลาดชัน 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% ที่ระยะความยาว 1,600 เมตร ความจุมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 4,300 4,100, 3,900, 3,700 และ 3,600 PCU/hr ตามลำดับ Madhu and S. Velmurugan¹¹ ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค PARAMICS สำหรับวิเคราะห์ความจุของทางด่วน 8 ช่องจราจร ในประเทศอินเดีย ซึ่งได้พิจารณาเงื่อนไขและผลกระทบจากสภาพการจราจรที่ประกอบด้วยรถยนต์หลากหลายประเภท (Heterogonous Traffic) โดยค่าความจุของทางด่วนที่ได้จากการพิจารณาผลจากการขับขึ้นบนช่องจราจรเสมือน (Virtual Lanes) ที่เกิดจากรถยนต์ขับขึ้นนอกขอบเขตช่องจราจรจนทำให้ช่วงถนน 4 ช่องจราจรต่อทิศทาง มีการขับขึ้นเสมือนเป็น 8 ช่องจราจรต่อทิศทาง (Figure 6) มีค่าประมาณ 11,435 PCU/hr/dir ซึ่งสูงกว่าสภาพการจราจรที่ไม่มีช่องจราจรเสมือนอย่างชัดเจนประมาณ 15%



Figure 6 Vehicles travelling in eight virtual lanes on the divided urban expressway in India¹¹

Munehiro et al.,¹² ศึกษาผลของมาตรการในการปรับปรุงทางหลวงสองช่องจราจรให้เป็น“ทางหลวง2+1 ช่องจราจร” (Figure 7) ของทางหลวงหมายเลข 38 ในประเทศญี่ปุ่น โดยการเพิ่มช่องจราจรชั่วคราว (Auxiliary Lanes) ยาวช่วงละ 1.5 กิโลเมตร พร้อมเปรียบเทียบผลการประเมินก่อนและหลังการปรับปรุงผ่านการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยใช้โปรแกรม SIM-R Traffic Flow ในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค ทั้งสภาพผิวจราจรแบบแห้งและมีหิมะพบว่า สำหรับกรณีที่กำหนดปริมาณจราจร 500 คันต่อชั่วโมง ภายใต้สภาพผิวจราจรแบบแห้งสามารถเพิ่มความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางขึ้น 10 – 14 กม./ชั่วโมง และลด Follower Density ลง 2 – 5 คัน/กม. ในกรณีสภาพผิวจราจรแบบมีหิมะสามารถเพิ่มความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางขึ้น 7 – 15 กม./ชั่วโมง และลด Follower Density ลง 4 – 8 คัน/กม.



Figure 7 Capacity analysis on “2+1 lane”¹²

Bains et.,al.¹³ ประเมินถึงการเปลี่ยนแปลงความจุของถนนเมื่อเพิ่มระดับของการปฏิบัติตามชีตจำกัดความเร็วบนทางด่วน Mumbai-Pune Expressway ในภาคตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งมีความน่าสนใจในการศึกษาด้วยเหตุผลหลักสองประการ คือ การมีรถยนต์หลากหลายประเภท

(Multi-Class with Vehicles) และการไม่ขับขึ้นช่องจราจรอย่างเป็นระเบียบ (Poor Lane Discipline) โดยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค VISSIM ทั้งนี้ได้ทำการประมาณค่าความจุของช่วงถนนในสถานการณ์จำลองของการจำกัดความเร็วต่าง ๆ ได้แก่ 80, 70 และ 60 กม./ชม. และระดับการปฏิบัติตามขีดจำกัดความเร็ว 10%, 30%, 50%, 70% และ 90% พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการปฏิบัติตามกฎหมายขีดจำกัดความเร็ว ทำให้ความจุของช่วงถนนเพิ่มสูงขึ้น

การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคกับวิธีของ Highway Capacity Manual (HCM)

การประมาณค่าความจุโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคมักจะถูกใช้ในกรณีวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความจุที่ได้กับการประมาณค่าความจุด้วยวิธีการอื่นๆ ซึ่งแสดงถึงความสามารถของแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการประมาณค่าความจุในสภาพการจราจรจริงที่ให้ค่าความจุที่สมเหตุสมผลมากกว่า ปิยวัฒน์ ทองเกรียว¹⁴ ศึกษาแนวทางและขั้นตอนในพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM เพื่อใช้วิเคราะห์หาค่าความจุและระดับการให้บริการของถนนขนาด 4 ช่องจราจร มีถนนกันและมีไหล่ทาง โดยคำนึงถึงการใช้งานจริงซึ่งมีผลกระทบจากความถี่ของทางเชื่อมและจุดกลับรถ ซึ่งค่าของความจุของถนนที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคมีค่าใกล้เคียงกับของ HCM ในช่วงที่มีความหนาแน่นของปริมาณจราจรน้อยๆ เนื่องจากยังไม่ีผลกระทบจากยานพาหนะที่ออกมาจากทางเชื่อมหรือจากจุดกลับรถมารบกวนในขณะที่ค่าของความจุจากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคจะมีค่าน้อยกว่าค่าความจุที่คำนวณได้จากวิธีการ HCM เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดัง Table 2

Table 2 Capacity Analysis of the four-lane highway at various Level of Service (LOS)¹⁴

ปริมาณจราจร	ความหนาแน่น (Veh/km/ln)				
	7 (LOS A)	11 (B)	16 (C)	22 (D)	28 (E)
HCM2000	466	732	1,064	1,463	1,862
VISSIM	470	717	1,004	1,318	1,596
ร้อยละความแตกต่าง	-0.88	2.00	5.61	9.95	14.29

Kim⁹ พัฒนาแบบจำลอง TWOSIM (Two-lane, two-way highway SIMulator) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนน 2 ช่องจราจรซึ่งมีค่าสูงกว่า HCM2000 ซึ่งมีค่า 1,700 pc/hr/dir (3,200 pc/hr สำหรับสองทิศทาง) ในทุกๆ ความเร็วในการไหลอิสระเฉลี่ย (Table 3) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความจุซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ (1) ไม่มีรถบรรทุกในกระแสจราจร ความจุที่ได้จะลดลงเมื่อมีทางเชื่อม 10-12% เมื่ออยู่ในช่วงโค้งแนวราบ ความจุลดลง 3-17% และช่วงที่ลาดชันขึ้น ความจุลดลง 11-30% และเมื่อเพิ่มการยกโค้งจะทำให้ความจุลดลง 8 -24% กรณีที่ (2) เมื่อมีรถบรรทุกในกระแสจราจร 10-30% ความจุที่ได้ลดลงเมื่อมีทางเชื่อม 10-23% เมื่ออยู่ในช่วงโค้งแนวราบที่มีรัศมีน้อยกว่า 500 ฟุต ความจุลดลง 3-26% และช่วงที่ลาดชันขึ้น ความจุลดลง 11-40% และเมื่อเพิ่มการยกโค้งจะทำให้ความจุลดลง 16-31%

Table 3 Compare the capacity estimation of two-lane highway between the TWOSIM and HCM2000⁹

ความเร็วในการไหลอิสระ (mi/hr)	TWOSIM (pc/hr)	HCM2000 (pc/hr)
70	2,100	1,700
60	2,100	
50	2,000	
40	1,850	

Anamika et al.,¹⁵ วิเคราะห์ความจุโดยใช้หลักการทางสถิติ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรทั้งแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression) และสมการถดถอยไม่เชิงเส้น (Non-Linear Regression) ซึ่ง Speed-Flow Curve ที่วิเคราะห์โดยสมการถดถอยเชิงเส้นตรงมีความแม่นยำสูงกว่า โดยมีผลค่าความจุประมาณ 4,500 PCU/hr/dir ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความจุด้วย Traditional Model และวิธีของ HCM ดังแสดง Table 4

Table 4 Speed-Flow Equations and Capacity Values Comparison with Values Adopted in International Standards¹⁵

Section	Microscopic Simulation Method	Traditinal Method	International Standards
Towards Mathura	$Y=-0.0057X+51.173$ $R^2 = 0.708$ (C=4488 PCU/hr/dir)	$Y=-0.0065X+58.27$ $R^2 = 0.1$ (C=4482PCU/h/dir)	US HCM = 4800 PCU/hr/dir
Towards Delhi	$Y=-0.0062X+54.205$ $R^2 = 0.693$ (C=4461PCU/hr/dir)	$Y=-0.0064X+57.46$ $R^2 = 0.09$ (C=4468PCU/hr/dir)	Indonesia HCM = 4600 PCU/hr/dir

สรุป

การวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนด้วยวิธี Indirect-Empirical Method นับว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีการศึกษาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถลดข้อจำกัดและความยุ่งยากในการสำรวจข้อมูลในภาคสนามได้เป็นอย่างมาก โดย Highway Capacity Manual (HCM) ถือเป็นแนวทางในการประมาณค่าความจุของช่วงถนนด้วยวิธี Indirect Empirical Method ซึ่งได้รับความนิยมสูงสุดและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นแนวทางและมาตรฐานได้ถูกพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกา ทำให้ไม่สามารถนำไปประยุกต์โดยตรงได้ในหลายๆ ประเทศ เนื่องจากเงื่อนไขของสภาพการจราจรที่มีความแตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคจึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งของการประมาณค่าความจุของช่วงถนนด้วยวิธี Indirect Empirical Method ถึงแม้ว่าอาจมีข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้าและตัวแปรในแบบจำลองที่มีจำนวนมากแต่จากการทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและความสามารถในการจำลองสถานการณ์ เงื่อนไข และพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์แต่ละคันได้อย่างละเอียด ซึ่งสามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของการจราจรในแต่ละพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้ผลการวิเคราะห์ค่าความจุของช่วงถนนที่มีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น รวมทั้งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนและทางหลวงในประเทศไทยที่น่าสนใจในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. M.M.Minderhoud, H.Botma and P.H.L.Bovy. Assessment of Roadway Capacity Estimation Methods. Transportation Research Record 1572;1997, pp.59-67.

2. Transport Research Board (TRB). Highway Capacity Manual 2000. 4th Ed., National Research Council, Transportation Research Board, Washington, D.C.; 2010.
3. Federal Highway Administration. Procedures for Estimating Highway Capacity Multilane Highway Capacity. Available from <https://www.fhwa.dot.gov/ohim/hpmsmanl/appn2.cfm>. Accessed July 8, 2017.
4. Fred L. Mannering and Scott S. Washburn. Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, The 5th edition. Wiley Global Education.; 2013.
5. Geetam Tiwari, Joseph Fazio, Sushant Gaurav and Niladri Chatterjee. Continuity Equation Validation for Nonhomogeneous Traffic. JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE. Vol134 no.3; 2008. pp118-127.
6. Central Road Research Institute. Development of Indian Highway Capacity Manual (Indo-HCM). 12th Five Year Plan Project.; 2014.
7. ลัดดา ตันวานิชกุล, จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร และปิยวัฒน์ ทองเกรี้ยว. การศึกษาแนวทางสำหรับเกณฑ์ในการออกแบบหน้าตัดของทางหลวงจากปริมาณจราจรโดยใช้แบบจำลองระดับจุลภาค," KKU ENGINEERING JOURNAL, July-September 2012; 39(3):241-248.
8. สุวิษ เพชรชมพูพันธ์. การวิเคราะห์ความจุบนถนนสายหลักโดยแบบจำลองระดับจุลภาค กรณีศึกษาถนนอ่อนนุช - ลาดกระบัง ช่วงทางด่วนหมายเลข 9 กับทางแยกแยกกิ่งแก้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.; 2556.
9. Joon Hyo Kim. Capacity Estimation Method for Two-Lane, Two-Way Highways Using Simulation Modeling. A Thesis in Civil Engineering, Department Of Civil Engineering, The Graduate School, The Pennsylvania State University,; 2006.
10. Shriniwas S. Arkatkar. Effect of Intercity Road Geometry on Capacity under Heterogeneous Traffic Conditions Using Microscopic Simulation Technique. International Journal of Earth Sciences and Engineering 375, ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL; 2011, pp. 375-380.

11. Madhu and S. Velmurugan, "Estimation of Roadway Capacity of Eight-lane Divided Urban Expressways under Heterogeneous Traffic Through Microscopic Simulation Models," *International Journal of Science and Technology Education Research* Vol. 1(6),;2011, pp. xxx – xxx.
12. Kazunori Munehiro, Azuma Takemoto, Naoto Takahashi, Masayoshi Watanabe, Motoki Asano "Performance Evaluation for Rural Two-Plus-One-Lane Highway in a Cold, Snowy Region," *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.*;2012, 2272(-1):161-172.
13. Manraj Singh Bains, Anshuman Bhardwaj, Shriniwas Arkatkar, S. Velmurugan, "Effect of Speed Limit Compliance on Roadway Capacity of Indian Expressways,"*Procedia - Social and Behavioral Sciences.*;2013, 104 (2013) 458 – 467.
14. ปิยวัฒน์ ทองเกียรยว. การพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค เพื่อหาความจุและระดับการให้บริการของถนนกรณีศึกษา อำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.; 2555.
15. Yadav Anamika, Arun Ashutosh and Velmurugan S. Roadway Capacity Estimation For Multi-Lane Inter-Urban Highways In India. *Colloquium on Transportation Systems Engineering and Management*CTR, CED, NIT Calicut, India,; 2014.

การเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบเทอร์บูเลนต์เหนือสภาวะวิกฤติในช่องการไหลแอนนูลัสโดยการพันเกลียวลวดรอบผิวท่อ

Enhancement of Convective Heat Transfer Coefficients of CO₂ Supercritical Flow in Annulus Channel with Spiral Wire Wrapped Around Tube Surface

วีระวุฒิ อรุณวรรณ^{1*}, ยุทธนา อุไรชื่น², พรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง³

Weerawoot Arunwattana^{1*}, Yuthana Uraichean², Poramate Chunpang³

Received: 8 May 2017; Accepted: 9 August 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบเทอร์บูเลนต์เหนือสภาวะวิกฤติในช่องการไหลแอนนูลัสที่วางในแนวนอนในกรณีที่มีผิวท่อที่มีการพันเกลียวลวด (ความหนา 1.7 มิลลิเมตร) ที่มีระยะพิตช์ 2 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร กับกรณีที่มีผิวท่อไม่พันเกลียวลวด (ช่องการไหลมีเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก 3.87 มิลลิเมตร) โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.086 กิโลกรัมต่อวินาที ที่ความดันสัมบูรณ์ 75 บาร์ 80 บาร์ และ 90 บาร์ ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีที่พันเกลียวลวดที่ระยะพิตช์ 2 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าในกรณีที่พันเกลียวลวดที่ระยะพิตช์ 3 เซนติเมตร 4 เซนติเมตรและในกรณีที่พันเกลียวลวด ตามลำดับทั้งสามความดัน ในขณะที่ความดันสูญเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีที่พันเกลียวลวดที่ระยะพิตช์ 2 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่า 8.2 5 และ 4 เท่าของกรณีไม่พันเกลียวลวดตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีการพันเกลียวลวดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นในบริเวณอุณหภูมิวิกฤติเสมือน และประสิทธิภาพในการเพิ่มจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอยู่ห่างจากอุณหภูมิวิกฤติเสมือน

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การพาความร้อน การไหลแบบเทอร์บูเลนต์ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ระยะพิตช์ อุณหภูมิวิกฤติเสมือน

Abstract

This research investigated convective heat transfer coefficients of CO₂-super critical turbulent flow in an horizontally annular channel comprising a tube surface wrapped by wire (1.7 mm thickness) with three pitch distances: 2 cm, 3 cm and 4 cm. Results were compared with those from a smooth tube surface having 3.87 mm hydraulic diameter. In the test conditions, CO₂ mass flow rate was held constant at 0.086 kg/s and experiments performed at three absolute pressure values of CO₂, 75 bar, 80 bar and 90 bar. At each pressure, the CO₂ bulk temperature was varied from 30 °C to 70 °C. From the experimental results it was found in all tests that convective heat transfer coefficients of CO₂ of a tube surface wrapped by 2 cm pitch distance were higher than in the case of tube surface wrapped by 3 cm, 4 cm pitch or a smooth tube surface. Pressure losses of CO₂ in the tube surface wrapped by 2 cm, 3 cm and 4 cm pitch distances were 8.2X, 5X and 4X higher respectively than with a smooth tube surface. In addition, the maximum efficiency in enhancement of convective heat transfer coefficient of CO₂ with spiral wire wrapped around the tube surface approximates the pseudo critical temperature and the efficiency will decline when the CO₂ bulk temperature is far away from the pseudo critical temperature

Keywords: Convective heat transfer coefficient, turbulent flow, hydraulic diameter, pitch distance, the pseudo critical temperature

บทนำ

ระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน เช่น การผลิตน้ำร้อน การอบแห้ง เป็นต้น เนื่องจากประสิทธิภาพพลังงานสูงกว่าระบบเดิมที่ใช้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารทำงานเดิมจำพวก CFCs, HCFCs ที่ใช้ในระบบปั๊มความร้อนจะถูกยกเลิก เช่น R12, R22 เป็นต้น เนื่องจากมีผลกระทบต่อการทำลายชั้นโอโซน¹ (Ozone depleting) นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังมีค่า GWP สูง (Global Warming Potential) สำหรับในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น เยอรมัน ได้ยกเลิกการใช้สารทำงานเหล่านี้แล้ว ดังนั้นสารทำงานที่มีค่า ODP (Ozone Depleting Potential) และ GWP ต่ำหรือไม่มีเลยกำลังได้รับความสนใจเพื่อนำมาใช้ทดแทนสารทำงานเดิม ได้แก่ สารทำงานจำพวก HFCs (Hydro-fluorocarbons) เช่น R-134a, R-410A ที่ไม่มีผลต่อการทำลายชั้นโอโซน แต่สารเหล่านี้ยังมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนขึ้น หรือมีค่า GWP สูง ล่าสุดได้มีการนำเอาสารทำงานธรรมชาติ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในระบบปั๊มความร้อน² เนื่องจากสารนี้ไม่มีผลต่อการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน และมีค่า GWP = 1 ในขณะที่สารทำงานเดิม เช่น R-134a และ R-410A มีค่า GWP = 1300 และ 1900 ตามลำดับ แต่เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิวิกฤตต่ำ (31°C) และมีความดันวิกฤตสูง (73.8 bars) ดังนั้นในช่วงกระบวนการระบายความร้อน (cooling process) จะต้องทำงานเหนือจุดวิกฤต ในขณะที่กระบวนการให้ความร้อน (heating process) จะทำงานใต้จุดวิกฤต จึงเรียกรวมกันว่า “Transcritical cycle” ด้วยเหตุนี้ระบบปั๊มความร้อนนี้จะมีขนาดเล็กกว่าเดิมเนื่องจากทำงานที่ความดันสูง เมื่อพิจารณาในช่วงกระบวนการระบายความร้อน พบว่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไหลแบบเฟสเดียว (single phase flow) ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (gas cooler) ผลเนื่องจาก Pinch ไม่มี จึงทำให้ระบบนี้สามารถออกแบบที่อุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นอุปกรณ์สำคัญในการออกแบบระบบนี้ คือ แก๊สคูลเลอร์ อย่างไรก็ตามการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยจะต้องออกแบบให้มั่นใจว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือสารหล่อลื่นจะไม่ไปผสมกับผลผลิตที่ผลิตได้ในกรณีเกิดการรั่วไหลขึ้น ดังนั้นการออกแบบให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบผนังเดี่ยวจึงเป็นการออกแบบที่เสี่ยงที่สุดเนื่องจากระบบทำงานที่ความดันสูง การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบผนังสองชั้นจึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

จากการที่ให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบผนังหนาสองชั้น ความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าสูง

กว่าระบบแบบผนังเดี่ยว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการลดความต้านทานความร้อนลง การปรับปรุงผิวการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นมาตรการปรับปรุงแบบ passive จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนโดยการปรับปรุงผิวการแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนใหญ่ปรากฏในของไหลที่ไหลในสถานะความดันปกติ^{3,4} ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านแก๊ส CO₂ ที่ไหลเหนือความดันวิกฤตในช่องการไหลแอนนูลัส โดยการพันเกลียวลวดรอบผิวท่อ จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและความดันสูญเสียระหว่างท่อที่ทำการปรับปรุงกับท่อที่ยังไม่ได้ปรับปรุง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และความดันสูญเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลในช่องการไหลแอนนูลัสแบบที่มีเกลียวลวดพันรอบผิวท่อที่กรณีไม่มีเกลียวลวดพัน โดยมีชุดปฏิบัติการทดลองเดียวกันกับของ ประเมษฐ์ จันทร์เพ็งและคณะ⁵ (Figure 1)

พิจารณาจาก Figure 1 ชุดปฏิบัติการทดลองประกอบด้วย 1. ถังเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ container) ทำหน้าที่เติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบ 2. วาล์วปรับละเอียด (Needle valve) ทำหน้าที่เปิด-ปิด และปรับอัตราการไหล 3. ตัวกรอง (Filter) 4. เกจความดัน (Pressure gage) ทำหน้าที่วัดความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5. แก๊สบูสเตอร์ (Gas booster) ทำหน้าที่เพิ่มความดันของแก๊สให้สูงขึ้น 6. สกรูวาล์ว (Screw valve) ทำหน้าที่เปิด-ปิดการไหลของสารทำงาน 7. ปั๊มหมุนเวียนแก๊ส (Circulation gas pump) ทำหน้าที่หมุนเวียนแก๊สให้ไหลในระบบ 8. อุปกรณ์อุ่นแก๊ส (Pre-heater) ทำหน้าที่อุ่นแก๊สให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 9. อุปกรณ์ทำความเย็น (Pre-cooler) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของแก๊ส 10. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของแก๊ส (Coriolis gas mass flow meter) ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของแก๊ส 11. อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential pressure transducer) 12. ส่วนการทดลอง (Test section) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการทดลอง 13. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Rota flow meter) 14. อุปกรณ์อุ่นน้ำ (Pre-heater) ทำหน้าที่อุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 15. อุปกรณ์ทำความเย็น (Pre-cooler) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำให้มีอุณหภูมิต่ำลง 16. ถังเก็บน้ำ (Water tank) ทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อใช้ในการทดลอง

ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อแอนนูลัสสองรูปแบบ คือ การไหล

ในช่องการไหลแบบผนังเรียบ (Figure 2) และการไหลในช่องการไหลแบบผนังท่อพันเกลียวลวด (Figure 3) สำหรับรูปแบบผนังท่อพันเกลียวลวดเราจะทำการทดลองด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ ที่ระยะพิท (pitch distance) 2 cm, 3 cm และ 4 cm สำหรับการทดลองในแต่ละรูปแบบมีเงื่อนไขในการทดลองที่เหมือนกัน โดยได้ทำการทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ของแก๊ส CO₂ 75 bar, 80 bar และ 90 bar และในแต่ละความดันได้ทำการทดลองหาที่อุณหภูมิของแก๊ส CO₂ ก่อนไหลเข้าในส่วนการทดลองที่ 30 °C, 36 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C และ 70 °C ที่อัตราการไหลของแก๊ส CO₂ 5.2 kg/min โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

อันดับแรกทำการติดตั้งส่วนของการทดลองในชุดการทดลอง (Figure 1) โดยจะทำการติดตั้ง รูปแบบการทดลองแบบผนังเรียบก่อน จากนั้นทำการติดตั้งจุดที่วัดอุณหภูมิด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 6 จุดด้วยกัน คือ ตำแหน่งทางเข้าของแก๊ส CO₂ และตำแหน่งทางออกของแก๊ส CO₂ โดยทำการติดตั้งที่ผิวท่อด้านบนและด้านล่างทั้งทางเข้าและทางออก และอีกสองจุดทำการติดตั้งที่ผิวท่อของน้ำ ณ ตำแหน่งทางเข้าและทางออก และต่อสายเทอร์โมคัปเปิลในเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger)

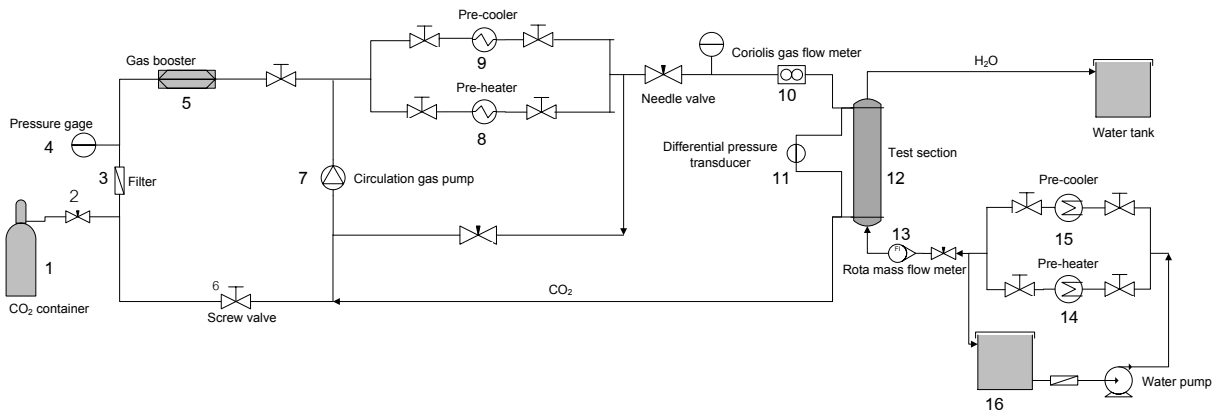


Figure 1 Schematic diagram of the test facility⁵

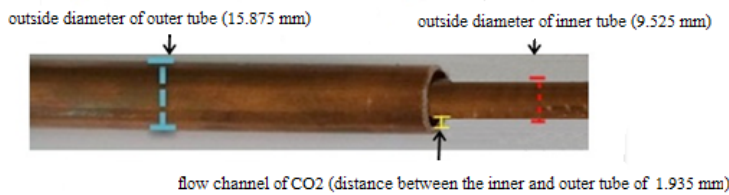


Figure 2 An annulus channel with smooth tube surface

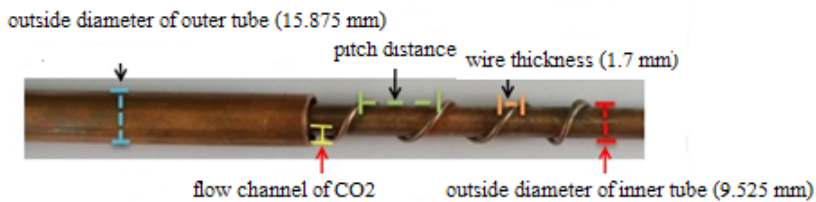


Figure 3 Annulus channel with spiral wire wrapped around tube surface

จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (differential pressure transducer) (รายละเอียดของอุปกรณ์วัดต่าง ๆ ดัง Table 1) แล้วทำการหุ้มฉนวนในส่วนของการ

ทดลอง เมื่อทำการติดตั้งส่วนของการทดลองและอุปกรณ์วัดต่าง ๆ แล้ว ก่อนการเติมแก๊สเข้าสู่ระบบจะทำการดูดอากาศและเศษเจือปนต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบออกให้หมดโดยใช้ปั๊ม

สูญญากาศ แล้วทำการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบให้ได้ความดันประมาณ 25 bar แล้วปิดวาล์วปรับละเอียดตรงทางออกของถังแก๊ส แล้วตรวจสอบรอยรั่วจนมั่นใจว่าไม่มีรอยรั่ว แล้วปิดสกรูวาล์วก่อนไหลเข้าถังแก๊ส จากนั้นใช้ gas booster เพิ่มความดันให้สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เปิดวาล์วปรับละเอียดตรงทางออกของถังแก๊สเพื่อเติมแก๊สเข้าสู่ระบบ และอัดจนกระทั่งได้ความดันที่ต้องการแล้วปิดสกรูวาล์วตรงทางออก gas booster และปิดวาล์วของถังแก๊ส จากนั้นทำการเปิด circulation pump เพื่อให้แก๊สไหลในระบบโดยใช้วาล์วปรับละเอียดปรับให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ เมื่อได้ความดันและอัตราการไหลของแก๊สตามที่ต้องการ จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิของแก๊สโดยการปิดสกรูวาล์วตัวที่เข้าและออกจาก pre-cooler ในกรณีที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิของแก๊สแล้วปรับฮีตเตอร์จนกระทั่งได้อุณหภูมิของแก๊สตามที่ต้องการ ส่วนกรณีที่ต้องการลดอุณหภูมิของแก๊สให้ทำการปิดสกรูวาล์วตัวที่เข้าและออกจาก pre-heater ในส่วนการไหลของน้ำอันดับแรกทำการเปิดปั๊มน้ำ จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิของน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในกรณีเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้ปิดสกรูวาล์วตัวที่เข้าและออกจาก pre-cooler ในขณะที่ต้องการลดอุณหภูมิของน้ำให้ปิดวาล์วตัวที่เข้าและออกจาก pre-heater จากนั้นปรับอัตราการไหลของน้ำตามที่ต้องการโดยใช้วาล์วปรับละเอียด (Figure 1)

ในการทดลองของแต่ละสภาวะการทดลองของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, และ 1000 LPH (ลิตรต่อชั่วโมง) โดยควบคุมให้ LMTD (Log Mean Temperature Different) ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าค่อนข้างคงที่โดยการปรับอุณหภูมิของน้ำ วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (h_{CO_2}) ที่ไหลในท่อแอนนูลัสทั้งสองแบบที่ติดตั้งจะใช้วิธี Modified Wilson Plot⁶ โดยมีวิธีหาดังนี้

พิจารณาจาก Figure 2 และ Figure 3 สามารถหาความต้านทานความร้อนรวม (R_{tot}) โดยไม่คิดผลเนื่องจากการ fouling factor การไหลเป็นแบบคงที่ และการถ่ายโอนความร้อนมีทิศทางในแนวรัศมีเท่านั้น ได้ดังนี้

$$R_{tot} = \frac{1}{\pi D_{1,i} L h_w} + \frac{\ln \frac{D_{1,o}}{D_{1,i}}}{2\pi k_{wall} L} + \frac{1}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \quad (1)$$

- เมื่อ
- R_{tot} = ความต้านทานความร้อนรวม, °C/kW
 - h_w = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ, kW/m²°C
 - h_{CO_2} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ CO₂, kW/m²°C
 - L = ความยาวท่อ, m
 - k_{wall} = ค่าการนำความร้อนของท่อ, kW/m °C
 - $D_{1,i}$ = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางท่อภายในของท่อที่หนึ่ง, m
 - A_{CO_2} = พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้าน CO₂, m²
 - η_s = ประสิทธิภาพผิวของการแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีของผนังเรียบ $A_{CO_2} = \pi D_{1,o} L$ ส่วนกรณีของผนังพันเกลียวลดสมมุติว่าพื้นที่ผิวที่สัมผัสของลดกับผนังท่อ มีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ของพื้นที่ของท่อที่ยังไม่สัมผัส ดังนั้น $A_{CO_2} = \pi D_{1,o} L + (1-0.25) A_{wire}$ เมื่อ A_{wire} คือ พื้นที่ผิวของเส้นลวดทั้งหมด (ที่ยังไม่สัมผัส) และประสิทธิภาพผิวของการแลกเปลี่ยนความร้อนหาได้จากสมการดังนี้

$$\eta_s = 1 - \frac{A_{fin}}{A_{CO_2}} (1 - \eta_{fin}) \quad (2)$$

- เมื่อ
- A_{fin} = พื้นที่ผิวของครีป (พื้นที่ผิวของเส้นลวดในส่วนที่ไม่สัมผัสกับผนังท่อ ($0.75 A_{wire}$)), m²
 - η_{fin} = ประสิทธิภาพของครีป

Table 1 Details of instruments

Measurement	Devices	Model/Series	Measurement range	Uncertainty
Temperature	Thermocouple	ชนิด K	(-25) (+150) °C	±0.05%
Pressure	Pressure gage	Okura	0 - 200 bar	±0.10%
Gas mass flow rate	Coriolis mass flow meter & Transmitter	Emerson/F025 Series & IFT9701	0 – 445 kg/hr	±0.50%
Water flow rate	Rota flow meter	Dwyer RMC Series	0 – 2000 LPH	±2.0%
Differential pressure	Differential pressure transducer	Endress+Hauser PMD75 Series	0.25 mbar – 40 bar	±0.05%

ประสิทธิภาพของครีบบวมถือว่าเป็นลักษณะของครีบบวมวงกลม (Circular fin) เลือกสมการของ Hong และ Webb⁷ ในการคำนวณหาดังนี้

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh(mr\phi)}{mr\phi} \cos(mr\phi) \quad (3)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h_{CO_2}}{k_{CO_2} tick_{fin}}} \quad (4)$$

$$\phi = \left(\frac{r_f}{r} - 1\right) \left(1 + 0.35 \ln\left(\frac{r_f}{r}\right)\right) \quad (5)$$

เมื่อ $r_f = \frac{D_{i,0}}{2} + tick_{fin}$ และ $r = \frac{D_{i,0}}{2}$

$tick_{fin}$ = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นลวด, m

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (h_w) จะใช้รูปสมการของ Dittus-Boelter⁸ สำหรับคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลสถานะเดียวที่ไหลแบบปั่นป่วนดังนี้

$$h_w = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot \frac{k_w}{D_{i,i}} \quad (6)$$

เมื่อ C, m, n = ค่าคงที่

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)

Pr = ตัวเลขพรานด์เทิล (Prandtl number)

k_w = ค่าการนำความร้อนของน้ำ, kW/m °C

สำหรับกรณีนี้ (น้ำถูกทำให้ร้อนขึ้น) n = 0.4 แทนสมการที่ (6) ลงในสมการที่ (1) แล้วจัดรูปแบบใหม่ได้ดังนี้

$$\left(R_{tot} - \frac{\ln \frac{D_{i,0}}{D_{i,i}}}{2\pi k_{wall} L}\right) = \frac{1}{\pi D_{i,i} L C \cdot Re^m \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k_w}{D_{i,i}}} + \frac{1}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \quad (7)$$

เขียน R_{tot} ให้อยู่ในรูป (1/UA) โดย $A = A_i = \pi D_{i,i} L$ ดังนั้นจัดรูปสมการที่ (7) ใหม่ได้ดังนี้

$$\left(\frac{1}{U} - \frac{D_{i,i} \cdot \ln \frac{D_{i,0}}{D_{i,i}}}{2k_{wall}}\right) = \frac{1}{C \cdot Re^m \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k_w}{D_{i,i}}} + \frac{\pi D_{i,i} L}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \quad (8)$$

เมื่อ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, kW/m²°C

จะเห็นว่าสมการที่ (8) อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$Y = A \cdot X + B \quad (9)$$

$$\text{เมื่อ } Y = \left(\frac{1}{U} - \frac{D_{i,i} \cdot \ln \frac{D_{i,0}}{D_{i,i}}}{2k_{wall}}\right) \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{C} \quad (11)$$

$$X = \frac{1}{Re^m \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k_w}{D_{i,i}}} \quad (12)$$

$$B = \frac{\pi D_{i,i} L}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \quad (13)$$

ค่า U เป็นตัวแปรที่ทราบค่าซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$U = \frac{Q}{(\pi d_i L) \cdot \frac{(T_{CO_2,out} - T_{w,in}) - (T_{CO_2,in} - T_{w,out})}{\ln \frac{(T_{CO_2,out} - T_{w,in})}{(T_{CO_2,in} - T_{w,out})}}} \quad (14)$$

$$Q = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (15)$$

กำหนดให้ h_{CO_2} มีค่าคงที่ที่สภาวะทางเข้าคงที่ค่าหนึ่ง จากนั้นปรับค่าอัตราการไหลของน้ำตามเงื่อนไขการทดลองข้างต้น ดังนั้นในการทดลองหาค่า h_{CO_2} ค่าใดค่าหนึ่งเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของน้ำจำเป็นต้องปรับให้ LMDT มีค่าคงที่ ซึ่งจะได้จุดตัดแกน Y (B) เพื่อที่จะไปคำนวณหาค่า h_{CO_2} ดัง Figure 4

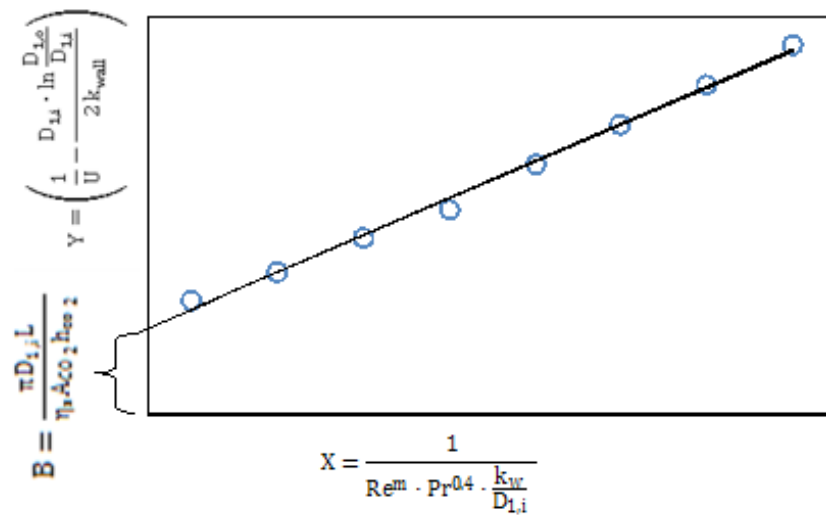


Figure 4 A Wilson Plot Method

อย่างไรก็ตามไม่สามารถแก้สมการเชิงเส้นโดยการพล็อตดังกล่าวข้างต้นได้ เนื่องจากเรามีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าสามตัวแปร คือ h_{CO_2} , C และ m ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสมมุติค่าตอบของ m เพื่อไปคำนวณหาค่า h_{CO_2} ที่ได้จากการสมมุติค่า m ครั้งแรกแล้วนำไปพล็อตกราฟที่สองโดยมีรายละเอียดในการพล็อตกราฟที่สอง ดังนี้

จากสมการที่ (8) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\left\{ \left(\frac{1}{U} - \frac{D_{1,i} \cdot \ln \frac{D_{1,o}}{D_{1,i}}}{2k_{wall}} \right) - \frac{\pi D_{1,i} L}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \right\} \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k_w}{D_{1,i}} = \frac{1}{C \cdot Re^m} \tag{16}$$

$$\frac{k_w}{D_{1,i}} = \frac{1}{C \cdot Re^m} \tag{17}$$

ซึ่ง $Y_2 = \frac{1}{C \cdot Re^m}$

จัดรูปสมการในเทอมของ \ln จะได้

$$\ln Y_2 = -m \cdot \ln(Re) - \ln C \tag{18}$$

ซึ่งอยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$Y_2 = D \cdot X_2 + E \tag{19}$$

เมื่อ $Y_2 = \ln Y_2$ (20)

$$D = -m \tag{21}$$

$$X_2 = \ln(Re) \tag{22}$$

$$E = -\ln C \tag{23}$$

ซึ่งเราจะได้ตัวแปรตาม

$$Y_2 = \ln \left[\left\{ \left(\frac{1}{U} - \frac{D_{1,i} \cdot \ln \frac{D_{1,o}}{D_{1,i}}}{2k_{wall}} \right) - \frac{\pi D_{1,i} L}{\eta_s A_{CO_2} h_{CO_2}} \right\} \cdot Pr^{0.4} \cdot \frac{k_w}{D_{1,i}} \right] \tag{24}$$

จากการสมมุติค่า m ครั้งแรกสามารถหาจุดตัดแกน y ได้โดยการพล็อตกราฟ (Figure 5) ถ้าความชันที่ได้ คือ $D = -m$ แสดงว่าค่าที่ได้ถูกต้อง ถ้าไม่ใช่ให้สมมุติค่าตอบจนกว่าจะถูก โดยมีขั้นตอนการคำนวณดัง Figure 6

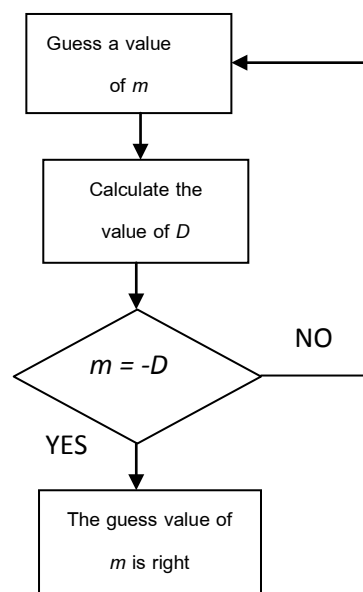


Figure 5 A logarithmic Wilson Plot

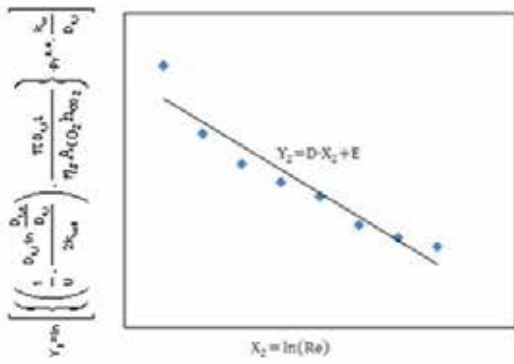


Figure 6 Flow chart diagram of the Wilson Plot algorithm⁶

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พิจารณา Figure 7 เป็นผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลในช่องแวนนูลัสในสภาวะเหนือจุดวิกฤติ ที่ความดันสัมบูรณ์ 75 bar 80 bar และ 90 bar ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °C (a) ไหลในท่อเรียบ (b) ไหลในท่อพันเกลียวลดระยะพิทซ์ 2 cm (c) ไหลในท่อพันเกลียวลดระยะพิทซ์ 3 cm และ (d) ไหลในท่อพันเกลียวลดระยะพิทซ์ 4 cm

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่า ค่าแนวโน้มของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีลักษณะคล้ายกันสำหรับการไหลในท่อแวนนูลัสทั้งสี่แบบ โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความร้อนจำเพาะของ

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดัง Figure 8 ดังนั้น จากผลการทดลองที่ความดัน 75 bar ค่าจะมีค่าสูงที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิ pseudo critical (31.4 °C) เช่นเดียวกันที่ความดัน 80 bar และ 90 bar ค่าจะมีค่าสูงที่อุณหภูมิ 36 °C และ 40 °C ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิ pseudo critical (34.3 °C สำหรับความดัน 80 bar และ 39.6 °C สำหรับความดัน 90 bar) ในช่วงอุณหภูมิ 50 – 70 °C ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อทั้งสี่แบบมีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งสามความดัน และพบว่าที่เส้นความดันสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าสูงกว่าแต่ไม่มากนัก (Figure 7) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Figure 8)

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อทั้งสี่แบบ ผลการเปรียบเทียบแสดงดัง Figure 9 (a) ที่ความดัน 75 bar (b) ที่ความดัน 80 bar และ (c) ที่ความดัน 90 bar พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อพันเกลียวลดระยะพิทซ์ 2 cm มีค่า สัมประสิทธิ์มากกว่าท่อพันเกลียวลดระยะพิทซ์ 3 cm และ 4 cm และการไหลในท่อเรียบ ตามลำดับตลอดช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °C ทั้งสามความดัน โดยพบว่า ดีกรีความต่างที่สูงจะเกิดขึ้นในบริเวณรอบ ๆ อุณหภูมิ pseudo critical ทั้งสามความดัน และดีกรีความต่างจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของแก๊สมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าอุณหภูมิ pseudo

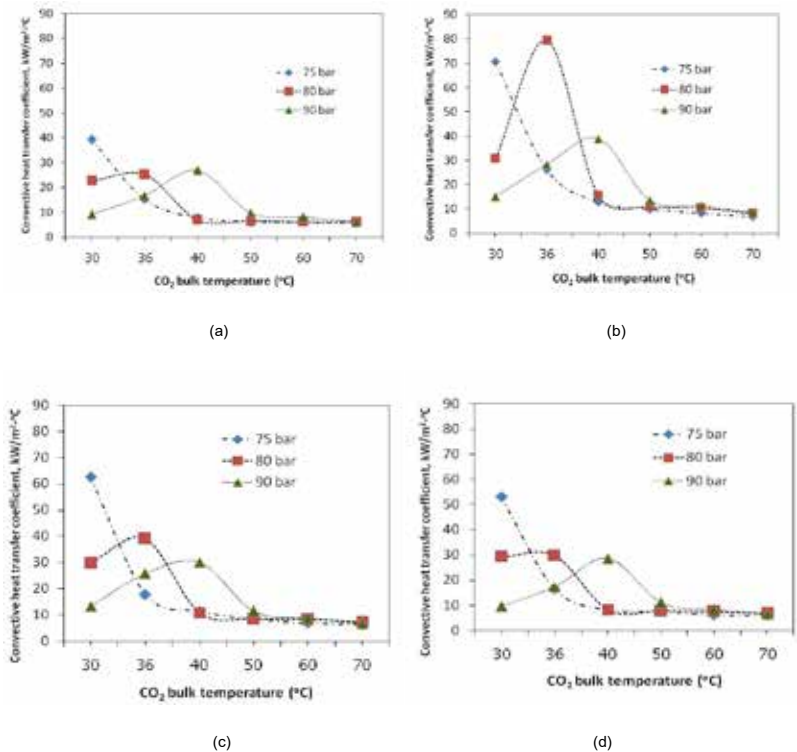


Figure 7 Convective heat transfer coefficients of CO₂ flow in annulus channel : (a) smooth tube and spiral wire wrapped around tube with pitch distance (b) 2 cm, (c) 3 cm, (d) 4 cm

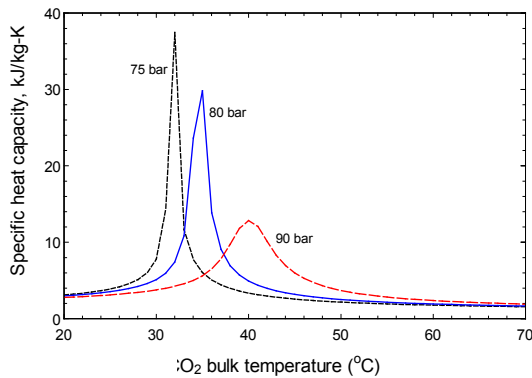


Figure 8 Specific heat of CO₂

จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- ที่ความดัน 75 bar ดิจรีความต่างสูงเกิดที่อุณหภูมิ 30 °C (Figure 9 a) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อพันเกลียวลวดที่มีระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm, 4 cm และในท่อเรียบมีค่าเท่ากับ 70.78, 62.78, 53 และ 39.36 kW/m²-K ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบค่าของท่อที่พันเกลียวลวดกับท่อเรียบ พบว่า ท่อพันเกลียวลวดที่ระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่า 80%, 59% และ 35% ตามลำดับ

- ที่ความดัน 80 bar ดิจรีความต่างสูงเกิดที่อุณหภูมิ 36 °C (Figure 9 b) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อพันเกลียวลวดที่มีระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm, 4 cm และในท่อเรียบมีค่าเท่ากับ 79.5, 39.1, 29.8 และ 25.3 kW/m²-K ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบค่าของท่อที่พันเกลียวลวดกับท่อเรียบ พบว่า ท่อพันเกลียวลวดที่ระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่า 233%, 54.5% และ 17.8% ตามลำดับ

- ที่ความดัน 90 bar ดิจรีความต่างสูงเกิดที่อุณหภูมิ 40 °C (Figure 9 c) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อพันเกลียวลวดที่มีระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm, 4 cm และในท่อเรียบมีค่าเท่ากับ 38.9, 30.1, 28.6 และ 27 kW/

m²-K ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบค่าของท่อที่พันเกลียวลวดกับท่อเรียบ พบว่า ท่อพันเกลียวลวดที่ระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่า 44%, 11.5% และ 6% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในช่วงค่าความจุความร้อนจำเพาะของแก๊ส CO₂ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย (ช่วงอุณหภูมิ 50 – 70 °C) ดิจรีความต่างที่สูงกว่าท่อเรียบของท่อที่พันเกลียวลวดแสดงดัง Figure 10 (a) 75 bar (b) 80 bar และ (c) 90 bar

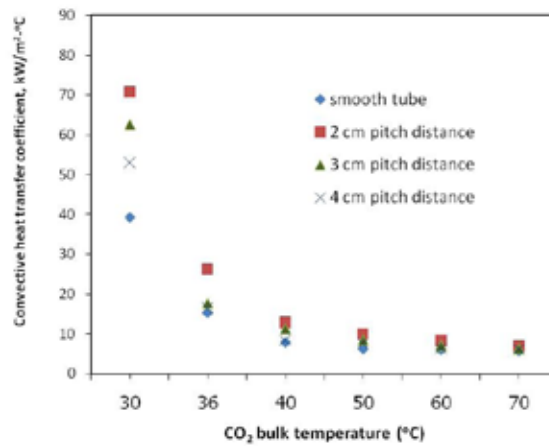
จาก Figure 10 สรุปได้ดังนี้

- ท่อที่พันเกลียวลวดที่มีระยะพิตซ์ 2 cm มีเปอร์เซ็นต์ของดิจรีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าสูงสุดทั้งสามความดันเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะพิตซ์ 3 cm และ 4 cm

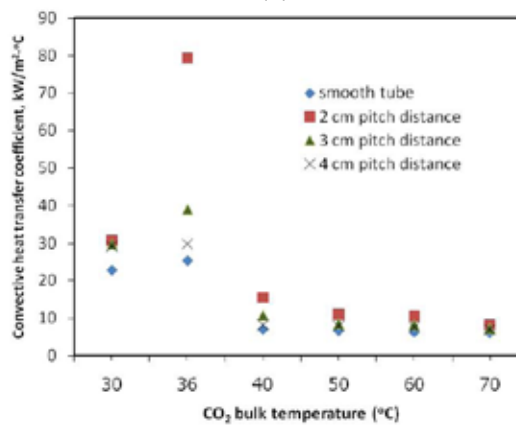
- ที่ความดัน 75 bar ดิจรีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อพันเกลียวลวดที่มีระยะพิตซ์ 2 cm และ 3 cm มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

- ที่ความดัน 80 bar และ 90 bar ดิจรีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อพันเกลียวลวดทั้งสามระยะพิตซ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

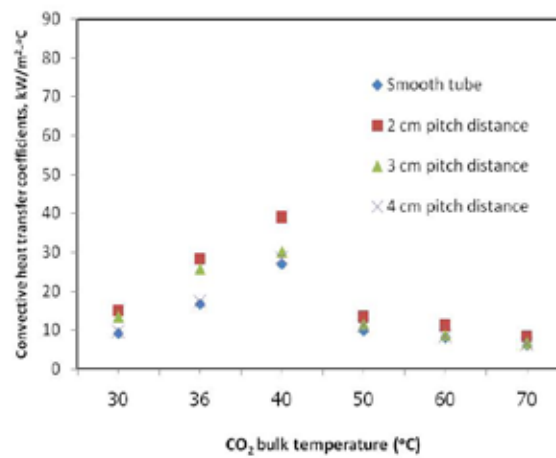
นอกจากนี้ได้วัดความดันสูญเสียของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในท่อเรียบและท่อที่พันเกลียวลวดทั้งสามที่อัตราการไหลของแก๊ส 2.2 – 9.8 kg/h ผลการวัดแสดงดัง Table 2 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สเพิ่มขึ้นค่าความดันสูญเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในท่อเรียบและท่อที่พันเกลียวลวด เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันสูญเสียระหว่างท่อที่พันเกลียวลวดกับท่อเรียบที่อัตราการไหล 9.8 kg/h (อัตราเดียวกับการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน) พบว่า ท่อพันเกลียวลวดที่ระยะพิตซ์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่าท่อเรียบ 7.2, 4.8 และ 4.1 เท่าตามลำดับ



(a)



(b)



(c)

Figure 9 Comparison of convective heat transfer coefficients of CO₂ flow in various heat transfer surfaces (a) 75 bar (b) 80 bar (c) 90 bar

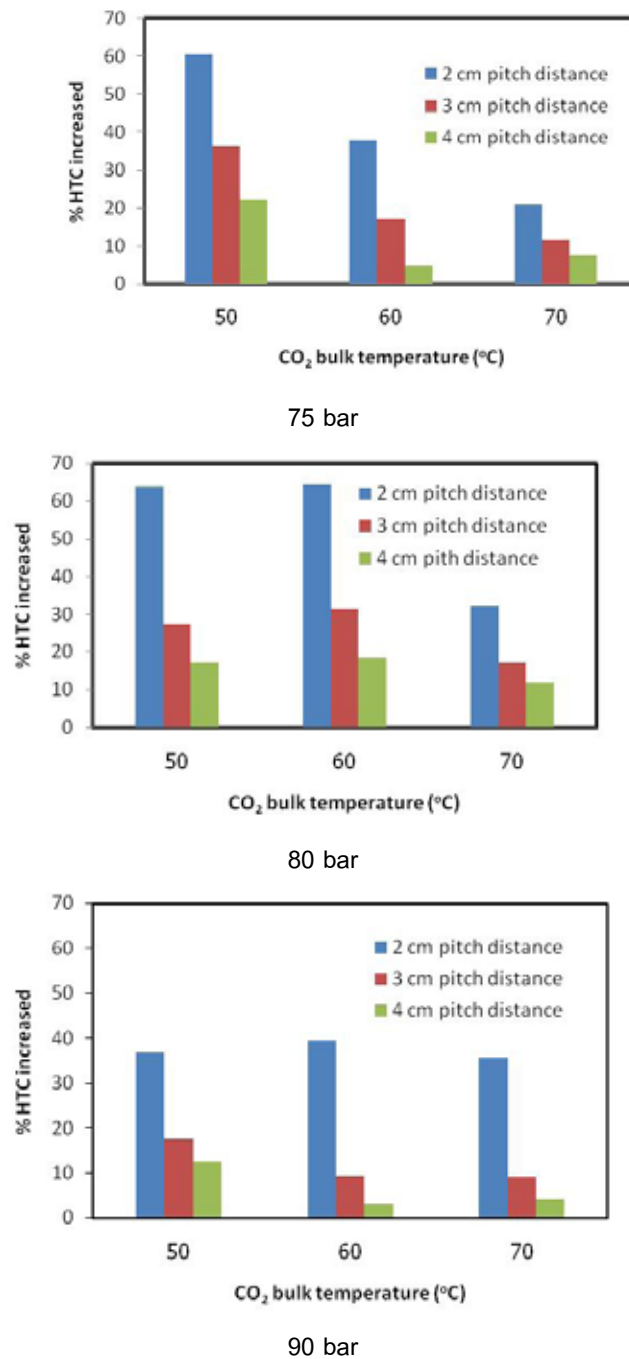


Figure 10 Degree enhancement of heat transfer coefficients of CO₂ flow in channel with spiral wire contacted (a) 75 bar (b) 80 bar and (c) 90 bar

Table 2 Pressure losses of CO₂

CO ₂ mass flow rate (kg/h)	Pressure losses (mbar)			
	Smooth tube	2 cm pitch distance	3 cm pitch distance	4 cm pitch distance
2.2	61.3	518	251	231
5	91	746	456	360
6	98	762	479	389
8.2	108	775	511	428
9.8	110	791	529	447

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยและความดันสูญเสียของแก๊ส CO₂ ในสภาวะการไหลเหนือจุดวิกฤตที่ความดันสัมบูรณ์ 75 bar, 80 bar และ 90 bar ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °C ระหว่างการไหลในช่องแวนนูลัสผิวเรียบมีเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกส์ 3.87 mm ยาว 640 mm และการไหลในช่องแวนนูลัสโดยผิวท่อพันด้วยเกลียวลวดหนา 1.7 mm ที่ระยะพิทช์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm โดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะหาจากวิธีการ modified Wilson plot และความดันสูญเสียได้จากการวัดโดยตรงจากเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกัน ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในช่องแวนนูลัสแบบผิวเรียบและแบบพันเกลียวลวดมีแนวโน้มที่คล้ายกันในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °C ทั้งสามความดัน โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นตรงต่อค่าความจุความร้อนของแก๊ส CO₂ และค่าสูงสุดจะเกิดขึ้นในบริเวณอุณหภูมิ pseudo critical ทั้งสามความดัน และค่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในบริเวณนี้

- ในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 50 °C ทั้งสามเส้นความดันค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจากค่าความจุความร้อนของแก๊สมีค่าค่อนข้างคงที่

- ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของแก๊ส CO₂ ที่ไหลในช่องแวนนูลัสแบบผิวพันเกลียวลวดที่ระยะพิทช์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่าแบบผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวการแลกเปลี่ยนความร้อนและเพิ่มความเป็นเทอร์บูเลนซ์ของการไหล โดยพบว่า ดีกรีความต่างสูงจะเกิดในบริเวณอุณหภูมิ pseudo critical และดีกรีความต่างจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอยู่ห่างจากอุณหภูมิ pseudocritical และพบว่า การเพิ่มระยะพิทช์ของเกลียวลวดส่งผลต่อการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากการลดลงของพื้นที่ผิวการแลกเปลี่ยนความร้อนและลดความเป็นเทอร์บูเลนซ์ของการไหลลง

- ที่ความดันสูง (90 bar) การเพิ่มอุณหภูมิให้มากกว่า 50 °C ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อพันเกลียวลวดน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเรียบ

- ค่าความดันสูญเสียของท่อที่พันเกลียวลวดที่ระยะพิทช์ 2 cm, 3 cm และ 4 cm มีค่าสูงกว่าท่อเรียบ 7.2, 4.8 และ 4.1 เท่าตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เงินงบประมาณรายได้ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- Rowland, F. and M. Molina. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature* 1974; 249:810-812.
- Neksa, P., H. Rekstad, et al. CO₂-heat pump water heater: characteristics, system design and experimental results. *International Journal of Refrigeration* 1998; 21(3):172-179.
- Kohler, J. A. and K. E. Staner. High performance heat transfer surfaces in *Handbook of Applied Thermal Design*, E. C. Guyer, Ed. New York, McGraw-Hill 1984: 7.37-7.49.
- Siddique, M., R. A. Khaled, et al. Recent advances in heat transfer enhancements: a review report. *International Journal of Chemical Engineering* 2010: 1-28.
- Chunpang, P., W. Arunwattana, et al. Buoyancy effect to heat transfer coefficients of the CO₂-supercritical turbulent downward flow in annulus tube inclined 45° for cooling process. *Science and Technology Mahasarakham University* 2016; 35(1):19-27.
- Munkejord, S. Varmerovergang og trykktap i ekstruderte multiporte/-Er. Master thesis, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 1997.
- Hong, K. and R. Webb. Calculation of fin efficiency for wet and dry fins. *HVAC&R Research* 1996; 2(1):27-41.
- Dittus, F. W. and L. M. K. Boelter (1930). Heat transfer in automobile radiators of tubular type. *University of California Publications of Engineering* 1930; 2:443-461.

ผลกระทบคุณภาพน้ำด้านกายภาพ และเคมี จากระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ กรณีศึกษา สระเก็บน้ำห้วยเกษียร จังหวัดปราจีนบุรี

Physical and Chemical water quality impacts of solar floating photovoltaic electric generation: a case study of Huai Kasain reservoir, Prachinburi province.

ปิยรัฐ กล้าทอง¹, วิสาखा ภู่จินดา², จำลอง โพธิ์บุญ², อภิชาติ คงแป้น³

Piyarat Klumthong¹, Wisakha Phoochinda², Chamlong Poboorn², Apichart Kongpann³

Received: 19 June 2017; Accepted: 5 October 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพน้ำด้านกายภาพ และเคมี จากระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ กรณีศึกษา สระเก็บน้ำห้วยเกษียร จังหวัดปราจีนบุรี โดยศึกษาพารามิเตอร์ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ความเป็นกรด – เบส ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) การนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ (BOD) ปริมาณไนเตรต และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) โดยทำการเก็บตัวอย่างในเดือนธันวาคม 2559 และมีนาคม 2560 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้ค่าเฉลี่ยในเดือนธันวาคม ดังนี้ อุณหภูมิ 27.8 °C, ความโปร่งแสง 26.57 เซนติเมตร, ความเป็นกรด – เบส 8.06, ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด 14.1 ppm, การนำไฟฟ้า 21.31 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DO 5.03 mg/l, BOD 5.77 mg/l, ปริมาณไนเตรต 0.881 mg-N/l และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด 1449 MPN/100 ml, และค่าเฉลี่ยในเดือนมีนาคม ดังนี้ อุณหภูมิ 30.9 °C, ความโปร่งแสง 32.57 เซนติเมตร, ความเป็นกรด – เบส 7.32, ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด 8.88 ppm, การนำไฟฟ้า 18.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DO 5.55 mg/l, BOD 5.74 mg/l, ปริมาณไนเตรต 1.02 mg-N/l และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด 758.57 MPN/100 ml เมื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเดือนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าคุณภาพน้ำ DO และ BOD ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ พารามิเตอร์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน

คำสำคัญ : คุณภาพน้ำ สระเก็บน้ำห้วยเกษียร แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

The purpose of this study was to study the impact on the physical and chemical properties of water in Huai Kasain reservoir Prachinburi province after installation of solar floating PV electric generation. Temperature, transparency, pH, conductivity, Total Dissolved Solid (TDS), Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), nitrate and Total Coliform Bacteria (TCB) were investigated in December 2016 and March 2017. Average values of water properties in December 2016 were 27.8 °C for temperature, 26.57 cm for transparency, 8.06 for pH, 21.31 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for conductivity, 14.1 ppm for TDS, 5.03 mg/l for DO, 5.77 mg/l for BOD, 0.881 mg-N/l for nitrate and 1,449 MPN/100 ml for TCB. Those in March 2017 were 30.9 °C for temperature, 32.57 cm for transparency, 7.32 for pH, 18.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for

¹ นักศึกษาปริญญาโท คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ อีเมลล์ ice_fon_tip@hotmail.com โทร (080) 454-4090

² รองศาสตราจารย์, คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

³ ส่วนพลังงานชุมชน ฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่

¹ Graduate students, The Graduate School of Environmental Development Administration, National Institute of Development Administration. (NIDA) E-mail: ice_fon_tip@hotmail.com Tel. (080) 454-4090

² Associate professors, Ph.D., The Graduate School of Environmental Development Administration, NIDA

³ Energy Community Division, Corporate Social Responsibility Department, PTT PUBLIC COMPANY LIMITED

conductivity, 8.88 ppm for TDS, mg/l for DO, 5.74 mg/l for BOD, 1.02 mg-N/l for nitrate and 758.57 MPN/100 ml for TCB. We tested the statistical difference at 0.05 level of water properties between the December 2016 and March 2017 samples. DO and BOD had not changed but the other properties were different at different seasons. Water quality of the reservoir was found to be within the range of quality standards.

Keywords: Water Quality, Huai Kasain reservoir, Solar cell

บทนำ

พลังงานไฟฟ้านับว่าเป็นพลังงานที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในยุคปัจจุบันนี้ เพราะความสะดวกสบายและการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะขนาดใดๆ ก็ตาม จำเป็นที่จะต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น พลังงานไฟฟ้ายังมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย โดยมีการคาดการณ์ว่าปริมาณการบริโภคไฟฟ้าจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ¹ โดยมีอัตราการเพิ่มระหว่างปี 2559 – 2579 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 14.67 และความต้องการไฟฟ้ารวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.96

วิธีทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าได้คือ การหันมาใช้เทคโนโลยีสะอาด ส่งเสริมนโยบายการประหยัดพลังงาน และการใช้พลังงานทดแทน เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล เป็นต้น เพื่อมาทดแทนการผลิตที่มาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) ที่ดำเนินการโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเป้าหมายในการดำเนินการผลิตไฟฟ้าให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นสูงสุดของพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆ

เนื่องจากเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งลอยน้ำเป็นเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่เข้ามาสู่ประเทศไทยทางกลุ่มบริษัท ปตท. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร และมูลนิธิชัยพัฒนา ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญด้านพลังงาน และยังเห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นหากอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง² การลดอัตราการระเหยน้ำประมาณ 70% ของบริเวณที่ติดตั้งหากมีการติดตั้งที่คลุมบริเวณผิวน้ำเป็นบริเวณกว้าง³ โดยทั้งนี้การติดตั้งในบริเวณสระเก็บน้ำห้วยเกษียร เป็นการติดตั้งเพื่อทดสอบระบบและผลกระทบต่างๆ ที่อาจจะก่อให้เกิดขึ้นในขณะดำเนินการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เพื่อที่จะเป็นโครงการนำร่อง และนำข้อมูลส่วนหนึ่งของการดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ ไปขยายผลติดตั้งในพื้นที่ของมูลนิธิชัยพัฒนา และพื้นที่แหล่งน้ำอื่น ๆ ทั่วประเทศ อีกทั้ง ยังเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเพื่อเป็นการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

พื้นที่ในการศึกษาวิจัย

พื้นที่ในการศึกษาตั้งอยู่ภายในบริเวณสระเก็บน้ำห้วยเกษียร ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี สระเก็บน้ำห้วยเกษียรมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่โดยรวมทั้งหมดประมาณ 10,500 ตารางเมตร ความลึกโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5.6 เมตร ความจุของสระเก็บน้ำคือ 59,480 ลูกบาศก์เมตร โดยสระเก็บน้ำนี้มีการอุปโภค และการเกษตรของประชาชนในพื้นที่เท่านั้น โครงการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำใช้พื้นที่ 25 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.24 ของพื้นที่ทั้งหมด



Figure 1 Huai Kasain reservoir Number 1 is structure of Floating PV.



Figure 2 Structure of Floating PV

วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพน้ำในวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2559 และวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2560 โดยมีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำห้วยเกษียรดังภาพที่ 2 ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกเดียวกันที่ระดับ 50 เซนติเมตรจาก

ผิวน้ำเนื่องจากระดับความลึกเฉลี่ยของสระเก็บน้ำห้วยเกษียร นั้นลึกประมาณ 5.6 เมตร มีเกณฑ์กำหนดถ้าน้ำลึกไม่เกิน 2 เมตร ควรเก็บที่กึ่งกลางลำน้ำ ถ้าเกินกว่า 2 เมตร ให้เก็บ ลึกจากผิวน้ำอย่างน้อย 50 เซนติเมตร (ไม่ควรเก็บใกล้ฝั่ง)⁵ เพื่อเป็นตัวแทนน้ำของบริเวณนั้นๆ และพารามิเตอร์ที่ทำการ เปรียบเทียบได้พิจารณาจากลักษณะของการใช้ประโยชน์ของ พื้นที่คือเป็นบริเวณที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ชุมชน⁵ จึงมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ อุณหภูมิ ความขุ่น ของแข็ง ทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (Total Dissolved Solid: TDS) ความ เป็นกรด-เบส ออกซิเจนละลาย ปริมาณไนเตรต ความนำไฟฟ้า บีโอดี คอลลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด

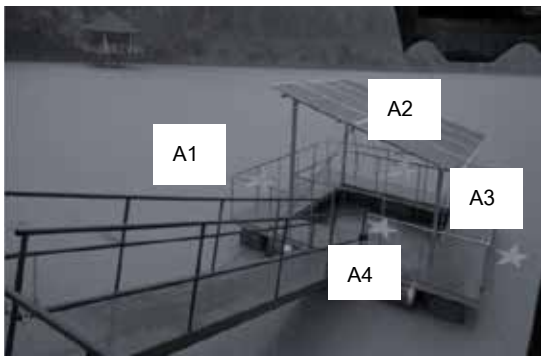


Figure 3 Collected point around structure

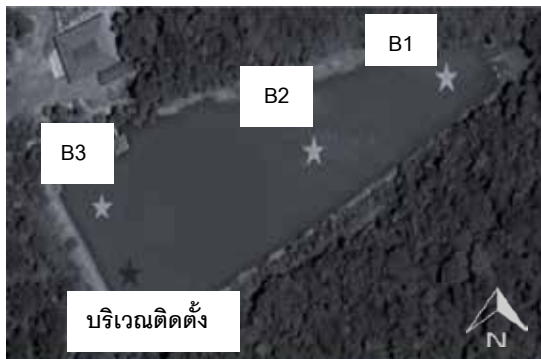


Figure 4 Collected point within Huai Kasian reservoir

โดยกำหนด

- A1 คือ จุดเก็บตัวอย่างด้านทิศเหนือของโครงสร้าง
- A2 คือ จุดเก็บตัวอย่างด้านทิศตะวันออกของโครงสร้าง
- A3 คือ จุดเก็บตัวอย่างด้านทิศใต้ของโครงสร้าง
- A4 คือ จุดเก็บตัวอย่างภายในโครงสร้าง
- B1 คือ จุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำ
- B2 คือ จุดเก็บตัวอย่างบริเวณกลางน้ำ
- B3 คือ จุดเก็บตัวอย่างบริเวณปลายน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การตรวจวัดนั้นแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ วิเคราะห์ ทันทีในภาคสนามแล้วทำการบันทึกหาค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทน ของพารามิเตอร์ดังนี้ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ความเป็น กรด-เบส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด และอีกส่วนเก็บตัวอย่างเพื่อ ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการโดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ ค่าบีโอดี ปริมาณไนเตรต และโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด โดย เลือกส่งที่ห้องปฏิบัติการเอกชนที่มีรายชื่ออยู่ในคู่มือวิธีปฏิบัติ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ⁵ แล้วนำผลมาบันทึก วิเคราะห์เปรียบเทียบว่าบริเวณที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และบริเวณอื่นของสระเก็บน้ำนั้นแตกต่างกันหรือไม่ เปรียบ เทียบความแตกต่างระหว่างเดือนธันวาคม และมีนาคม และ เปรียบเทียบพารามิเตอร์ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ปริมาณไนเตรต ความเป็นกรด-เบส และโคลิฟอร์ม แบคทีเรียทั้งหมด กับค่ามาตรฐานน้ำผิวดิน จากกรมควบคุม มลพิษ⁶ กรมชลประทาน⁷ กรมประมง⁸ เนื่องจากการติดตั้ง โครงสร้างไม่มีการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำก่อนติดตั้ง ดังนั้นจะใช้จุดเก็บตัวอย่าง B1 ซึ่งอยู่ไกลจากจุดติดตั้งโครงสร้าง และไม่ได้รับผลกระทบจากการติดตั้ง ซึ่งจะนำมาใช้อ้างอิง สภาพธรรมชาติที่แท้จริงของสระเก็บน้ำ⁵

Table 1 Show parameters to measure and method

Parameter	Method/Device
Temperature, Conductivity, Total dissolve solid, pH, Dissolve Oxygen	Multimeter
BOD	5 Day incubation and Azide modification of the Winkler method
Transparence	Secchi disc
Nitrate - Nitrogen	Cadmium reduction method
Total Coliform Bacteria	Multiple tube method

การทดสอบทางสถิติ

การศึกษาครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานในการวิจัยดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ และ เคมี ในเดือนธันวาคม 2559 ไม่แตกต่างกัน
2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ และ เคมี ในเดือนมีนาคม 2560 ไม่แตกต่างกัน
3. ผลการวิเคราะห์ระหว่างเดือนธันวาคม 2559 และเดือนมีนาคม 2560 ไม่แตกต่างกัน

การทดสอบความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย (t-test) สำหรับการตรวจสอบความแตกต่างของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และใช้การทดสอบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน (Paired Samples t-test) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างเดือนธันวาคม และมีนาคม ว่ามีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 หรือไม่⁹

ผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 9 พารามิเตอร์ ในเดือนธันวาคม 2559 และมีนาคม 2560 นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจากกรมควบคุมมลพิษ และนำค่าคุณภาพน้ำที่ได้ในแต่ละเดือนมาทดสอบความแตกต่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับค่าเฉลี่ย และนำค่าคุณภาพน้ำทั้งสองเดือนมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เช่นเดียวกัน ได้ผลดังแสดงใน Figure 5 ถึง Figure 13 และตั้ง Table 2 และ 3

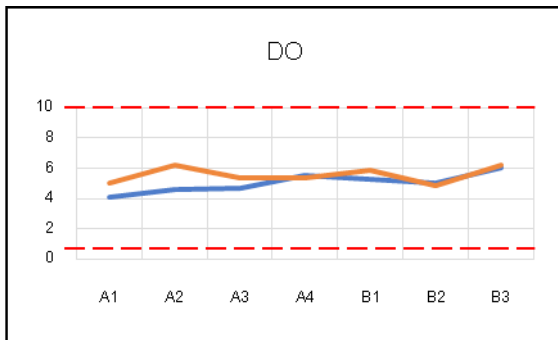


Figure 5 Results of DO in Dec 2016 and March 2017

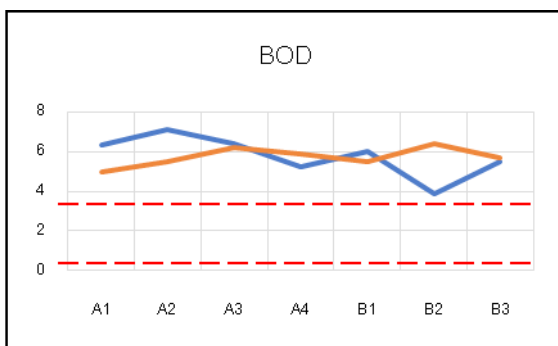


Figure 6 Results of BOD in Dec 2016 and March 2017

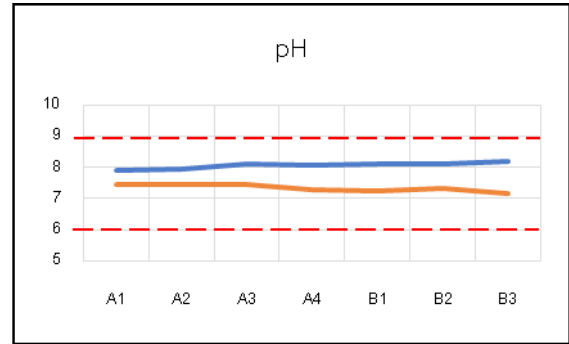


Figure 7 Results of pH in Dec 2016 and March 2017

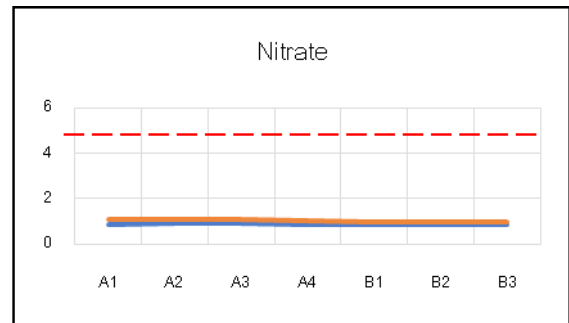


Figure 8 Results of Nitrate in Dec 2016 and March 2017

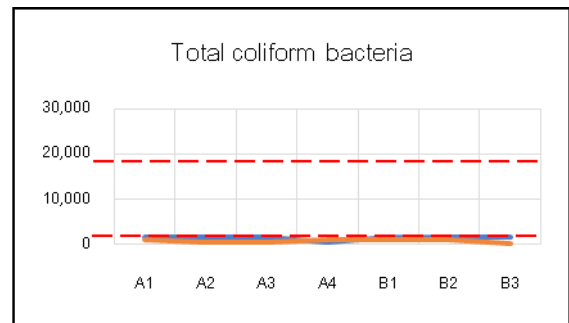


Figure 9 Results of Total Coliform Bacteria in Dec 2016 and March 2017

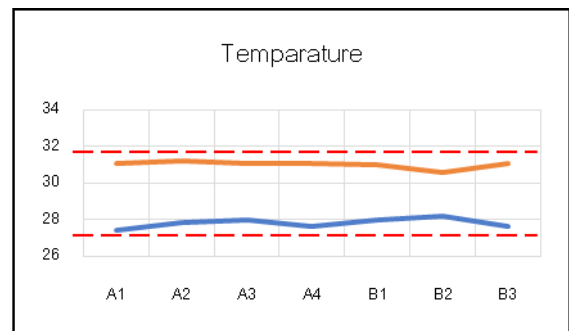


Figure 10 Results of Temperature in Dec 2016 and March 2017

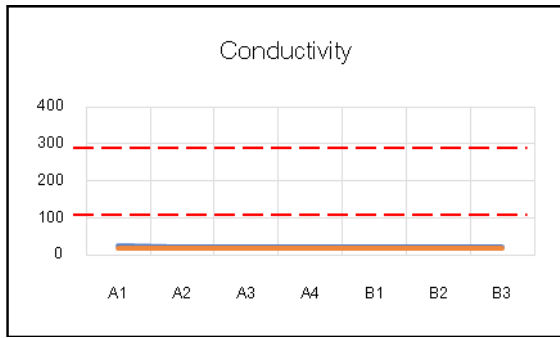


Figure 11 Results of Conductivity in Dec 2016 and March 2017

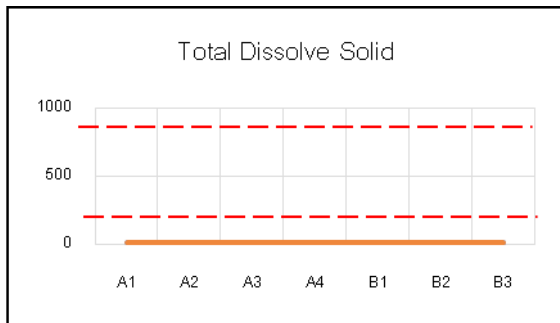


Figure 12 Results of Total Dissolve Solid in Dec 2016 and March 2017

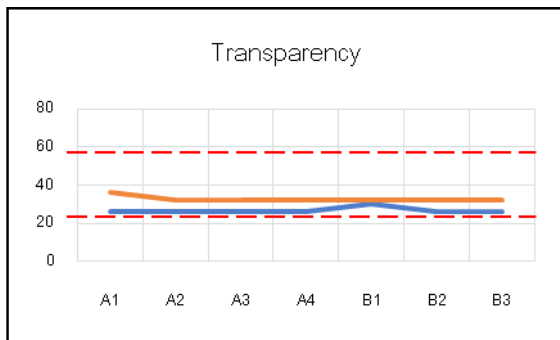


Figure 13 Results of Transparency in Dec 2016 and March 2017

* Note Samples in December 2016
 Samples in March 2017
 Standard Water Quality

Table 2 Comparison between December 2016 and March 2017 with Standard water quality

Parameter	Average in December 2016	Average in March 2017	Standard water quality
DO (mg/l)	5.03	5.55	2-10
BOD (mg/l)	5.77	5.74	<1.5-4
pH	8.06	7.32	6.5-9
Nitrate (mg-N/l)	0.881	1.02	<5
TCB (MPN/100 ml)	1,449	758.57	5,000-20,000
Temperature (°C)	27.8	30.9	28 - 32
Conductivity (µS/cm)	21.31	18.51	<150-300
TDS (ppm)	14.1	8.88	<300-900
Transparency (cm.)	26.57	32.57	30-60

Table 3 testing the difference of each sampling at a statistically significant level at 0.05 as comparing between December 2016 and March 2017

	DO		BOD		pH		Nitrate		TCB		Tem		Con		TDS		Transparency	
	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017	Dec 2016	March 2017
Mean	5.03	5.54	5.77	5.74	8.06	7.32	0.88	1.02	1448.57	758.57	27.80	30.99	21.31	18.51	14.17	8.94	26.57	32.57
Variance	0.42	0.32	1.07	0.22	0.01	0.01	0.00	0.00	400.64	251.07	0.08	0.04	1.65	1.09	0.42	0.34	2.29	2.29
Observations	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
df	6		6		6		6		6		6		6		6		6	
t Stat	-2.06		0.06		9.65		-7.52		3.29		-19.81		5.58		16.40		-6.87	
P(T<=t) one-tail	0.04		0.48		0.00		0.00		0.01		0.00		0.00		0.00		0.00	
t Critical one-tail	1.94		1.94		1.94		1.94		1.94		1.94		1.94		1.94		1.94	
P(T<=t) two-tail	0.08		0.96		0.00		0.00		0.02		0.00		0.00		0.00		0.00	
t Critical two-tail	2.45		2.45		2.45		2.45		2.45		2.45		2.45		2.45		2.45	

วิจารณ์และสรุปผล

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากระบบผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ ได้ศึกษาพารามิเตอร์ 9 พารามิเตอร์ดังนี้ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) กรด-เบส ปริมาณไนเตรต ปริมาณคอลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด อุณหภูมิ ความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด และความโปร่งแสง โดยใช้มาตรฐานในการพิจารณากรณีแหล่งน้ำผิวดินจาก กรมควบคุมมลพิษ กรมชลประทาน และสถาบันประมงน้ำจืด ประกอบกัน โดยศึกษาเปรียบเทียบ 2 ช่วงคือเดือนธันวาคม และเดือนมีนาคม

จาก Table ผลสรุป Table 2 พบว่าค่าคุณภาพน้ำเฉลี่ยโดยรวมของทั้งพื้นที่สระเก็บน้ำห้วยเกษียรในแต่ละพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษ⁶ กรมชลประทาน สำนักวิจัยและพัฒนา⁷ และกรมประมง สำนักวิจัยและพัฒนา⁸ ได้กำหนดไว้ มีลักษณะเป็นไปตามธรรมชาติของแหล่งน้ำ ปราศจากน้ำทิ้งจากโครงการ หรือโรงงานอุตสาหกรรมใดๆ มีความเหมาะสมแก่การเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ และอนุรักษ์สัตว์น้ำ สามารถนำไปใช้อุปโภค บริโภคได้ ยกเว้นค่าของพารามิเตอร์บีโอดี ที่กำหนดมาตรฐานไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าเฉลี่ยที่ได้ในการเก็บตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ในครั้งที่ 1 (ธันวาคม 2559) และครั้งที่ 2 (มีนาคม 2560) อยู่ที่ 5.77 และ 5.74 ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ปะปนไปในการเก็บตัวอย่าง จึงส่งผลให้ค่าบีโอดีที่ตรวจวัดมีค่าสูง เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำบริเวณติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบทั้งหมดของสระเก็บน้ำ โดยทดสอบพารามิเตอร์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างกับค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 3 พบว่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในแต่ละจุดนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุที่คุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างกันเนื่องมาจาก ขนาดของโครงการที่มีขนาดเล็กมาก คิดเป็นพื้นที่เพียงร้อยละ 0.24 ของพื้นที่อ่างเก็บน้ำทั้งหมด จึงสรุปว่าการติดตั้งโครงการไม่ทำให้คุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ประกอบกับการเป็นแหล่งพื้นที่ต้นน้ำจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์บางอย่างที่ตรวจวัดมีค่าต่ำ โดยการนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนที่เกิดจากสารละลายหลายชนิด ค่านี้จึงไม่สามารถบอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำบอกได้เพียงการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงถึงสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลง แสดงได้ว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความเป็นกรด-ด่าง¹¹ ดังนั้น

ค่าความนำไฟฟ้าของสระเก็บน้ำห้วยเกษียรมีค่าน้อยสรุปได้ว่า มีสารที่แตกตัวเป็นไอออนอยู่ปริมาณน้อย ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกิดจาก ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอน และ ปริมาณของแข็งแขวนลอย¹² ค่าในการตรวจวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของสระเก็บน้ำห้วยเกษียรมีค่าน้อยสรุปได้ว่า มีของแข็งแขวนลอยอยู่ในปริมาณน้อย อีกทั้งตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าก็ไม่ได้สร้างผลิตภัณฑ์และของเสียใดๆ ออกมา ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงพลังงาน จึงไม่มีการปนเปื้อนลงสู่อ่างเก็บน้ำ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดระหว่างเดือน ธันวาคม และเดือนมีนาคม นั้น ดังตารางที่ 3 พบว่ามีค่าของพารามิเตอร์ ออกซิเจนละลาย และปริมาณบีโอดีเท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกัน สำหรับพารามิเตอร์อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ความเป็นกรด – เบส ความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลาย ทั้งหมด ปริมาณไนเตรต คอลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยความแตกต่างกันนั้นเนื่องมาจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล และลักษณะเฉพาะตัวสำหรับปริมาณไนเตรต

สิ่งที่ปรากฏนอกเหนือจากคุณภาพน้ำ คือลักษณะที่มองเห็นได้ทั่วไป การทำโครงการแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำโดยใช้โครงสร้างคล้ายกับศาลา ส่งผลให้เกิดร่มเงา บดบังแสงอาทิตย์อาจส่งผลกระทบต่อโครงการนี้ไปขยายผลในพื้นที่ที่มีสัตว์น้ำจะทำให้ปลาบางชนิดได้ว่ายมาอาศัยหลบแสงแดด อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่สามารถลงไปเดินดูสัตว์น้ำ หรือพักผ่อนหย่อนใจได้ แต่กระนั้นก็ต้องรักษาความสะอาดหากมีผู้เข้าไปเยี่ยมชมต้องจัดระเบียบพื้นที่ให้เป็นสัดส่วน ป้องกันผู้เยี่ยมชมทิ้งขยะลงสู่อ่างเก็บน้ำ

อย่างไรก็ตาม ถ้าหากมีการขยายขนาดพื้นที่โครงการ จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณภาพน้ำอีกเช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าพื้นที่ขนาดเล็กจะไม่มีผลกระทบอะไรที่เป็นนัยสำคัญ แต่เมื่อขยายขนาดโครงการอาจมีผลกระทบที่ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงได้ [10] เพื่อเป็นการวางแผนรับมือกับการเปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษารั้งถัดไป ควรทำการศึกษาคูณภาพน้ำ ทั้งก่อนและหลังการติดตั้ง และความแตกต่างในแต่ละฤดูกาล เพื่อดูความเปลี่ยนแปลง และศึกษาด้านชีวภาพแบบเชิงลึกว่า ผลของการติดตั้งโครงการแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งขนาดเล็ก (จุลชีพ) และสัตว์น้ำขนาดใหญ่ มากน้อยอย่างไร

หากมีโครงการในลักษณะเดียวกันแต่มีขนาดที่ขยายมากขึ้นควรศึกษาสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อเป็นการหาผลกระทบให้มีความละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น และทำการศึกษาเปรียบเทียบโครงการที่มีขนาดเล็ก และขนาดที่ใหญ่กว่าเพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

ควรมีการศึกษาเชิงลึกด้านลักษณะทางกายภาพของสระเก็บน้ำว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะของโครงสร้างลอยน้ำหรือไม่ เช่น การศึกษาความลึกของสระน้ำว่ามีความสัมพันธ์ต่อความเร็วกระแสใน ความลึกต่าง ๆ กันหรือไม่ และการมีโครงสร้างลอยน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วกระแสหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนพลังงานชุมชน ฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
2. ประสาท มีแต้ม. 2559. โซลาร์ฟาร์มลอยน้ำ ช่วยลดการระเหยและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า. ค้นวันที่ 22 ตุลาคม 2559 จาก <http://www.manager.co.th/Daily/ViewNews.aspx?NewsID=9590000023817>
3. Sharma, Paritosh; Muni, Bharat and Sen, Debojyoti. 2015. Design Parameters of 10KW Floating Solar Power Plant. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. (2): 85-89.
4. บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2559. รายงานสรุปงานติดตั้งโซลาร์เซลล์สูบน้ำแบบติดตั้งลอยน้ำเพื่ออุปโภคและการเกษตร บริเวณสระเก็บน้ำห้วยเกษียร ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี. รายงานการศึกษา.
5. กรมควบคุมมลพิษ, สำนักจัดการน้ำ. 2553. วิธีปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ. ค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2559 จาก http://infofile.pcd.go.th/water/Water_CollNat_Manual.pdf?CFID=1731371&CFTOKEN=45385182

6. กรมควบคุมมลพิษ. 2537. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. ค้นวันที่ 16 สิงหาคม 2559 จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html
7. กรมชลประทาน, สำนักวิจัยและพัฒนา. 2550. คู่มือการปฏิบัติงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน.
8. กรมประมง, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง.
9. วิสาขา ภูจินดา. 2558. ระเบียบวิธีวิจัยและสถิติด้านสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: บางกอกบล๊อค.
10. จำลอง โพธิ์บุญ. 2557. การประเมินด้าน สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: บางกอกบล๊อค.
11. เสวียน เปรมประสิทธิ์ และคณะ. (2547). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการเขื่อนแควน้อยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก. (แผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ). (หน้า 6-22). (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิษณุโลก
12. สิทธิชัย ตันธนะสฤษฎ์. (2549). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การวิเคราะห์พฤกษเคมีและผลของแฟรกชันจากสารสกัดใบชุมเห็ดเทศต่อแบคทีเรีย Methicillin Resistant *Staphylococcus Aureus* และ *Pseudomonas Aeruginosa* Phytochemical Analysis and Effect of *Senna Alata* Leaf Extract Fractions on Methicillin Resistant *Staphylococcus Aureus* and *Pseudomonas Aeruginosa*

กนกพร ไชยอนันต์พร,^{1*} วรัญญา จตุพรประเสริฐ,¹ วิยะดา มงคลธนารักษ์,² ทศพล ไชยอนันต์พร³

Kanokporn Chaianunporn,^{1*} Waranya Chatuphonprasert,¹

Wiyada Mongkolthananuk,² Thotsapol Chaianunporn³

Received: 23 June 2017; Accepted: 13 September 2017

บทคัดย่อ

การอุบัติของแบคทีเรียที่ดื้อยาปฏิชีวนะหลายชนิด ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องพัฒนายาต้านแบคทีเรียชนิดใหม่ขึ้นมา พืชสมุนไพรถือเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่ถูกนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากพืชสมุนไพรที่มีความเป็นพิษน้อยและหาได้ง่ายตามธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของแฟรกชันจากสารสกัดใบชุมเห็ดเทศ (*Senna alata*) ในการยับยั้งการเจริญและผลต่อรูปร่างของ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) และ *Pseudomonas aeruginosa* โดยสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดเทศได้ถูกนำมาสกัดแฟรกชันด้วยวิธี คอลัมน์โครมาโตกราฟี จากนั้นไปทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (minimum inhibitory concentration, MIC) และฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (minimum bactericidal concentration, MBC) ซึ่งพบว่าจากแฟรกชันทั้งหมด 13 ส่วน แฟรกชันที่ 13 (F13) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้ง MRSA ที่ MIC 0.39±0.00 มก./มล. และ MBC 5.21±1.80 มก./มล. และ แฟรกชันที่ 3 (F3) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้ง *P. aeruginosa* ที่ MIC 0.78±0.00 มก./มล. และ MBC 5.21±1.80 มก./มล. เมื่อนำแฟรกชัน F3 และ F13 มาทำการตรวจวิเคราะห์ทางด้านพฤกษเคมีจะพบฟลาโวนอยด์, ฟีนอลิก และแทนนินในแฟรกชันทั้งสองส่วน ในขณะที่อัลคาลอยด์จะพบเฉพาะในแฟรกชัน F3 และสเตอรอยด์จะพบเฉพาะในแฟรกชัน F13 เท่านั้น และเมื่อนำแฟรกชัน F3 และ F13 มาทดสอบผลที่มีต่อรูปร่างของเชื้อแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าใน MRSA แฟรกชัน F3 มีผลทำให้เกิดการแตกของเซลล์ และแฟรกชัน F13 ส่งผลให้ผิวเซลล์มีลักษณะขรุขระ ในขณะที่ *P. aeruginosa* นั้น แฟรกชัน F3 จะทำให้เซลล์มีลักษณะบวมบริเวณตรงกลางเซลล์ และแฟรกชัน F13 จะส่งผลให้มีการยึดตัวของเซลล์และผิวเซลล์ไม่เรียบ ดังนั้นจากผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแฟรกชันของสารสกัดจากใบชุมเห็ดเทศมีผลในการยับยั้งการเจริญและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ที่แตกต่างกันในแบคทีเรียแกรมบวก MRSA และแกรมลบ *P. aeruginosa*

คำสำคัญ : ชุมเห็ดเทศ แฟรกชัน ความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งแบคทีเรีย ความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย MRSA *Pseudomonas aeruginosa*

¹ อาจารย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,

² อาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹ Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand

² Department of Microbiology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

³ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author: Kanokporn Chaianunporn, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand
E-mail: kchaianunporn@gmail.com

Abstract

The emergence of multiple drug resistance (MDR) bacteria necessitates the development of new antimicrobial agents. Medicinal plants represent potential means of treating infection because they have low toxicity and are readily accessible. The objective of this study is to determine the effect of *Senna alata* fractions on the growth inhibition and cell morphology of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*). Ethanolic *S. alata* leaf extract was fractionated by column chromatography. The fractions were evaluated for antibacterial activity using minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) assays, and their effects on bacterial cell morphology were investigated by scanning electron microscopy (SEM). From 13 fractions of *S. alata* extract, activity against MRSA was most pronounced in fraction F13, with MIC and MBC values of 0.39 ± 0.00 mg/ml and 5.21 ± 1.80 mg/ml, respectively. Activity against *P. aeruginosa* was most pronounced in fraction F3 with MIC and MBC values of 0.78 ± 0.00 mg/ml and 5.21 ± 1.80 mg/ml, respectively. Phytochemical analysis of fractions F3 and F13 revealed the presence of flavonoids, phenolics and tannins in both fractions, whereas alkaloids and steroids were found only in F3 and F13, respectively. SEM examination revealed membrane shrinkage in F3-treated MRSA and bursting cells with a crystalline rough surface in F13-treated MRSA. *P. aeruginosa* cells showed a small rupture at their center following treatment with fraction F3, while surface roughening and elongated cell shape were observed following treatment with fraction F13. These results demonstrate that different *S. alata* fractions exhibit different effects on cell morphology and have different levels of inhibitory and bactericidal activity against Gram-positive, MRSA, and Gram-negative, *P. aeruginosa*.

Keywords: *Senna alata*, fractions, minimum inhibitory concentration, minimum bactericidal concentration, MRSA, *Pseudomonas aeruginosa*

Introduction

Infectious diseases are an important public health problem, one that has been rendered more complicated by the emergence of multidrug resistant (MDR) bacteria. Multidrug resistance is especially remarkable in Asia because of a lack of awareness and understanding of appropriate antimicrobial usage and different standards of public hygiene between countries.^{1,2} Two outstanding examples are methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and MDR *Pseudomonas aeruginosa*. These pathogens cause infections that are difficult to control in terms of both treatment and prevention of dissemination.³⁻⁵ The emergence of these MDR bacterial strains necessitates the development of new antimicrobial agents. Medicinal plants represent potential means of treating infection because they have low toxicity and are readily accessible.⁶ *Senna alata* (Linn.) Roxb. from the family Fabaceae (Leguminosae) is commonly known as ringworm tree, candlestick, candle bush or *chum-het-thet*, and is often used as a traditional medicine in Thailand. Pharmacological

and biological activities of *S. alata* reportedly include laxative effects, anti-inflammatory activity, pain relief, increased urination, perspiration, the promotion of digestion, hypoglycemic activity, and insect repellent activity.^{7,8} Previous studies have also shown that *S. alata* crude extract has antibacterial and antifungal activity,⁹⁻¹⁴ but the active components have yet to be identified.

In the present study, *S. alata* leaves were extracted using ethanol in accordance with Thai traditional medicine practice. The crude extract was then fractionated by column chromatography, with the fractions examined for antibacterial activities. The effect of active fractions on the cell morphology of Gram-positive MRSA and Gram-negative *P. aeruginosa* was also determined to gain deeper understanding of how the active components affect bacterial cells.

Materials and Methods

Plant material

S. alata leaves were purchased from a traditional

herbal pharmacy in Maha Sarakham province, Thailand. The leaves were cleaned and air-dried before drying in a hot air oven at 50 °C for 5 hours. The dried leaves were then ground into a fine powder using an electric blender. This powder was stored in airtight containers and kept at room temperature until used.^{11,12}

Plant extraction and fractionation

Ten grams of powdered *S. alata* leaves was extracted with 1 L of 95% ethanol using Soxhlet apparatus at 60-70 °C for 3 hours. The ethanol from the crude extract was completely removed using a rotary evaporator. The crude extract was then fractionated by separation column chromatography using dichloromethane and ethanol as the solvents. At first, 100% dichloromethane was used as the solvent, then steadily decreased the proportion of dichloromethane and increased the proportion of ethanol until the solvent was 100% ethanol. Elutes were collected and aliquots subjected to Thin layer chromatography (TLC) for fractions analysis under UV light at 254 and 365 nm. Fractions which showed the same pattern on TLC were pooled together and then subjected to evaporation in a rotary evaporator and freeze-dried in a lyophilizer.^{12,14} Dried fractions were dissolved in 50% DMSO to make a stock concentration of 100 mg/ml and were stored at 4 °C for further use.¹⁵

Preparation of bacterial inocula

MRSA (DMST 20651) and *P. aeruginosa* (ATCC 27853) were cultured at 37 °C for 18-24 hours on nutrient agar (NA). The bacteria were subsequently subcultured in Mueller-Hinton broth (MHB), incubated at 37 °C for 3 hours and adjusted to 0.5 McFarland standards. Then, the bacterial suspension was further diluted, giving approximately 10⁶ CFU/ml.⁶

Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values of *S. alata* fractions

MICs were determined by performing the broth microdilution method in 96-well plates. A 100 µl volume of each *S. alata* fraction was pipetted into the first row of

the plate. To all other wells, 50 µl of MHB was added and mixed with 50 µl of each fraction in sequence for two-fold serial dilutions. Then, 50 µl of adjusted bacterial suspension was put into each well. The 96-well plates were incubated for 16-18 hours at 37 °C. After that, 10 µl of 1 mg/ml of resazurin indicator solution was added to each well and incubated for 2 hours at 37 °C. If a color change from purple to pink or colorless was detected, this was recorded as positive.¹⁵ The lowest concentration at which the color change occurred was recorded as the MIC. DMSO was used as a viable cell control, tetracycline was used as a positive control, and MHB was used as a negative control. All experiments were performed in triplicate.

To determine the MBC, a loopful of suspension from all the wells that did not show any change in color were inoculated on NA and incubated for 24 hours at 37 °C. After incubation, the lowest concentration with no visible growth was recorded as the MBC.¹⁶

Activity index of fractions

The activity index was calculated by dividing the MIC value of each fraction by the MIC value of the crude extract.^{17,18}

Phytochemical analysis

The fractions of *S. alata* which showed the lowest MIC were subjected to standard qualitative phytochemical analysis for different secondary metabolites including alkaloids, flavonoids, phenolics, steroids, and tannins using previously described methods.^{16,19} Secondary metabolites that were present in both fractions (i.e. flavonoids, phenolics and tannins) were then analyzed quantitatively. The total flavonoid and total phenolic content were determined using the Folin-Ciocalteu method.²⁰ Determination of the percent contribution of tannin was performed using the principle that polymeric tannin pigments are resistant to bisulfite bleaching as previously described.^{21,22}

Examination of treated bacteria by scanning electron microscopy (SEM)

MRSA and *P. aeruginosa* were cultured in MHB

at 37 °C for 3 hours, adjusted to 0.5 McFarland standards, and inoculated into the 2 x MBC of fractions F3 and F13. These suspensions were incubated for 12 hours at 37 °C. Twenty microliters of each suspension was applied to nuclear pore polycarbonate membranes, and fixed in 2.5% glutaraldehyde at 4 °C for 12 hours. Bacterial cells dehydration process was achieved by increasing concentrations of ethanol (from 30%, 50%, 70%, 80%, up to 100%). The dried samples were mounted onto stubs, coated with 40-60 nm of gold and then observed by SEM (LEO 1450 VP Scanning Electron Microscope).²³

Results

Extraction and antibacterial activity of the *S. alata* fractions against MRSA and *P. aeruginosa*

Yields of antibacterial activity of the 13 fractions of *S. alata* are presented in Table 1. The crude extract and the 13 fractions were initially tested for antibacterial activity using an agar diffusion method. Only 5 fractions (i.e. F3, F4, F7, F12 and F13) had significant antibacterial activity compared to tetracycline (data not shown). Subsequently, MICs and MBCs of the crude extract and 13 fractions were determined against MRSA and *P. aeruginosa* (Table 2). MIC and MBC values of the fractions against MRSA ranged from 0.39±0.00 to 12.50±0.00 mg/ml and from 5.21±1.80 to 25.00±0.00 mg/ml, respectively. For *P. aeruginosa*, MIC and MBC were from 0.78±0.00 to 25.00±0.00 mg/ml and from 5.21±1.80 to 33.33±14.43 mg/ml, respectively. Of all the 13 fractions,

F13 showed the greatest activity against MRSA with MIC and MBC values of 0.39±0.00 mg/ml and 5.21±1.80 mg/ml, whereas F3 showed the greatest activity against *P. aeruginosa* with MIC and MBC values of 0.78±0.00 mg/ml and 5.21±1.80 mg/ml (Table 2).

Table 1 Yields of *S. alata* fractions

Fraction	Yield (%)
F1	11.64
F2	5.45
F3	18.18
F4	10.55
F5	28.73
F6	7.27
F7	9.45
F8	8.73
F9	10.91
F10	10.18
F11	9.82
F12	16.73
F13	13.82

Activity index values of the *S. alata* fractions with reference to the crude extract are shown in Table 2. Eight of the 13 fractions showed better inhibition of MRSA, and five of the 13 fractions showed better inhibition of *P. aeruginosa* than the crude extract. Fraction F13 had the highest activity index against MRSA (21 times better than crude extract), whereas fraction F3 had the highest activity index against *P. aeruginosa* (10.5 times better than crude extract).

Table 2 Minimum inhibitory concentrations (MICs) and minimum bactericidal concentrations (MBCs) of *S. alata* fractions

<i>S. alata</i> fraction	MRSA			<i>P. aeruginosa</i>		
	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)	Activity index	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)	Activity index
F1	12.50±0.00	25.00±0.00	0.66	25.00±0.00	25.00±0.00	0.33
F2	NT	NT	NT	NT	NT	NT
F3	0.78±0.00	14.58±9.55	10.5	0.78±0.00	5.21±1.80	10.5
F4	0.78±0.00	12.50±0.00	10.5	2.61±0.91	8.33±3.61	3.14
F5	12.50±0.00	33.33±14.43	0.66	25.00±0.00	25.00±0.00	0.33
F6	NT	NT	NT	25.00±0.00	25.00±0.00	0.33
F7	3.13±0.00	20.83±7.22	2.62	10.42±3.61	12.50±0.00	0.79
F8	7.29±4.77	20.83±7.22	1.21	6.25±0.00	12.5±0.00	1.31
F9	8.33±3.61	12.50±0.00	0.98	6.25±0.00	16.67±7.22	1.31
F10	8.33±3.61	20.83±7.22	0.98	25.00±0.00	25.00±0.00	0.33
F11	NT	NT	NT	25.00±0.00	33.33±14.43	0.25
F12	2.08±0.91	14.58±9.55	3.94	20.83±7.22	33.33±14.43	0.25
F13	0.39±0.00	5.21±1.80	21	8.33±3.61	8.33±3.61	3.14
Crude	8.19±0.00	16.38±0.00	N/A	8.19±0.00	8.19±0.00	N/A
Tetracycline	0.016	0.016	N/A	0.004	0.004	N/A

Data were expressed as mean±SD; NT: not tested; N/A: not applicable

Phytochemical analysis of the *S. alata* fractions

S. alata fractions F3 and F13, which had shown the lowest MIC values against MRSA and *P. aeruginosa*, respectively, were screened for the presence of different classes of secondary metabolites.

The results revealed the presence of flavonoids, phenolics and tannins in both fractions (Table 3). In addition, alkaloids were found in fraction F3, and steroids

were found in fraction F13.

Quantitative analyses of flavonoid, phenolic and tannin content in the two fractions are shown in Table 4. Fraction F3 had the highest content of total flavonoids (4307.26 µg QE/ml) and total phenolics (2856.33 µg GAE/ml). Fraction F3 contained 84.95% tannins, while fraction F13 contained 89.24% tannins.

Table 3 Qualitative phytochemical analysis of the *S. alata* fractions

Secondary metabolites	<i>S. alata</i> fraction	
	F3	F13
Alkaloids	+	-
Flavonoids	+	+
Phenolics	+	+
Tannins	+	+
Steroids	-	+

+: positive; -: negative

Table 4 Quantitative phytochemical analysis of the *S. alata* fractions

<i>S. alata</i> fraction	Flavonoids ($\mu\text{g QE/ml}$) ^a	Phenolics ($\mu\text{g GAE/ml}$) ^b	Tannins (% contribution)
F3	4307.26	2856.33	84.95
F13	1614.96	592.36	89.24

a: equivalent to quercetin (QE); b: equivalent to gallic acid (GAE)

Examination of treated bacteria by SEM

The effects of *S. alata* fractions upon MRSA and *P. aeruginosa* morphology were investigated using scanning electron microscopy (SEM). Untreated MRSA and *P. aeruginosa* cells both showed normal cell morphology (Fig. 1A and Fig. 1B). In MRSA treated with fraction F3, the cells appeared shrunken (Fig. 1C), while in MRSA

treated with fraction F13, the cells had a crystalline rough surface and appeared to be bursting (Fig. 1E). *P. aeruginosa* cells treated with fraction F3 (Fig. 1D) appeared dimpled compared to the untreated cells (Fig. 1B), whereas *P. aeruginosa* cells treated with fraction F13 had a slightly roughened surface and elongated cell shape (Fig. 1F).

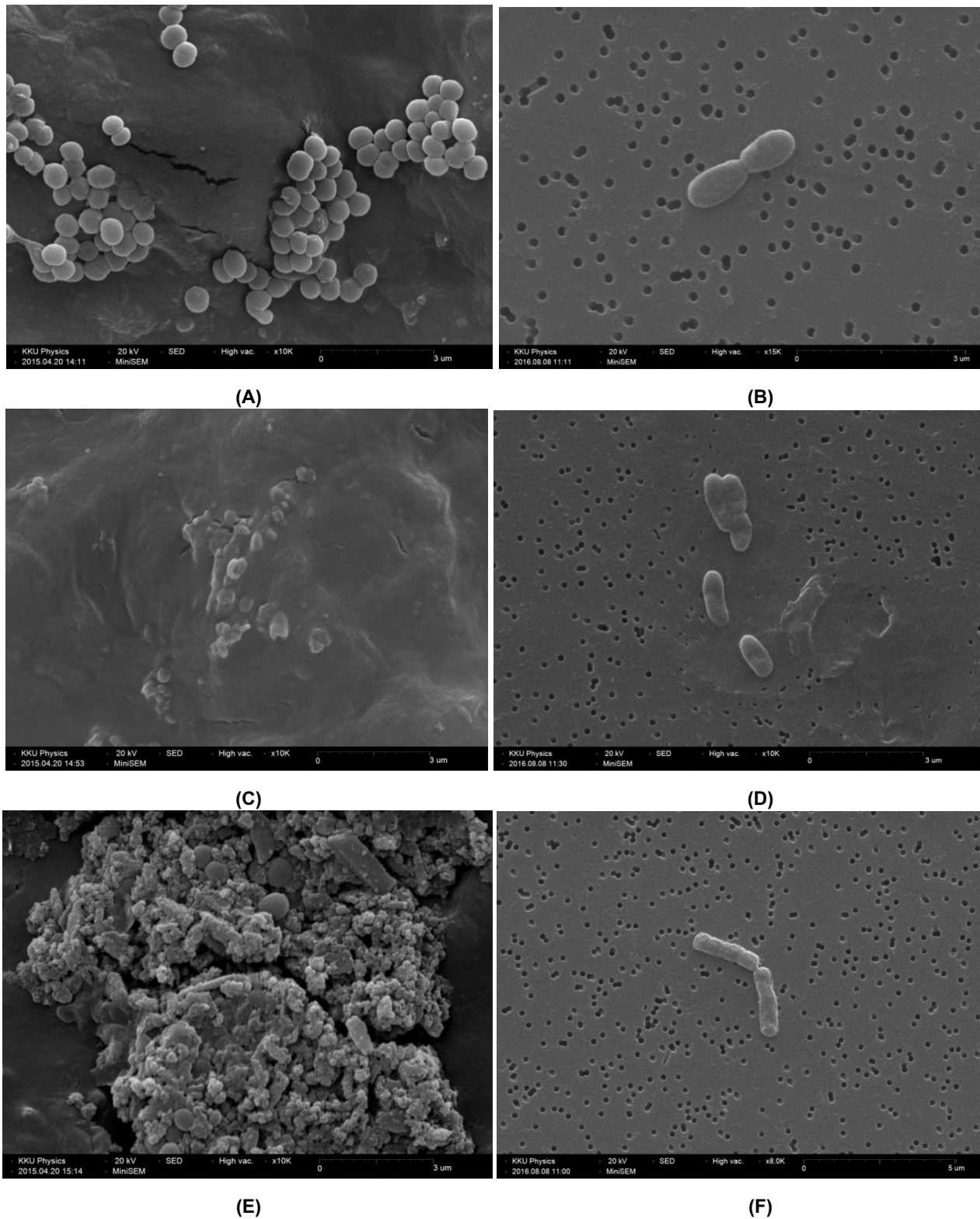


Figure 1 Scanning electron micrographs of (A) untreated MRSA cells, (B) untreated *P. aeruginosa* cells, (C) MRSA cells treated with *S. alata* fraction F3, (D) *P. aeruginosa* cells treated with *S. alata* fraction F3, (E) MRSA cells treated with *S. alata* fraction F13 and (F) *P. aeruginosa* cells treated with *S. alata* fraction F13.

Discussion and Conclusions

In this study, the minimum inhibitory concentrations (MICs) and minimum bactericidal concentrations (MBCs) of 13 *S. alata* fractions were determined and compared with those of the crude extract. Of these fractions, F13 showed the most potent activity against MRSA and F3 showed the most potent activity against *P. aeruginosa*. The differences in the values of MICs/MBCs of each fraction suggested a different antibacterial activity of the fractions. Comparison of the antibacterial activities of the fractions with the crude extract by activity index indicates that several fractions are more potent than the crude extract. This result supports the fact that active compounds can be more concentrated in the fractions than the crude extract.²⁴⁻²⁶ Another possibility might be explained by antagonistic effects between components within the crude extract that would reduce the antibacterial efficacy.²⁷

Our results also show that Gram-positive MRSA is more sensitive to many of the fractions than Gram-negative *P. aeruginosa*, a finding which correlates well with previous medicinal plant studies.^{25,28} This difference in sensitivity of the Gram-positive and Gram-negative bacteria to fractions might be due to differences in the cell structure of these microorganisms. Lipopolysaccharide (LPS), a component of the outer membrane of Gram-negative bacteria, is highly hydrophobic. This makes the cell wall of Gram-negative bacteria less permeable to antimicrobial substances present in plant extracts.^{25,29-31}

The effects of the most active fractions (F3 and F13) on bacterial cells were also studied by SEM, and changes in bacterial cell morphology were observed. Our results are similar to previous studies in which secondary metabolites altered cell morphology and caused cell lysis.^{6,32,33}

Subsequently, qualitative and quantitative phytochemical analyses of fractions F3 and F13 were performed. Qualitative analysis revealed the presence of flavonoids, phenolics, and tannins in both fractions, whereas alkaloids and steroids were only detected in fractions F3 and F13, respectively. Quantitative analysis showed that fraction F3 had a higher flavonoid and

phenolic content but lower tannin content than fraction F13. In general, phytochemicals exert their antibacterial activity through different mechanisms. Alkaloids, for example, cause cell lysis and inhibit cell division.^{32,34} Flavonoids block nucleic acid synthesis and disrupt the cytoplasmic membrane.³⁵ Steroids associate with membrane lipid and exert their action by causing membrane leakage.³⁶ Tannins decrease bacterial proliferation by blocking key metabolic enzymes.³⁷⁻³⁹ Phenolics inhibit bacterial enzymes via oxidized compounds or through more non-specific interactions with proteins.^{40,41} Although antibacterial activity has been detected from these classes of compound previously,⁴² the efficacy of a medicinal plant may be due to the combined action of several different compounds rather than just one.^{43,44} Therefore, the presence or absence of some compounds, variations in the quantities of these compounds, and variations in the mode of action of these compounds may be responsible for the variations in antibacterial activity and morphological changes seen with the different *S. alata* fractions.^{29,45}

Our study shows that different *S. alata* fractions exhibit various levels of inhibitory and bactericidal activity against MRSA and *P. aeruginosa*. The effect of the fractions on bacterial cell morphology was fraction- and species-dependent as well. Further studies are now warranted to determine the synergistic effects of *S. alata* fractions and investigate their mode of action *in vivo*.

Acknowledgements

This study was funded by a grant from Maharakham University (MSU) Faculty of Medicine. The authors thank MSU Faculty of Medicine for language-editing assistance also.

References

1. Jean SS, Hsueh PR. High burden of antimicrobial resistance in Asia. *Int J Antimicrob Agents* 2011;37:291–5.
2. Laxminarayan R, Duse A, Wattal C, Zaidi AKM, Wertheim HFL, Sumpradit N, et al. Antibiotic resistance—the need for global solutions. *Lancet Infect*

- Dis 2013;13:1057-98.
3. Liu Y, Wang H, Du N, Shen E, Chen H, Niu J, et al. Molecular evidence for spread of two major Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* clones with a unique geographic distribution in Chinese hospitals. *Antimicrob Agents Chemother* 2009;53(2):512-8.
 4. Strateva T, Yordanov D. *Pseudomonas aeruginosa* – a phenomenon of bacterial resistance. *J Med Microbiol* 2009;58:1133-48.
 5. Wang JL, Wang JT, Chen SY, Chen YC, Chang SC. Distribution of staphylococcal cassette chromosome mec types and correlation with comorbidity and infection type in patients with MRSA bacteremia. *PLoS One* 2010;5(3):1-8.
 6. Wikaningtyas P, Sukandar EY. The antibacterial activity study of *Senna alata* leaf extract and fraction towards MASA (Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*) and its mode of action. *World J Pharm Pharm Sci* 2015;4(4):126-33.
 7. Clement YN, Morton-Gittens J, Basdeo L, Blades A, Francis MJ, Gomes N, et al. Perceived efficacy of herbal remedies by users accessing primary health-care in Trinidad. *BMC Complementary Altern Med* 2007;7:4. Available from: <http://www.biomedcentral.com/1472-6882/7/4>.
 8. Ajibesin KK, Ekpo BA, Bala DN, Essien EE, Adesanya SA. Ethnobotanical survey of Akwa Ibom State of Nigeria. *J Ethnopharmacol* 2008;115:387–408.
 9. Owoyale JA, Olatunji GA, Oguntoye SO. Antifungal and antibacterial activity of an alcoholic extract of *Senna alata* leave. *J Appl Sci Environ Manage* 2005;9(3):105-7.
 10. Idu M, Omonigho SE, Igeleke CL. Preliminary investigation on the phytochemistry and antimicrobial activity of *Senna alata* flower. *Pak J Biol Sci* 2007;10(5):806-9.
 11. El-Mahmood AM, Doughari JH. Phytochemical screening and antibacterial evaluation of the leaf and root extracts of *Cassia alata* Linn. *Afr J Pharm Pharmacol* 2008;2(7):124-9.
 12. Wuthi-udomlert M, Kupittayanant P, Gritsanapan W. In vitro evaluation of antifungal activity of antraquinone derivatives of *Senna alata*. *J Health Res* 2010;24(3):117-22.
 13. Odunbaku OA, Ilusanya OAF. Synergistic effect of ethanol leaf extract of *Senna alata* and antimicrobial drugs on some pathogenic microbes. *Adv Environ Biol* 2011;5(8):2162-5.
 14. Chomnawang MT, Surassmo S, Nukoolkarn VS, Gritsanapan W. Antimicrobial effects of Thai medicinal plants against acne-inducing bacteria. *J Ethnopharmacol* 2005;101:330-3.
 15. Sarker SD, Lutfun N, Kumarasamy Y. Microtitre plate-based antibacterial assay incorporating resazurin as an indicator of cell growth, and its application in the in vitro antibacterial screening of phytochemicals. *Methods* 2007;42: 321–4.
 16. Ehiowemwenguan, G, Inetianbor JE, Yakubu JM. Antimicrobial Qualities of *Senna alata*. *IOSR J Pharm Biol Sci* 2014;9(2):47-52.
 17. Sharma P, Pandey D, Rizvi AF, Gupta AK. Antimicrobial activity of *Cassia alata* from Raipur region against clinical and MTCC isolates. *Int J Curr Microbiol App Sci* 2015;4(1):330-9.
 18. Dharajiya D, Jasani H, Khatrani T, Kapuria M, Pachchigar K, Patel P. Evaluation of antibacterial and antifungal activity of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) extracts. *Int J Pharm Pharm Sci* 2016;8(4):212-7.
 19. Aruna P, Seshagiri RJVLN, Madhu R, Sudhakar M. Antimicrobial and Antioxidant activity of seeds of *Terminalia chebula* plant extracts. *J Pharm Res Opin* 2012;2(12):188-90.
 20. Chatuphonprasert W, Jarukamjorn K. Impact of six fruits-banana, guava, mangosteen, pineapple, ripe mango and ripe papaya-on murine hepatic cytochrome P450 activities. *J Appl Toxicol* 2012;32(12):994-1001.
 21. Wrolstad RE. Color and pigment analyses in fruit products. *Agric Exp Station Bull* 1993;624:1–17.
 22. Sinthorn W, Chatuphonprasert W, Chulasiri M, Jarukamjorn K. Thai red rice extract provides liver protection in paracetamol-treated mice by restoring the glutathione system. *Pharmaceutical Biology*

- 2016;54(5):770–9.
23. Vorachit M, Lam K, Jayanetra P, Costerton JW. Electron Microscopy Study of the Mode of Growth of *Pseudomonas pseudomallei* in vitro and in vivo. *J Trop Med Hyg* 1995;98(6):379-91.
24. Khan MR, Kihara M, Omoloso AD. Antimicrobial activity of *Cassia alata*. *Fitoterapia* 2001;72:561-4.
25. Tadege H, Mohammed E, Asres K, Gebre-Mariam T. Antimicrobial activities of some selected traditional Ethiopian medicinal plants used in the treatment of skin disorders. *J Ethnopharmacol* 2005;100:168–75.
26. Saha KR, Nandi T, Nahar K, Talukdar AA, Nandi PC. Phytochemical and biological investigation of VLC fraction of *Senna alata* leaves. *J Pharmacogn Phytochem* 2016;5(3):55-61.
27. Trizah K Milugo, Leonida K Omosa, James O Ochanda, Bethwell O Owuor, Fred A Wamunyokoli, Julius O Oyugi, et al. Antagonistic effect of alkaloids and saponins on bioactivity in the quinine tree (*Rauvolfia caffrasond*): further evidence to support biotechnology in traditional medicinal plants. *BMC Complement Altern Med* 2013;13:285. Available from:<http://www.biomedcentral.com/1472-6882/13/285>.
28. Olajuyigbe OO, Afolayan AJ. In vitro antibacterial and time-kill evaluation of the *Erythrina caffra* Thunb. extract against bacteria associated with diarrhoea. *The Scientific World Journal* 2012. Available from: <http://doi:10.1100/2012/738314>.
29. Sarathadevi D, Somasundaram SSN. Studies on antibacterial activities of *Senna alata*,(L.) against clinical pathogens. *J Microbiol Biotechnol Res* 2015;5(3):1-6.
30. Pukumpuang W, Thongwai N, Tragoolpua Y. Total phenolic contents, antibacterial and antioxidant activities of some Thai medicinal plant extracts. *J Med Plants Res* 2012;6(35):4953-60.
31. Shetty VG, Patil MG, Dound AS. Evaluation of phytochemical and antibacterial properties of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. Leaves. *Int J Pharm Pharm Sci* 2015;7(4):316-9.
32. Sawyer IK, Berry MI, Ford JL. The killing effect of cryptolepine on *Staphylococcus aureus*. *Lett Appl Microbiol* 2005;40:24–9.
33. Kaya I, Yigit N, Benli M. Antimicrobial activity of various extracts of *Ocimum basilicum* L. and observation of the inhibition effect on bacterial cells by use of scanning electron microscopy. *Afr J Tradit Complementary Altern Med* 2008;5(4):363-9.
34. Cushnie TPT, Cushnie B, Lamb AJ. Alkaloids: An overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. *Int J Antimicrob Agents* 2014;44:377-84.
35. Cushnie TPT, Lamb AJ. Antimicrobial activity of flavonoids. *Int J Antimicrob Agents* 2005;26:343–56.
36. Epanand RF, Savage PB, Epanand RM. Bacterial lipid composition and the antimicrobial efficacy of cationic steroid compounds (Ceragenins). *Biochim Biophys Acta* 2007;1768:2500-09.
37. Shimada T. Salivary proteins as a defense against dietary Tannins. *J Chem Ecol* 2006;32:1149–63.
38. Sharma BL, Singh D, Sharma SK, Hashmi A, Singh A, Bansa A. Studies on some primary metabolite's extraction and quantification in different plant parts of selected cassia species. *Asian J Pharm Clin Res* 2013;6 Suppl 2:309-14.
39. Pradeepa M, Kalidas V, Geetha N. Qualitative and quantitative phytochemical analysis and bactericidal activity of *Pelargonium graveolens* L'her. *Int J App Pharm* 2016;8(3):7-11.
40. Geissman TA. Florkin M, Stotz EH, editors. Flavonoid compounds, tannins, lignins and related compounds. In: *Pyrrole pigments, isoprenoid compounds and phenolic plant constituents*. vol 9. New York: Elsevier; 1963. p.265-78.
41. Roy S, Rao K, Bhuvaneshwari Ch, Giri A, Mangamoori LN. Phytochemical analysis of *Andrographis paniculata* extract and its antimicrobial activity. *World J Microbiol Biotechnol* 2010;26:85–91.
42. Compean KL, Ynalvez RA. Antimicrobial activity of plant secondary metabolites: A review. *Res J Med Plant* 2014;8(5):204-13.
43. Bhandarkar M, Khan A. Protective effect of *Lawsonia alba* Linn., against CCl₄ induce hepatic damage in albino rats. *Indian J Exp Biol* 2003;41:85-7.

44. Shinde AB, Mulay YR. Phytochemical analysis and antibacterial properties of some selected Indian medicinal plants. *Int J Curr Microbiol App Sci* 2015;4(3):228-35.
45. Soni A, Dahiya P. Screening of phytochemicals and antimicrobial potential of extracts of *Vetiver zizanoides* and *Phragmites karka* against clinical isolates. *Int J App Pharm* 2015,7(1):22-4.

การเสริม *Bacillus* sp. ผสมหลายชนิดในน้ำดื่มของไก่เพื่อต่อสมรรถนะการผลิตลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ คอเลสเตอรอลและกรดไขมันในเนื้อ

The Effects of Multi-Strain *Bacillus* Species Supplementation in Drinking Water of Broilers Chickens on Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, Cholesterol and Fatty Acid in Meat

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, วรางคณา กิจพิพิธ¹, จิรัฏฐวิวัฒน์ ศรีอ่อนเลิศ¹,

ศักดิ์ดา ประจักษ์บุญญะจรญา², ชวลิต ผึ้งปฐมภรณ์¹, ศรารุช ม่วงเผือก¹,

เอกกมล กมลลาภวรกุล¹, เสาวภา เขียนงาม¹

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Warangkana Kitpipit¹, Jirathawat Sri-onlerd¹,

Sakda Prajukboonjatsada², Chawalit Phuengpathomphorn¹, Sarawut Mongphuank¹,

Ekkamon Kamonlapworakul¹, Saowapar Khiangnam¹

Received: 15 August 2017 ; Accepted: 25 October 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการเสริม *Bacillus* sp. ผสมหลายชนิดในน้ำดื่มของไก่เพื่อต่อสมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ คอเลสเตอรอลและกรดไขมันในเนื้อ ไก่เนื้อพันธุ์ Ross 308 จำนวน 240 ตัว อายุ 1 วัน (เพศผู้ 120 ตัว และ เพศเมีย 120 ตัว) สุ่มเข้าสู่ 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลอง 4 ซ้ำ โดยให้แต่ละหน่วยทดลองมีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกันภายใต้แผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ โดยกลุ่มการทดลองประกอบด้วยน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ทำการเสริม *Bacillus* sp. ผสมที่ระดับ 0 (ควบคุม), 1 และ 2 กรัม ต่อลิตร และการทดลองนี้แบ่งการให้อาหารเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรก (0–21 วัน) และระยะเติบโต (22–35 วัน) ผลการทดลองพบว่า การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มของไก่เนื้อไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ($P>0.05$) เมื่ออายุ 35 วัน การเสริม *Bacillus* sp. ผสมทั้งสองระดับในน้ำดื่มสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อ (quadratic, $P<0.01$) อีกทั้งการเสริม *Bacillus* sp. ผสม ทั้งสองระดับในน้ำดื่มสามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน รวมทั้งเพิ่มการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 และโอเมก้า 9 (quadratic, $P<0.01$) รวมทั้งกรดไขมันชนิด โอเมก้า 6 (linear, $P<0.01$) ในเนื้อไก่

คำสำคัญ: *Bacillus* sp. น้ำดื่ม เนื้อไก่ กรดไขมัน สมรรถนะการผลิต

Abstract

The Present study investigated the effect of multi-strain *Bacillus* species supplementation as direct feed in drinking water, on productive performance, carcass characteristics, meat quality, cholesterol, and fatty acids in meat of broiler chickens. Two hundred and forty one day-old Ross broiler chicks (120 male and 120 female) were randomly allotted to three treatments and four replications per treatment on the basis of body weight in a completely randomized design.

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ต.สามพระยา อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

¹ Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Samphraya, Cha-am, Phetchaburi, 76120. Thailand.

² Phetchaburi Animal Research and Development Center, Samphraya, Cha-am, Phetchaburi, 76120. Thailand.

* Corresponding author E-mail: [HYPERSLINK "mailto:Nopparatmaitree_m@su.ac.th"](mailto:HYPERSLINKmailto:Nopparatmaitree_m@su.ac.th) Nopparatmaitree_m@su.ac.th or Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu, Tel: +66-032594037-8

Treatments were drinking water supplemented with 0% (control), 1, and 2 g/l multi-strain *Bacillus* Species. Experimental diets were fed in two phases: starter (d 0–21) and finisher (d 22–35). Supplementation of increasing levels of multi-strain *Bacillus* species had no effect on productive performance, carcass characteristics, meat quality, and economic benefit return ($P>0.05$). At d 35, birds supplemented with increasing levels of multi-strain *Bacillus* species showed decrease in cholesterol content in meat. (quadratic, $P<0.01$). Moreover, supplementation of supplementing 2 level of *Bacillus* sp. increased (quadratic, $P<0.01$) increasing of MUFA, PUFA omega-3 and omega-9 enrich in meat and increasing of omega-6 (linear, $P<0.01$).

Keywords: *Bacillus* sp., Water, Chicken meat, Fatty acid, Performance.

บทนำ

โปรไบโอติกส์ หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (nonpathogenic organism) เช่น *Bacillus* sp., *Lactacillus* sp., *Bifidobacterium* และ ยีสต์ เป็นต้น ที่เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้วมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์หลายด้าน เช่น ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และสร้างสมดุลของกลุ่มจุลินทรีย์ในลำไส้^{1,2} ส่งเสริมสุขภาพของสัตว์³ การสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ ดูดซึมในลำไส้ ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนา⁴ ปริมาณการกินได้เพิ่มมากขึ้น⁵ และพัฒนาการเจริญเติบโต⁶ ปัจจุบันมีการใช้โปรไบโอติกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ *Bacillus* sp. ในหลายรูปแบบ เช่น *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 0 ถึง 1 กิโลกรัมต่อตันอาหาร^{7,8} และ *Bacillus amyloliquefaciens* ที่ระดับ 0 ถึง 1 กิโลกรัมต่อตันอาหาร⁹ โดย *Bacillus* sp. สามารถสร้างสปอร์ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยและมีความต้านทานต่อกรดต่างและความร้อน ดังนั้นสปอร์จึงสามารถเจริญเติบโตในลำไส้และขยายพันธุ์หลังจากการย่อยอาหารและการสัมผัสกับสภาพที่เป็นกรด ในกระเพาะอาหารของสัตว์ อย่างไรก็ตาม *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจำนวนมากในการสืบพันธุ์ภายในท่อทางเดินอาหาร ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในลดลงส่งผลต่อกระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน ในลำไส้ที่ลดลงซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus* sp. ยีสต์ และ *Bifidobacterium* sp.¹⁰ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค แม้ว่าโปรไบโอติกส์จะมีข้อดี อยู่มาก แต่การเสริมโปรไบโอติกส์ลงในอาหารสัตว์ยังพบข้อดีของการใช้ กล่าวคือ ในการผลิตอาหารสัตว์จะมีการใช้เทคโนโลยีการอัดเม็ดด้วยความร้อนแรงดันร่วมกับความชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 88 ถึง 90 องศาเซลเซียส¹¹ ที่อาจส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรไบโอติกส์ที่เสริมลงในอาหาร ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดและความพยายามในการค้นหาจุลินทรีย์ที่ทนร้อนรวมถึงการห่อหุ้ม (costing) จุลินทรีย์เพื่อให้ความสามารถในการทนความร้อนได้เพื่อลดข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ดังกล่าวมาข้างต้น หากแต่ก็เป็น

วิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตปศุสัตว์ จึงนำสู่การคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์สารเสริมชีวภาพรวมถึงผลิตภัณฑ์โปรไบโอติกส์รวมเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำดื่ม (water additive) ของไก่เนื้อ เช่น โปรไบโอติกส์ชนิดเหลว¹² และ ซินไบโอติกส์ ชนิดผงละลายน้ำ¹³ เป็นต้น เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการประยุกต์ใช้โปรไบโอติกส์ที่ง่าย สะดวก รวมทั้ง ลดข้อจำกัดในการใช้งานเพื่อหลีกเลี่ยงและลดปัญหาการเสื่อมสภาพของจุลินทรีย์ที่ต้นทุนต่ำ กอปรกับในปัจจุบันนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่มีการส่งเสริมให้ภาคการเกษตรยุคใหม่ ในการยกระดับและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวทางการเสริมโปรไบโอติกส์ลงในอาหารสัตว์เพื่อพัฒนาคุณภาพของเนื้อ^{14,15} การลดระดับคอเลสเตอรอล^{16,17} และการปรับปรุงองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อให้มีความเหมาะสมสำหรับผู้บริโภค เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อไก่เป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (functional food)

การทดลองครั้งนี้มุ่งศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของหัวเชื้อบาซิลลัสผสมที่ประกอบด้วย *Bacillus licheniformis*, *Bacillus polymyxa* และ *Bacillus subtilis* ต่อสมรรถนะการผลิตลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการผลิตสัตว์ปีกเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ

วิธีการศึกษา

1. แผนการทดลอง สัตว์ น้ำ อาหารและ การเลี้ยงสัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 4 ซ้ำ รวม 12 หน่วยทดลอง คือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มไก่เนื้อที่ได้รับน้ำสะอาด (กลุ่มควบคุม) กลุ่มการทดลองที่ 2 และ

3 คือ กลุ่มไก่เนื้อที่ได้รับน้ำสะอาดเสริม *Bacillus* sp. ผสมที่ระดับ 1 และ 2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ การทดลองนี้ใช้ไก่เนื้อทางการค้า Ross 308 อายุ 1 วัน จำนวน 240 ตัว (เพศผู้ 120 ตัว และ เพศเมีย 120 ตัว) สุ่มเข้าสู่การทดลองจำนวน 20 ตัว ต่อหน่วยทดลอง ทำการเลี้ยงไก่เนื้อในคอกขนาด 2.0 x 3.0 เมตร ภายในโรงเรือนแบบเปิดที่มีการจัดการแสงและอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมและใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 35 วัน และให้อาหารแบบเต็มทีตลอดเวลา (*ad libitum*) โดยใช้อาหารไก่เนื้อเชิงการค้า 2 ระยะ คือ ระยะแรก (1 ถึง 21 วัน) มีโปรตีนหยาบ (crude protein) 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy) 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และระยะสอง (22 ถึง 35 วัน) มีโปรตีนหยาบ 20 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามคำแนะนำของ NRC (1994)¹⁸ การทดลองนี้จัดการให้น้ำแบบเต็มทีตลอดเวลา ร่วมกับการใช้หัวเชื้อ *Bacillus* sp. ผสมชนิดผงละลายน้ำสำเร็จรูป ที่ประกอบด้วย *Bacillus licheniformis*, *Bacillus polymyxa* และ *Bacillus subtilis* ชนิดละ 1.0×10^9 (colony forming unit: cfu) และเติมสื่อจนครบ 1 กิโลกรัมเพื่อเติมลงในน้ำดื่มสำหรับไก่เนื้อที่ใช้น้ำสะอาดจากระบบน้ำภายในศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

2. สมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ

การวัดสมรรถนะการผลิตใช้เวลาทั้งหมด 35 วัน แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ 0 ถึง 21 วัน และ 22 ถึง 35 วัน โดยจะให้ อาหารสะอาดอย่างเต็มที่ จดบันทึกปริมาณอาหารที่กินได้ น้ำหนักของไก่เนื้อ และจำนวนไก่ตายตลอดช่วงการทดลอง แล้วคำนวณหาค่าสมรรถนะการผลิต คือ ปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake: ADFI) จาก ADFI จาก [ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด/(จำนวนไก่ x จำนวนวันที่เลี้ยง)] น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (average body weight gain: BWG) จาก [(น้ำหนักตัวสุดท้าย-น้ำหนักตัวเริ่มต้น)/จำนวนไก่] อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain: ADG) จาก [BWG/(จำนวนไก่ x จำนวนวันที่เลี้ยง)] และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio: FCR (feed/ gain)) จาก [ADFI/ADG] ตามวิธีของ Zhao *et al.* (2003)¹⁹ รวมถึงคำนวณหาอัตราการเลี้ยงรอด (viability) จาก [(จำนวนไก่ที่เหลือ x 100)/จำนวนไก่เริ่มต้น] และดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (productive index: PI) จาก [(อัตราการเลี้ยงรอด x น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้น x 100)/(FCR x จำนวนวันที่เลี้ยง)] ตามวิธีของ Khaksefidi *et al.* (2005)²⁰ คำนวณหาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (economic benefit return) คือ

ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว (feed cost per gain: FCG) จาก $FCG = (FCR \times \text{feed cost} \times BWG)$ มูลค่าจากการขายต่อตัว (salable bird return: SBR) จาก $SBR = (\text{price of live chicken} (40 \text{ THB}) \times BW)$ กำไรสุทธิต่อตัว (net profits return per bird: NPR) จาก $NPR = (SBR - FCG)$ และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (return of investment: ROI) จาก $ROI = (NPR / FCG) \times 100$ ตามวิธีของมนัสพันธ์ และคณะ (2558)¹³

3. เปอร์เซ็นต์ซากและคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ

การวัดเปอร์เซ็นต์ซากของไก่เนื้อทำในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยการอดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง แล้วสุ่มไก่เนื้อ เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว ต่อหน่วยทดลองเพื่อชำชำและตัดแต่งชิ้นส่วน แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ซาก (carcass percentage) และเปอร์เซ็นต์ซากเย็น (chilled carcass percentage) ตามวิธีของสัญญาชัย (2553)²¹ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (cutting percentage) ตามวิธีของ Hossain *et al.* (2012)²² ทั้งนี้ทำการวัดคุณภาพเนื้อโดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อหน้าอกใน 45 นาที และหลังเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง ตามวิธีของ Zhou *et al.* (2010)¹⁵ รวมทั้งทำการวัดค่าสีของเนื้อไก่หลังเก็บรักษาเนื้ออกไก่ที่ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง คือ ความสว่าง (lightness: L*), สีแดง (redness: a*) และ สีเหลือง (yellowness: b*) ตามวิธีของ Ao *et al.* (2011)²³ และวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) คือ drip loss, boiling loss, trawling loss และ roasting loss ตามวิธีของ Liu *et al.* (2012)⁹ จากตัวอย่างเนื้ออกและการรวบรวม เนื้ออกเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอล (total cholesterol) ด้วยวิธี C45,994.10 ตามวิธีของ AOAC (1995)²⁴ และการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (individual fatty acid content) ด้วย Gas Liquid Chromatography (GLC) ตามวิธีของ Lepage (1986)²⁵

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ด้วย general linear model (GLM) โดยใช้แบบหุน $Y_{ij} = m + t_i + e_{ij}$ เมื่อ Y_{ij} แทน ค่าสังเกตจาก กลุ่มการทดลองที่ $i = 1, 2, 3$ ซ้ำที่ j , เมื่อ $j = 1, 2, 3, 4$ โดย m คือ ค่าเฉลี่ยร่วม (common mean) ส่วน t_i คือ อิทธิพลของกรุปการทดลอง (treatment effect) ที่ i เมื่อ $i =$ การเสริม *Bacillus* sp. ผสม ในน้ำดื่ม 0, 1, 2 กรัมต่อลิตร และ e_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างกรุปข้อมูลด้วย Tukey' s studentized range test

(HSD) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992)²⁶ และวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล (trend analysis) ด้วย Orthogonal polynomial โดยใช้โปรแกรม R-Studio 8.3 ตามวิธีของ R core team (2013)²⁷ กำหนดค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ

ผลการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อทั้ง 3 ช่วง คือ ช่วงอายุ 0 ถึง 21 วัน ช่วงอายุ 22 ถึง 35 วัน และช่วง 0 ถึง 35 วัน พบว่าการเสริม *Bacillus* sp. ผสมทั้ง 3 ระดับคือ ที่ระดับ 0, 1 และ 2 กรัมต่อลิตรไม่มีผลต่อน้ำหนักไก่เฉลี่ย น้ำหนักไก่ที่เพิ่มขึ้น จำนวนอาหารที่กินทั้งหมด อัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน ปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อตันทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ 1 กิโลกรัม อัตราการเลี้ยงรอด อัตราการตาย และ ดัชนีประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 1 ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Lee et al. (2014)²⁸ และ Afsharmanesh et al. (2013)²⁹ แต่ขัดแย้งกับการทดลองของ Huang et al. (2012)³⁰, Hu et al. (2012)³¹, และ Tan et al. (2012)³² เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าประสิทธิภาพของ โปรไบโอติกส์มีความแตกต่างกันอย่างมากและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ส่วนประกอบของอินทรีย์สาร ชนิดของความเครียดระดับ การใช้ (ปริมาณ) วิธีการและความถี่ของการใช้สุขภาพของสัตว์ ระบบสุขศาสตร์ของการเลี้ยง และสิ่งแวดล้อมในฟาร์ม³³ อีกทั้งการใช้ โปรไบโอติกส์อาจช่วยให้จุลินทรีย์สามารถสร้างประสิทธิภาพภายในต่อทางเดินอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำให้สามารถปรับปรุงสมรรถนะการผลิตสัตว์ปีกได้ดียิ่งขึ้น³⁴ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของโปรไบโอ

ติกส์ใน ไก่เนื้ออาจเกี่ยวข้องกับภาวะความเครียด⁷ การศึกษาครั้งนี้สนับสนุนทฤษฎีเหล่านี้เนื่องจาก ไก่เนื้อเลี้ยงในอุณหภูมิเฉลี่ยที่หนาวเย็นหรือร้อนมากเกินไปถือเป็นความเครียดและเป็นอันตรายต่อไก่เนื้อ³⁵ แม้ว่าผลการทดลองครั้งนี้จะไม่ได้แสดงให้เห็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลอง แต่จากการสังเกต พบว่าสมรรถนะการผลิตโดยรวมในช่วงอายุ 0-35 วัน ของไก่เนื้อที่ได้รับ *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มที่ระดับ 1 และ 2 กรัมต่อลิตรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่ากลุ่มควบคุม 3.3 และ 6.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (1.50 vs. 1.45 และ 1.40) อีกทั้งยังพบว่ามีดัชนีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม 1.43 และ 4.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (278.94 vs. 282.58 และ 391.65) ซึ่งค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารและดัชนีประสิทธิภาพการผลิตเป็นตัวชี้วัดสำคัญถึงสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ เชิงอุตสาหกรรมโดยมีหลายข้อสันนิษฐานที่น่าเชื่อถือที่สนับสนุนการพัฒนาสมรรถนะ การผลิตของไก่เนื้อด้วยการเติม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่ม กล่าวคือ Edens (2003)³⁶ พบว่าความสามารถของโปรไบโอติกส์ในการพัฒนาการย่อยอาหาร การดูดซึม และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารโดยการเพิ่ม กิจกรรมในลำไส้และเพิ่มเอนไซม์ในการย่อยอาหาร ส่วนประโยชน์ของโปรไบโอติกส์ต่อการพัฒนาดัชนีประสิทธิภาพการผลิตสอดคล้องกับงานวิจัยจำนวนมากที่อ้างถึงผลของใช้โปรไบโอติกส์ใน ไก่เนื้อ³⁷ และการค้นพบนี้ให้ข้อมูลที่มีคุณค่าของโปรไบโอติกส์สำหรับการผลิตไก่เนื้อแม้ว่าผลการทดลองจะไม่แสดงผลอย่างเด่นชัดตามสมมติฐาน หากแต่ยังพอสังเกตเห็นแนวโน้มของความเป็นไปได้ในการพัฒนาการเลี้ยงไก่เนื้อด้วย *Bacillus* sp. ผสมตัวอย่าง ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาและพัฒนาต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ในอนาคต

Table 1 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on productive performance

Productive performance	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM
	Control	1	2	
0-21 day				
BWG (g/bird)	764.50±42.54	753.56±14.49	725.03±32.69	10.70
FI (g/bird)	990.79±77.05	959.21±16.49	901.31±81.67	32.69
ADFI (g/bird/day)	47.18±3.67	45.68±0.79	42.92±3.89	1.04
ADG (g/bird/day)	36.41±2.03	35.03±0.63	34.53±1.56	0.51
FCR (Feed /Gain)	1.30±0.03	1.30±0.02	1.24±0.06	0.01
Viability (%)	100.00	100.00	100.00	-

Table 1 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on productive performance (continue)

Productive performance	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM
	Control	1	2	
Productive index: PI	281.03±10.57	268.65±8.67	278.10±2.62	2.68
22-35 day				
BWG (g/bird)	838.72±13.07	835.98±33.48	842.66±20.36	7.95
FI (g/bird)	1,636.48±1,553.63	1,553.63±62.30	1,524.60±149.56	32.38
ADFI (g/bird/day)	116.86±3.25	110.97±4.45	108.90±10.68	2.31
ADG (g/bird/day)	60.19±1.45	59.71±2.39	60.19±1.45	0.61
FCR (Feed/Gain)	1.95±0.07	1.86±0.02	1.81±0.13	0.03
Viability (%)	91.11±3.40	88.89±3.85	91.11±3.40	1.28
Productive index: PI	279.68±2.52	285.33±6.32	340.57±26.83	5.33
0-35 day				
BWG (g/bird)	1,603.23±52.65	1,571.54±44.90	1,567.69±32.23	14.69
FI (g/bird)	2,451.87±54.33	2,337.84±98.58	2,250.92±128.24	32.84
ADFI (g/bird/day)	70.05±1.55	66.80±2.82	64.31±3.66	0.94
ADG (g/bird/day)	46.87±1.50	45.97±1.28	45.86±0.92	0.42
FCR (Feed /Gain)	1.50±0.02	1.45±0.02	1.40±0.06	0.01
Viability (%)	91.11±3.40	88.89±3.85	91.11±3.40	1.28
Productive index: PI	278.94±4.13	282.58±8.07	291.65±22.68	4.70

Table 2 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on carcass and cutting percentage

Carcass percentage and cutting percentage (%)	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM
	Control	1	2	
Thai carcass percentage	83.19±3.21	81.31±1.85	80.37±1.48	0.77
Carcass percentage	74.87±1.00	74.34±1.54	73.09±0.08	0.46
Chilled carcass percentage	72.68±1.04	72.17±1.25	70.95±1.14	0.28
Breast	26.87±1.66	27.02±1.06	28.46±2.15	0.56
Fillets	5.19±0.26	4.99±0.27	5.68±0.46	0.11
Wing	12.23±0.27	12.56±0.03	12.95±0.52	0.11
Thigh	17.86±0.68	17.91±0.42	18.18±0.96	0.24
Drum stick	12.50±0.49	13.43±0.40	13.37±0.46	0.15
Head	3.19±0.19	3.24±0.16	3.33±0.14	0.15
Neck	4.38±0.37	4.50±0.50	4.78±0.68	0.05
Shank	4.68±0.05	4.91±0.18	5.00±0.04	0.06
Skeletal bone	23.59±0.90	24.87±2.51	23.07±1.06	0.55

Table 3 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on meat quality

Meat quality	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM
	Control	1	2	
pH 45 min.	5.53±0.10	5.85±0.04	5.71±0.18	0.05
pH 24 h	5.47±0.21	5.52±0.10	5.49±0.16	0.05
Color at 24 hour after chilled storage at 4 °C				
L* (lightness)	54.83±1.55	53.90±1.59	54.41±1.89	0.56
a* (redness)	0.67±0.23	0.47±0.13	0.47±0.26	0.07
b* (yellowness)	13.34±0.75	13.35±1.87	13.28±1.06	0.44
Water holding capacity (%)				
Drip loss	5.52±0.90	4.44±0.98	4.57±4.50	0.27
Cooking Loss	22.88±0.73	19.93±1.36	21.46±0.56	0.33
Trawling Loss	9.08±2.07	5.25±2.02	6.72±2.07	0.68
Roasting Loss	33.24±2.05	32.08±1.17	33.96±1.69	0.56

2. การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ

ผลการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่งของไก่เนื้อ พบว่า การเสริม *Bacillus* sp. ทั้ง 3 ระดับคือ ที่ระดับ 0, 1 และ 2 กรัมต่อลิตรไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วน ($P>0.05$) ดังตารางที่ 2 จากการทดลองครั้งนี้สังเกตเห็นว่าการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มไม่มีผลต่อน้ำหนักของไก่เนื้อ ดังนั้นจึง ไม่แสดงผลต่อลักษณะซาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของเบญญาและคณะ (2557)³⁸ ทำการทดลองเสริมโปรไบโอติกส์จากแบคทีเรียกลุ่มแลคติกในอาหารไก่เนื้อพบว่า ไม่มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนต่างๆ ($P>0.05$) ซึ่งให้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกับ Cengiz et al. (2015)³⁹ ที่ทำการทดลองเสริมโปรไบโอติกส์ ในอาหารไก่เนื้อที่เลี้ยงบนความหนาแน่นของการเลี้ยงที่ต่างกัน พบว่า การเสริมโปรไบโอติกส์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซาก และน้ำหนักอวัยวะ ที่ผลิตน้ำเหลือง ($P>0.05$) ส่วนผลการเสริม *Bacillus* sp. ในน้ำดื่มต่อคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อพบว่าการเสริม *Bacillus* sp. ทั้ง 3 ระดับ คือ ที่ระดับ 0, 1 และ 2 กรัมต่อลิตรไม่มีผลต่อความเป็นกรดต่างที่ 45 นาทีและที่ 24 ชั่วโมง รวมถึงค่าสีและค่าการสูญเสีย น้ำของเนื้อ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยการเสริมโปรไบโอติกส์สำหรับพัฒนาคุณภาพเนื้อในไก่เนื้อจากหลายงานวิจัยให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก คือ การพัฒนาคุณภาพเนื้อไก่ เมื่อเสริมโปรไบโอติกส์^{40,41} และการใช้โปรไบโอติกส์แล้ว

ไม่แสดงผลต่อการพัฒนาคุณภาพเนื้อ^{42, 43,44} โดยการวัดค่าคุณภาพเนื้อ คือ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และ การสูญเสีย น้ำจากการแช่เย็นเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญเนื่องจากสามารถอธิบายได้ถึงการสูญเสียโภชนะในเนื้อออกมาพร้อมกับน้ำที่สูญเสียไปซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าความฉ่ำน้ำ (juiciness) ความเหนียว (tenderness) และ รสชาติของเนื้อ⁴³ แม้ว่าการทดลองครั้งนี้ไม่พบผลของ *Bacillus* sp. ผสมต่อ ความสามารถในการอุ้มน้ำ หากแต่ พบข้อสังเกต คือ มีค่าการสูญเสีย น้ำจากการแช่เย็นของเนื้ออกที่ลดลงของไก่เนื้อที่ได้รับ *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินถึงผลของ *Bacillus* sp. ผสมต่อคุณภาพเนื้อในลักษณะอื่นๆที่ลึกซึ้ง เนื่องจากมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาก่อนหน้าของ Zhou et al. (2010)¹⁵ พบว่า การเสริม *Bacillus* sp. มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพเนื้อหน้าอกของไก่เนื้อได้

3. การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อองค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อของไก่เนื้อ

ผลการเสริม *Bacillus* sp. ในน้ำดื่มต่อคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อพบว่าการเสริม *Bacillus* sp. ทั้ง 3 ระดับ คือ ที่ระดับ 0, 1 และ 2 กรัมต่อลิตรมีผลต่อการลดลงของคอเลสเทอรอลในเนื้ออย่าง เป็นเส้นตรงแปรผกผันต่อระดับของ *Bacillus* sp. ที่เพิ่มขึ้นในน้ำดื่ม ($P<0.05$) ดังตารางที่ 4 จากการทดลองของ Fukushima and Nakano (1995)⁴⁶ พบว่า โปรไบโอติกส์สามารถยับยั้ง การสังเคราะห์เอนไซม์ Hydroxymethyl-glutarylcoen-

zyme A reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล เนื่องจากคอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดน้ำดี เมื่อมีการเพิ่มการขับออกของน้ำดีก็จะทำให้มีการกระตุ้นให้มีการนำเอาคอเลสเตอรอลมาใช้

ในการสังเคราะห์น้ำดีเพิ่มมากขึ้นโดยจุลินทรีย์จะมีเอนไซม์ที่สามารถจับกับกรดน้ำดีและทำให้กรดน้ำดีถูกขับออกทางอุจจาระเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สามารถ ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้

Table 4 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on fatty acid composition in meat

Fatty acid composition in meat (g/100 g total fat)	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM	Trend analysis***	
	Control	1	2		L	Q
Cholesterol	68.67 ^A ±2.12	60.99 ^B ±1.89	63.65 ^B ±1.97	0.67	*	*
Monounsaturated fatty acid	0.97 ^B ±0.03	1.08 ^A ±0.03	0.90 ^C ±0.03	0.01	*	**
Palmitoleic acid	0.10 ^C ±0.003	0.12 ^B ±0.004	0.13 ^A ±0.004	0.001	**	NS
Veccenic acid	0.05 ^A ±0.002	0.05 ^A ±0.002	0.04 ^B ±0.001	0.0004	**	**
Oleic acid	0.82 ^B ±0.03	0.91 ^A ±0.03	0.74 ^C ±0.02	0.01	**	**
Polyunsaturated fatty acid	0.49±0.02	0.52±0.02	0.51±0.02	0.01	NS	NS
Linoleic acid	0.43 ^b ±0.01	0.47 ^a ±0.01	0.48 ^a ±0.01	0.005	*	NS
Eleostearic acid	0.02 ^A ±0.001	0.02 ^A ±0.001	0.01 ^B ±0.001	0.0002	**	**
Eicosatrienoic acid	0.04 ^A ±0.001	0.04 ^A ±0.001	0.03 ^B ±0.001	0.0003	**	**
Saturated fatty acid	0.78 ^a ±0.02	0.80 ^a ±0.02	0.71 ^b ±0.02	0.01	*	*
Myristic acid	0.02±0.001	0.02±0.001	0.02±0.001	0.0002	NS	NS
Palmitic acid	0.56±0.02	0.55±0.02	0.52±0.02	0.01	NS	NS
Stearic acid	0.18 ^b ±0.01	0.21 ^a ±0.01	0.16 ^c ±0.01	0.002	**	**
Heneicosanoic acid	0.01±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.0002	NS	NS
Omega 3 fatty acid	0.02 ^A ±0.001	0.02 ^A ±0.001	0.01 ^B ±0.001	0.0002	**	**
Omega 6 fatty acid	0.47 ^B ±0.01	0.50 ^A ±0.02	0.50 ^A ±0.02	0.005	*	NS
Omega 9 fatty acid	0.82 ^B ±0.03	0.91 ^A ±0.03	0.74 ^C ±0.02	0.01	**	**

NS= not significantly ($P>0.05$),

^{a and b} with in row, mean with symbol no common superscript differ significantly ($P<0.05$),

^{A and B} with in row, mean with symbol no common superscript differ significantly ($P<0.01$),

* with in row, mean with symbol no common superscript differ significantly ($P<0.05$),

** with in row, mean with symbol no common superscript differ significantly ($P<0.01$),

*** L = Linear and Q = Quadratic

นอกจากนี้จุลินทรีย์สายพันธุ์ *Lactobacillus* sp. สามารถนำคอเลสเตอรอลไปใช้ได้ โดยตรงและรวมตัวกับคอเลสเตอรอลภายในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย จึงทำให้มีคอเลสเตอรอลเพียงเล็กน้อยที่สามารถผ่านเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง¹⁶ ผลของการเสริมโปรไบโอติกส์รวมต่อระดับไตร-กลีเซอไรด์ในพลาสมา มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (quadratic, $P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งการเสริมโปรไบโอติกส์ที่ระดับ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน จึงน่าจะเป็นระดับที่มีควรแนะนำในการเสริมเนื่องจากคอเลสเตอรอล มีความสัมพันธ์โดยตรงกับไลโป

โปรตีน ชนิด (high density lipoprotein: HDL) และ (low density lipoprotein: LDL) ตลอดจน ไตรกลีเซอไรด์ ทั้งนี้ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดบ่งบอกถึงการเคลื่อนย้ายไตรกลีเซอไรด์จากตับสู่ไขและเนื้อเยื่อไขมัน การเสริมโปรไบโอติกส์จึงเป็นแนวทางในการลดคอเลสเตอรอลในไข่ได้สอดคล้องกับงานทดลองเสริมโปรไบโอติกส์ในไก่ไข่^{47,17} สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ซึ่งหนึ่งในกลไกที่อ้างถึงในการลดระดับคอเลสเตอรอลคือ การที่โปรไบโอติกส์ อาจส่งผลต่อการมีระดับคอเลสเตอรอลในระดับต่ำ (hypocholesterolemic action) ผ่านกรดน้ำดี⁴⁸ กล่าวคือ กรดน้ำดีโคลิค (cholic) และดีออกซีโคลิค (deoxy-

cholic) ถูกผลิตขึ้นจากคอเลสเทอรอลในเซลล์ตับโดยจับกับ ไกลซีน (glycine) และ ทอรีน (taurine) กรดน้ำดีที่ผลิตได้ถูก ปล่อยเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นเพื่อช่วยในการย่อยอาหาร หลังจากนั้นกรดน้ำดีบางส่วนจะถูกดูดซึมกลับไปยังตับเพื่อ สังเคราะห์เป็นกรดไขมันกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ส่งผลทำให้ คอเลสเทอรอลในซีรัมลดลงเนื่องจากคอเลสเทอรอลถูกนำไป ใช้สังเคราะห์เป็นกรดน้ำดี⁴⁹ หรือเหตุผลที่น่าเชื่อถือต่อการมี ระดับคอเลสเทอรอลในระดับต่ำอาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์ที่มี

ประโยชน์ต่อสุขภาพเจริญจำนวนมากขึ้นสามารถช่วยย่อย สลายคอเลสเทอรอลและยับยั้ง การดูดซึมผ่านผนังลำไส้รวม ถึง อาจเนื่องจากผลจากกระบวนการหมักที่ได้ กรดไขมันสาย สั้นบางชนิดโดยเฉพาะกรด โพรพิโอนิก (propionic acid) ซึ่งสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งคอเลสเทอรอล ส่วนการเพิ่มการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันชนิด Omega 3, 6, และ 9 ที่สะสมใน เนื้อไก่

Table 5 Effect of multi-strain *Bacillus* sp. supplementation in drinking water on economic benefit return

Economic benefit return	Multi-strain <i>Bacillus</i> sp. supplementation level (g/l)			SEM
	Control	1	2	
Feed cost per gain (THB/bird)	43.28±0.02	41.00±0.02	39.48±0.06	0.01
Salable bird return (THB/bird)	57.70±5.42	55.55±4.92	56.41±4.82	3.34
Net profits return per bird (THB/bird)	14.42±1.49	14.55±1.58	16.93±1.67	1.58
Return of investment (%)	33.31±4.35	35.48±5.12	42.88±4.89	2.67

4. การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยง ไก่เนื้อ

การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มของไก่เนื้อ ด้วยโปรแกรมการเสริมที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มของไก่เนื้อไม่มีผลต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ คือ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว การเพิ่มมูลค่าจากการขายต่อตัว การเพิ่มกำไรสุทธิต่อตัว และผลตอบแทนจากการลงทุน ($P>0.05$) ดัง Table 5 แม้ว่าผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงไก่เนื้อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หากแต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนและอัตรากำไรตอบแทนจากการเลี้ยง พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มทั้ง 2 ระดับมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเติบโตต่ำกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุมทั้งนี้ยัง พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มทั้ง 2 ระดับมีอัตราผลกำไรตอบแทน จากการเลี้ยงสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ดังนั้นจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางสำหรับการเลี้ยงไก่เนื้อ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไรสำหรับผู้เลี้ยง ไก่เนื้อ

สรุปผล

การเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ ของวัตถุดิบ ไขมันรวม และเยื่อใยหยาบในอาหารไก่เนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริม *Bacillus* sp. ผสมในน้ำดื่มของไก่เนื้อไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก

คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ แต่การเสริม *Bacillus* sp. ผสมทั้งสองระดับในน้ำดื่มของ ไก่เนื้อสามารถลดปริมาณคอเลสเทอรอล แต่จะเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน รวมทั้งจะทำให้มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3, 6 และ 9 ที่สะสมในเนื้อไก่สูงสุด โดยสรุปการเสริม *Bacillus* sp. ที่ระดับ 1 กรัมต่อลิตรในน้ำดื่มของไก่เนื้อมีศักยภาพในการผลิตไก่เนื้อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนวิจัยและสร้างสรรค์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากรที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2557 และ รวมถึงขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Teo AY, Tan HM. Evaluation of the performance and intestinal gut microflora of broilers fed on corn-soy diets supplemented with *Bacillus subtilis* PB6 (CloSTAT), J App Poult Res 2007;16:296-303
2. Mountzouris KC, Tsirsikos P, Palamidi I, Arvanniti A, Mohnl M, Schatmayr G, Fegeros K. Effect of probiotic inclusion level in broiler nutrition on growth

- performance, nutrient digestibility, plasma immunoglobulin, and cecal microflora composition, *Poult Sci* 2010;89:588-593
3. Reid G, Jass J, Sebulsky MT, Mc Cormick JK. Potential uses of Probiotics in clinical practice, *Clin Microbiol Rev* 2003;16:658-672
 4. Li LL, Hou ZP, Li TJ, Wu GY, Huang RL, Tang ZR, Yang CBB, Gong J, Yu H, Kong XF. Effects of dietary probiotic supplementation on ileal digestibility of nutrients and growth performance in 1 to 42 day old broilers, *J Sci Food and Agri* 2008;88:35-42
 5. สาโรช คำเจริญ. อาหารและการให้อาหารสัตว์. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547.
 6. Niba AT, Beal JD, Kudi AC, Brooks PH. Potential of bacterial fermentation as a biosafe method of improving feeds for pigs and poultry, *Afri J Biotech* 2009;8(9):1758-1767
 7. Al-Fataftah AR, Abdelqader A. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on heat-stressed broilers performance, intestinal morphology and microflora composition, *Anim Feed Sci Technol* 2014;198:279-285
 8. Sen S, Ingale SL, Kim WY, Kim JS, Kim KH, Lohakare JD, Chae BJ. Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1-2 to broiler diets on growth performance, nutrient retention, caecal microbiology and small intestinal morphology, *Res Vet Sci* 2012;93(1):264-268
 9. Liu X, Yan H, Lv L, Xu Q, Yin C, Zhang K, Wang P, Hu J. Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Bacillus licheniformis* in drinking water, *Asian-Aust J Anim Sci* 2012;25(5):682-689
 10. Gao Z, Haohao W, Lin S, Xiaohui Z, Ran S, Fuquan Y, Gooneratn R. Study of *Bacillus subtilis* on growth performance, nutrition metabolism and intestinal microflora of 1 to 42 d broiler chickens, *Anim Nutri* 2017;3(2):109-113
 11. Amerah AM, Quiles A, Medel P, Sanchez J, Lehtinen MJ, Gracia MI. Effect of pelleting temperature and probiotic supplementation on growth performance and immune function of broilers fed maize/soy-based diets, *Anim Feed Sci and Tech* 2013;180:55-63
 12. Timmerman HM, Veldman A, Elsen EVD, Rombouts FM, Beynen AC. Mortality and growth performance of broilers given drinking water supplemented with chicken-specific probiotics, *Poult Sci* 2006;85(8):1383-1388
 13. มนัสนันท์ นพรัตน์เมตรีวารังคณา กิจพิพิธชาลิต ผึ้งปฐมภรณ์ ศรารุช ม่วงเผือก เอกกมล กมลลาภวรรกุล นาภญาแบ่งลาภ เสาวภา เขียนงาม. ผลของการเสริมซินไบโอติกส์ต่อสมรรถนะการผลิตไก่เนื้อและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ, *วารสารเกษตร* 2558;31(3):221-230
 14. Zhang AW, Lee BD, Lee SK, Lee KW, An GH, Song KB, Lee C.H. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks, *Poult Sci* 2005;84:1015-1021
 15. Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of Guangxi Yellow chicken, *Poult Sci* 2010;89:588-593
 16. Ooi LG, Liong MT. Cholesterol- Lowering effects of probiotics and prebiotics: A review of in vivo and in vitro findings, *Int J Mol Sci* 2010;11:2499-2522
 17. Yousefi M, Karkoodi K. Effect of probiotic Thepax® and *S. cerevisiae* supplementation on performance and egg quality of laying hens, *Int J Poul Sci* 2007;6:52-54
 18. National Research Council. Nutrient requirement of poultry. 9th Edn. Washington, DC: National Academy Press; 1994.
 19. Zhao L, Zhang X, Cho F, Sun D, Wang T, Wang G. Effects of dietary supplementation with fermented Ginkgo-leaves on performance, egg quality, lipid metabolism, and egg-yolk fatty acid composition in laying hens, *Livest Sci* 2003;155:77-85
 - [20] Khaksefidi A, Rahimi Sh. Effect of probiotic inclusion in the diet of broiler chicken on performance, feed efficiency and carcass quality, *Asian-Aust J Anim Sci* 2005;18(8):1153-1156
 21. สัญชัย จตุรสิทธา. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่;2553.
 22. Hossain ME, Kim GW, Lee SK, Yang CJ. Growth performance, meat yield, oxidative stability, and

- fatty acid composition of meat from broiler fed diets supplemented with a medicinal plant and probiotics, Asian-Aust J Anim Sci 2012;25(8):1159-1168
23. Ao XJ, Yoo S, Zhou TX, Wang JJP, Meng QW, Yan L, Cho JH, Kim HI. Effects of fermented garlic powder supplementation on growth performance, blood profile and breast meat quality in broilers, Livest Sci 2011;141:85-89
 24. AOAC. Official Method of Analysis. 19th Edition. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist; 1995.
 25. Lepage G, Roy CC. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction, J Lipid Res 1986;27:114-120
 26. Steel, RGD, and JH Torrie. Principles and procedure statistic. 2nd Edn. Singapore: McGrew-Hill Book Co Inc; 1992.
 27. R Core Team. R. A language and environment for statistical computing. Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2013.
 28. Lee KW, Lillehoj HS, Sung IJS, Lee SH. Effect of salinomycin and *Bacillus stbtilis* on growth performance and immune responses in broiler chickens, Res Vet Sci 2014;97:305-309
 29. Afsharmanesh M, Sadaghi B, Silversides F.G. Influence of supplementation of prebiotic, probiotic and antibiotic to wet wheat-based diets on growth, ileal nutrient digestibility, blood parameters and gastrointestinal characteristics of broiler chickens, Comp Clin Pathol 2013; 22:245-251
 30. Huang JH. Effect of *Bacillus subtilis* on growth performance of broilers chicken. Heilongjiang, Anim Sci Vet Med 2012;2:78-79
 31. Hu CQ, Zhao JY, Yang JF, Xiong SL, Chen ZF, Hao B. The effect of *Bacillus* on the grow performance and the cecum bacteria clones in chickens, Chin Anim Husb Vet 2008;35:10
 32. Tan L, Yuan D, Chen YB, Zhan XA Differ *Bacillus*-probiotics affect growth perform Ammon emission excreta broilers, 2012;24(5):877-885
 33. Patterson JA, Burkholderm KM. Application of prebiotics and probiotics in poultry production, Poult Sci 2013;82:627-631
 34. Mookiah CC, Sieo K, Ramasamy N, Abdullah, Ho YW. Effects of dietary prebiotics, probiotic and synbiotics on performance, caecal bacterial populations and caecal fermentation concentrations of broiler chickens, J Sci Food Agric 2014;94:341-348
 35. Blajman JE, Olivero CA, Fusari ML, Zimmermann JA, Rossler E, Berisvil AP, Scharpen AR, Astesana DM, Soto LP, Signorini ML, Zbrun MV, Frizzo LS. Impact of lyophilized *Lactobacillus salivarius* DSPV 001P administration on growth performance, microbial translocation, and gastrointestinal microbiota of broiler reared under low ambient temperature, Res Vet y Sci 2017;114:388-394
 36. Edens F. An alternative for antibiotic se in poultry: probiotics, Braz J Poult Sci 2003;5:75-97
 37. Blajman JE, Gaziano C, Zbrun MV, Soto LP, Astesana DM, Berisvil AP, Romero Scharpen A, Signorini ML, Frizzo LS. In vitro and in vivo screening of native lactic acid bacteria towards their selection as a probiotic in broiler chickens, Res Vet Sci 2015;101:50-56
 38. เภญญา แสนมหาชัยกษ, เสมอใจ บุรีนอก เกศรา อ้าภภรณ์. ผลของการเสริม โปรไบโอติกจากแบคทีเรียกรดแลคติกต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อ, แก่นเกษตร 2557; 42 (ฉบับพิเศษ 1):307-312
 39. Cengiz Ö, Köksal BH, Tatlı O, Sevim Ö, Ahsan U, Üner AG, Ulutaş PA, Beyaz D, Büyükyörük S, Yakan A, ÖnoI ATG. Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers, Poult Sci 2015;94(10):2395-2403
 40. Mahajan P, Sahoo J, Panda PC. Effect of probiotic (Lacto-Sacc) feeding, packaging methods and season on the microbial and organoleptic qualities of chicken meat balls during refrigerated storage, J. Food Sci. Technol 2000;37:67-71
 41. Kim KS, Lee JH, Shin MS, Cho MS, Kim YP, Cho SK, Kang YJ. Effect of dietary probiotics supplementation contained with astaxanthin produced by *Phaffia rhodozyma* on the productivity and meat quality of ducks, Kor J Poult Sci 2005;32:73-80

42. Kim YJ. Effect of dietary supplementation with probiotics, illite, active carbon and hardwood vinegar on the performance and carcass characteristics of broiler, *Kor J Poult Sci* 2007;34:165-172
43. Kim YJ, Yoon YB. Effect of the feeding probiotics, illite, activated carbon, and hardwood vinegar on the meat quality and shelf-life in chicken thigh, *Kor J Food Sci Anim Resour* 2008;28:480-485
44. Zhang ZF, Zhou TX, Ao X, Kim IH. Effects of β -glucan and *Bacillus subtilis* on growth performance, blood profiles, relative organ weight and meat quality in broiler fed maize–soybean meal based diets, *Livest Sci* 2012;150 (1–3):419-424
45. Chen H, Dong X, Yao Z, Xu B, Zhen S, Li C, Li X. Effects of prechilling parameters on water-holding capacity of chilled pork and optimization of prechilling parameters using response surface methodology, *J Anim Sci* 2012;90:2836-2841
46. Fukushima M, Nakano M. The effects of a probiotic on faecal and liver lipid classes in rats, *British J Nutr* 1995;73:701-710
47. Mikulski D, Jankowski J, Naczmanski J, Mikulska M, Demey V. Effects of dietary probiotic (*Pediococcus acidilactici*) supplementation on performance, nutrient digestibility, egg traits, egg yolk cholesterol, and fatty acid profile in laying hens, *Poult Sci* 2012;91:2691-2700
48. St-Onge MP, Farnworth ER, Jones PPJH. Consumption of fermented and nonfermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism, *American J Clin Nutr* 2000;71:674-681
49. Yalcin S, Yalcin S, Cakin K, Eltan O, Dagan L. Effects of dietary yeast autolysate (*Saccharomyces cereviceae*) on performance, egg trait, egg cholesterol content, egg yolk fatty acid composition and humeral immune response of laying hens, *J Sci and Food Agri* 2010;90:1695-1701

ความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น

Species Diversity of Vascular Plants in Ban Hin Hao Community Forest, Ban Fang District, Khon Kaen Province

วรชาติ โตแก้ว*, นวพรรษ ผลดี

Worachat Tokaew*, Nawaphat Poldee

Received: 19 July 2017; Accepted: 5 October 2017

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น โดยวิธีกำหนดเส้นทาง (line transect) ตามแนวยาวของป่าชุมชนระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวน 4 เส้นทาง ดำเนินการสำรวจระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงกันยายน พ.ศ. 2559 พบพืชทั้งหมด 61 วงศ์ 159 สกุล 202 ชนิด จำแนกเป็นพืชกลุ่มเฟิร์น 1 ชนิด พืชเมล็ดเปลือย 1 ชนิด พืชมีดอกกลุ่มพืชใบเลี้ยงคู่ 170 ชนิด และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว 30 ชนิด ในจำนวนนี้เป็นพืชต่างถิ่น 11 ชนิด พืชหายากของไทย 2 ชนิด ได้แก่ กระตือขาว (*Globba laeta*) และสัตถุณี (*Iphigenia indica*) พืชเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ 1 ชนิด คือปรงป่า (*Cycas siamensis*) และเป็นพืชถิ่นเดียวของประเทศไทย 1 ชนิด คือ *Dimetra craibiana*

คำสำคัญ: ความหลากหลายชนิด พืชต่างถิ่น พืชหายาก พืชเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ พืชถิ่นเดียว

Abstract

Species diversity of vascular plants in Ban Hin Hao community forest, Ban Fang district, Khon Kaen province was investigated between October 2015 and September 2016. Plants were surveyed by using line transect methods. Four 1 km line transects were applied for sampling and collecting specimens. Two hundred and two species, belonging to 159 genera and 61 families were identified. The plants were classified as one fern, one gymnosperm, 170 dicotyledonous and 30 monocotyledonous plants. Eleven alien species of vascular plants were found in the area. *Globba laeta* and *Iphigenia indica* are rare in Thailand, *Cycas siamensis* is a vulnerable plant, and *Dimetra craibiana* is endemic to Thailand.

Keywords: species diversity, alien plant, rare plant, vulnerable plant, endemic plant

บทนำ

ป่าชุมชนบ้านหินฮาว หมู่บ้านหินฮาว (หมู่ 4) ตำบลโนนฆ้อง อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่นเป็นป่าสงวนแห่งชาติ มีพื้นที่ 500 ไร่ มีกระบวนการจัดการและการฟื้นฟูป่า และเข้าสู่โครงการ “คนรักป่า ป่ารักชุมชน” ในปี พ.ศ. 2558 พื้นที่ป่าเป็นที่ราบเชิงเขา สังคมพืชโดยทั่วไปเป็นป่าเต็งรัง พรรณไม้ส่วนใหญ่ที่พบ ได้แก่ กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.

Benn.) แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) รัง (*S. siamensis* Miq.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) เหียง (*D. obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) และมะกอกเกล็ดอ่อน (*Canarium subulatum* Guillaumin) เป็นต้น¹ พื้นที่ป่าชุมชนแห่งนี้ตั้งอยู่ระหว่างป่าที่สมบูรณ์สองฝั่งของอุทยานแห่งชาติน้ำพองจังหวัดขอนแก่น มีไม้ต้นที่

¹ อาจารย์, สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000

* Corresponding author: totaew9@gmail.com

สำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) ประดู่ พะยุง (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre) พะยอม (*S. roxburghii* G. Don) มะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Teysm. ex Miq.) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib) และเหียง เป็นต้น² และมีพื้นที่อนุรักษ์อีก 2 แห่งที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง คือ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โคกภูตาคา อำเภอเวียงเก่า จังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการรายงานพบเปราะใบใหญ่ (*Kaempferia grandifolia* Saensouk & Jenjitt.) พืชถิ่นเดียวและพืชหายากของประเทศไทย³ และนอกจากนี้ยังพบหญ้าดอกกล้าโพง (*Centranthera siamensis* T. Yamaz.) และมะพลับเจ้าคุณ (*Diospyros winitii* Fletcher) ซึ่งเป็นพืชถิ่นเดียวของประเทศไทยในพื้นที่หนึ่งคืออุทยานแห่งชาติภูเวียงด้วยเช่นกัน⁴ แม้พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินฮาวจะมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่อนุรักษ์ในบริเวณใกล้เคียงแต่เป็นสังคมพืชที่สำคัญเนื่องจากตั้งอยู่ระหว่างพื้นที่ป่าขนาดใหญ่ที่เป็นแหล่งอนุรักษ์ทรัพยากรชีวภาพของประเทศไทยซึ่งส่งผลดีต่อความหลากหลายทางชีวภาพของนิเวศป่าชุมชนและป่าขนาดเล็กอันได้รับการแพร่กระจายแหล่งพันธุกรรมจากพื้นที่ป่าที่อยู่ใกล้เคียงนอกจากนี้ มีรายงานพบพืชต่างถิ่นกระจายพันธุ์เข้าสู่บริเวณพื้นที่ป่าอนุรักษ์⁵⁻⁶ ซึ่งอาจกระทบต่อความหลากหลายของพืชพื้นเมืองในประเทศไทย นอกจากนี้ทรัพยากรจากป่าชุมชนยังสำคัญต่อวิถีการดำรงชีวิตตามภูมิปัญญาท้องถิ่น เนื่องจากป่าเป็นแหล่งอาหารสำคัญ ได้แก่ พืชผักและผลไม้ น้ำผึ้ง เห็ด แมลงและสัตว์ต่างๆ พืชสมุนไพร และเชื้อเพลิง เป็นต้น⁷⁻¹¹ ปัจจัยที่ความสำคัญมากที่สุดในการจัดการป่าชุมชนคือการอนุรักษ์ทรัพยากร¹²

การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพจึงเป็นข้อมูลสำคัญแต่ปัจจุบันป่าชุมชนบ้านหินฮาวมีเพียงรายงานพืชบางชนิด¹ และเห็ดกินได้ในพื้นที่¹³ การศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการความหลากหลายทางชีวภาพด้านพันธุ์พืช เช่น พืชหายากและเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ พืชถิ่นเดียวของประเทศไทย และพืชต่างถิ่นที่รุกรานพืชพื้นเมืองในพื้นที่ป่าชุมชน เป็นต้น การอนุรักษ์ทรัพยากร และการศึกษาด้านภูมิปัญญาการใช้ประโยชน์พืชของชุมชน เพื่อให้เห็นคุณค่าของป่าชุมชนต่อท้องถิ่นและเกิดการใช้ประโยชน์ป่าอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

ศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว หมู่บ้านหินฮาว หมู่ 4 ตำบลโนนฆ้อง

อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น โดยวิธีกำหนดเส้นทาง (line transect) ตามแนวยาวของป่าชุมชนระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวน 4 เส้นทาง และสำรวจตามเส้นทางเก็บหาของป่าของชาวบ้านเพิ่มเติม ดำเนินการสำรวจระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 – กันยายน พ.ศ. 2559 เก็บตัวอย่างพืชบางชนิดที่ยากต่อการตรวจสอบชนิดตามวิธีของก่องกานดา¹⁴ ระบุชนิดพืชที่สำรวจพบโดยใช้เอกสารด้านอนุกรมวิธาน เช่น พรรณพฤษชาติแห่งประเทศไทย (Flora of Thailand)¹⁵⁻²² วารสาร Thai Forest Bulletin (Botany)²³⁻²⁴ และหนังสือพรรณไม้ต่างๆ เช่น ปาล์มและปรงในป่าไทย²⁵ และไม้ต้นเมืองเหนือ²⁶ เป็นต้น บันทึกชื่อพื้นเมืองของพืชที่สำรวจพบ สำหรับชนิดที่ไม่มีชื่อใช้ชื่อตามรายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม 2557)²⁷ และเก็บตัวอย่างไว้ที่สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผลการศึกษา

จากการสำรวจความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาวพบพืชกลุ่มเฟิร์น 1 ชนิด คือ ย่านลิเภา (*Lygodium flexuosum* (L.) Sw.) พืชเมล็ดเปลือย 1 ชนิด คือ ปรงป่า (*Cycas siamensis* Miq.) พืชมีดอกกลุ่มพืชใบเลี้ยงคู่ 170 ชนิดและพืชมีดอกกลุ่มพืชใบเลี้ยงเดี่ยว 30 ชนิด รวมทั้งหมด 61 วงศ์ 159 สกุล 202 ชนิด (ตารางที่ 1; ภาพที่ 1 และ 2) ไม่สามารถระบุชื่อชนิดได้ 5 ชนิด ได้แก่ *Dioscoria* sp. (Dioscoriaceae), *Lepidagathis* sp. (Acanthaceae) และพืชในวงศ์เข็ม (Rubiaceae) บางชนิด ได้แก่ *Mitracarpus* sp. *Richardia* sp. และ *Spermacoce* sp. เป็นต้น วงศ์ที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าชุมชน ได้แก่ วงศ์ถั่ว (Fabaceae) วงศ์เปล้า (Euphorbiaceae) วงศ์เข็ม (Rubiaceae) วงศ์ผักปลาบ (Commelinaceae) วงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) วงศ์ตีนเป็ด (Apocynaceae) และวงศ์ปอ (Mavaceae) พบจำนวน 42, 14, 10, 8 และสามวงศ์สุดท้ายพบ 7 ชนิดเท่ากันตามลำดับ

ป่าชุมชนบ้านหินฮาวมีสังคมพืชแบบป่าเต็งรัง จำแนกพืชตามลักษณะวิสัยได้เป็น ไม้ต้น 57 ชนิด ชนิดที่พบได้มากและพบทั่วไปคือ เต็ง นอกจากนี้ยังพบไม้ต้นที่พบได้ทั่วไปอีกหลายชนิด ได้แก่ แดง รักใหญ่ (*Gluta usitata* (Wall.) Ding Hou) รัง และมะม่วงหาวแมงวัน (*Buchanania lanzen* Spreng.) เป็นต้น ไม้พุ่มพบ 22 ชนิด ไม้เลื้อยมีเนื้อไม้ 6 ชนิด ไม้เลื้อย 20 ชนิด (รวมพืชเบียน 1 ชนิด คือ ไหมป่า (*Cassytha filiformis* L.) และพืชล้มลุก 96 ชนิด ชนิดที่มีจำนวนมากพบได้ทั่วไปคือ เพ็ก (*Vietnamosasa pusilla* (Chevalier. & A. Camus) Nguyen) บางชนิดมีประชากรมากแต่พบเฉพาะบางบริเวณ

เช่น กระเจียวโคก (*Curcuma singularis* Gagnep.) กล้ายเต่า (*Polyalthia debilis* (Pierre) Finet & Gagnep.) นมน้อย (*P. erecta* (Pierre) Finet & Gagnep.) ขี้ตู่ (*Helicteres angustifolia* L.) เขียงพร้าว (*Justicia diffusa* Willd.) พังคิ (*Croton crassifolius* Geisel.) และว่านจงนาง (*Geodorum siamense* Rolfe ex Downie) เป็นต้น และพบพืชอิงอาศัย 1 ชนิด คือ เขาแกะ (*Rhynchostylis coelestis* (Rchb.f.) ex Veitch.) ซึ่งพบเพียงต้นเดียวจากเส้นทางการศึกษาทั้งหมด เช่นเดียวกับกับข้าวดอกหอม (*Chionanthus ambli-rhinus* P.S. Green) สัตถุณี (*Iphigenia indica* (L.) A.Gray ex Kunth) และถั่วดินโคก (*Sophora exigua* Craib) ที่พบเพียงหนึ่งต้นจากในที่สำรวจ นอกจากนี้ยังพบว่าทับทิมสยาม (*Globba siamensis* (Hemsl.) Hemsl.) และมักก้านวนกุ่ม (*Uria rotundata* Craib) เป็นพืชที่มีประชากรน้อยและพบกระจายพันธุ์เฉพาะบริเวณแนวโคกหินที่ยกตัวสูงขึ้นเป็นเนินในพื้นที่ป่าชุมชน สอดคล้องกับรายงานการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยที่พบจำนวนน้อยด้วยเช่นกัน โดยพบว่าทับทิมสยามพบกระจายพันธุ์ห่างๆ ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ²⁸ และมักก้านวนกุ่มพบในบางพื้นที่ของภาค

เหนือ ภาคตะวันออกและภาคตะวันตก²⁹ และการศึกษาครั้งนี้เป็นการรายงานครั้งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ชาวบ้านหินฮาวและพื้นที่ใกล้เคียงใช้ประโยชน์จากป่าชุมชนด้านเป็นแหล่งอาหารตามธรรมชาติ พืชอาหารที่ชาวบ้านนิยมบริโภคสามารถพบได้หลายชนิดในป่าชุมชนบ้านหินฮาว ได้แก่ กระเจียวโคก ขี้เหล็ก (*Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby) ตั้วเกลี้ยง (*Cratoxylum cochinchinense* (Lour.) Blume) ผักหวาน (*Melientha suavis* Pierre) และอีลอก (*Pseudodraconium kerrii* Gagnep.) สามารถนำไปอ่อนยอดอ่อน ดอก ก้านช่อดอก หรือช่อดอกมารับประทานเป็นผักหรือปรุงอาหารได้ กระบก มะม่วงป่า (*Mangifera caloneura* Kurz) สมอไทย (*Terminaria chebula* Retz.) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.) หว่า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) หมากเฒ่า (*Antidesma ghaesembilla* Gaertn.) และหมากเหลียม (*Canarium subulatum* Guillaumin) สามารถนำผลหรือเมล็ดมาบริโภคสดหรือปรุงประกอบอาหารได้ และกลอย (*Dioscorea hispida* Dennst.) นำหัวได้ดิน (รากสะสมอาหาร) มาใช้ทำขนมได้

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest.

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
วงศ์ ACANTHACEAE			
1	<i>Barlerias trigosa</i> Willd.	สังกรณี	herb
2	<i>Justicia diffusa</i> Willd.	เขียงพร้าว	herb
3	<i>Lepidagathis</i> sp.	-	herb
4	<i>Thunbergia fragrans</i> Roxb.	หุบปากกา	climber
วงศ์ AMARANTHACEAE			
5	<i>Achyranthes aspera</i> L.	พันงู	herb
6	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.***	ผักเบ็ดน้ำ	herb
7	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.	ผักเบ็ดไทย	herb
8	<i>Amaranthus spinosus</i> L.***	ผักขมหนาม	herb
9	<i>Amaranthus viridus</i> L.	ผักขม	herb
วงศ์ ANACARDIACEAE			
10	<i>Buchanania lanzen</i> Spreng.	มะม่วงหัวแมงวัน	tree
11	<i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou	รักใหญ่	tree
12	<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	กุ่ม	tree
13	<i>Mangifera caloneura</i> Kurz	มะม่วงป่า	tree
วงศ์ ANNONACEAE			
14	<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.	ลำตวน	tree

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
15	<i>Polyalthia debilis</i> (Pierre) Finet & Gagnep.	กล้วยเต่า	shrub
16	<i>Polyalthia erecta</i> (Pierre) Finet & Gagnep.	นมน้อย	shrub
17	<i>Uvaria cherrevensis</i> (Pierre ex Finet & Gagnep.) L.L. Zhou, Y.C.F. Su & R.M.K. Saunders	นมแมวป่า	shrub
วงศ์ APOCYNACEAE			
18	<i>Aganonerion polymorphum</i> Pierre ex Spire	ส้มลม	climber
19	<i>Amalocalyx microlobus</i> Pierre ex Spire	หยั่งสมุทร	climber
20	<i>Amphineurion marginata</i> (Roxb.) D.J. Middleton	โมกเครือ	woody climber
21	<i>Gymnema griffithii</i> Craib	มะแดงแพะ	climber
22	<i>Holarrhena pubescens</i> Wall. ex G.Don	โมกใหญ่	tree
23	<i>Streptocaulon juvenas</i> (Lour.) Merr.	เถาประสงค์	climber
24	<i>Zygotelma benthami</i> Baill.	อบเชยเถา	climber
วงศ์ ARACEAE			
25	<i>Pseudodracontium harmandii</i> Engl.	อีลอก	herb
วงศ์ ARECACEAE (PALMAE)			
26	<i>Phoenix loureiri</i> Kunth	แป้งดอย	shrub
วงศ์ ARISTOLOCHIACEAE			
27	<i>Aristolochia pothieri</i> Pierre ex Lecomte	กระเช้าตุ้งทอง	climber
วงศ์ ASPARAGACEAE			
28	<i>Asparagus racemosus</i> Willd.	สามสิบ	herb
วงศ์ ASTERACEAE			
29	<i>Acilepis squarrosa</i> D.Don	หนาดดำ	herb
30	<i>Chromolaena odorata</i> R.M. King & H. Rob.***	สามเสือ	herb
31	<i>Cyanthillium cinerea</i> (L.) H. Rob.	หมอน้อย	herb
32	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	กระเม็ง	herb
33	<i>Elephantopus scapter</i> L.	โตไม่รู้ล้ม	herb
34	<i>Gynura pseudochina</i> (L.) DC.	ว่านมหากาฬ	herb
35	<i>Praxelis clematidea</i> (Griseb.) R.M. King & H. Rob.***	สามม่วง	herb
วงศ์ BURSERACEAE			
36	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	มะกอกเกลื่อน	tree
วงศ์ CAPPARACEAE			
37	<i>Maerua siamensis</i> (Kurz) Pax	แจง	tree
วงศ์ CHRYSOBALANACEAE			
38	<i>Parinari anamensis</i> Hance	มะพอก	tree
วงศ์ CLUSIACEAE			
39	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	ตีวเกลี้ยง	tree
วงศ์ COLCHICACEAE			
40	<i>Iphigenia indica</i> (L.) A. Gray ex Kunth*	สัตถาณี	herb

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
วงศ์ COMBRETACEAE			
41	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	สมอไทย	tree
42	<i>Terminalia mucronata</i> Craib & Hutch.	ตะแบกเลือด	tree
วงศ์ COMMELINACEAE			
43	<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	ผักปลาบ	herb
44	<i>Cyanotis axillaris</i> (L.) D. Don ex Sweet	ผักปลาบนา	herb
45	<i>Cyanotis vaga</i> (Lour.) Schult.f.	หญ้าเครือไฟ	herb
46	<i>Murdannia edulis</i> (Stokes) Faden	ว่านข้าวเหนียว	herb
47	<i>Murdannia loriformis</i> (Hassk.) R.S. Rao & Kammathy	ผักปลาบโคก	herb
48	<i>Murdannia macrocapa</i> D.Y. Hong	หญ้าตักแตน	herb
49	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.) Brenen.	กินกุ้งน้อย	herb
50	<i>Murdannia spectabilis</i> (Kurz) Faden	แห้วกระต่าย	herb
วงศ์ CONNARACEAE			
51	<i>Ellipanthus tomentosus</i> Kurz	คำรอก	tree
วงศ์ CONVOLVULACEAE			
52	<i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L.	ใบต่อก้าน	climber
53	<i>Ipomoea hederifolia</i> L.	จิงจ้อแดง	climber
54	<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl	สะอึก	climber
55	<i>Merremia hirta</i> (L.) Merr.	จิงจ้อนวล	climber
56	<i>Merremia quinata</i> (R. Br.) Ooststr.	จิงจ้อนิ้วนาง	climber
วงศ์ CUCURBITACEAE			
57	<i>Solena heterophylla</i> Lour.	ตำลึงตัวผู้	climber
วงศ์ CYCADACEAE			
58	<i>Cycas siamensis</i> Miq.	ปรงป่า	shrub
วงศ์ CYPERACEAE			
59	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	หญ้านิ้วหนู	herb
60	<i>Fimbristylis insignis</i> Thwaites.	กกกันดาร	herb
61	<i>Fimbristylis ovata</i> (Blume) Kern	หญ้ากกหมู	herb
62	<i>Scleria levis</i> Retz.	หญ้าสามคม	herb
วงศ์ DILLENACEAE			
63	<i>Dillenia ovata</i> Wall. ex Hook.f. & Thomson	सानใบเล็ก	tree
วงศ์ DIOSCORIACEAE			
64	<i>Dioscorea hispida</i> Dennst.	กลอย	climber
วงศ์ DIOSCORIACEAE (continue)			
65	<i>Dioscorea</i> sp.	–	climber
วงศ์ DIPTEROCARPACEAE			
66	<i>Dipterocarpus intricatus</i> Dyer.	ยางกรวด	tree
67	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	เหียง	tree
68	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	พลวง	tree

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
69	<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	เต็ง	tree
70	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	รัง	tree
วงศ์ EBENACEAE			
71	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don.	ตับเต่าตัน	tree
วงศ์ ERYTHROXYLACEAE			
72	<i>Erythroxylum cuneatum</i> (Miq.) Kurz	ไกรทอง	shrub
วงศ์ EUPHORBIACEAE			
73	<i>Antidesma ghaesembilla</i> Gaertn.	เม่าไขปลา	shrub
74	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. ex Lindl.) Baill.	เหมือดโลด	tree
75	<i>Croton crassifolius</i> Geisel.	พังกี	shrub
76	<i>Euphorbia bifida</i> Hook. & Arn.	มูกเบี้ย	herb
77	<i>Euphorbia hirta</i> L.	น้ำนมราชสีห์	herb
78	<i>Microstachys chamaelea</i> (L.) Müll. Arg.	สร้อยนก	herb
79	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	มะขามป้อม	tree
80	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	หญ้าไต้ใบ	herb
81	<i>Phyllanthus virgatus</i> G. Forst.	ขางอำไพ	herb
82	<i>Sauropus hirsutus</i> Beille	ผักหวานนก	herb
83	<i>Strophoblachia fimbriolax</i> Boerl.	ดอกครุย	herb
84	<i>Suregada multiflorum</i> (A. Juss.) Baill.	ชันทองพญาบาท	tree
85	<i>Trigonostemon reidiodes</i> (Kurz) Craib	โลดทะนง	shrub
วงศ์ FABACEAE (LEGUMINOSAE)			
86	<i>Albizia lebeck</i> (L.) Benth.	พฤษภ	tree
87	<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.	ถั่วลิสงนา	herb
วงศ์ FABACEAE (cont.)			
88	<i>Bauhinia malabarica</i> Roxb.	เสี้ยวใหญ่	tree
89	<i>Bauhinia saccocalyx</i> Pierre	เสี้ยวป่า	tree
90	<i>Chamaecrista mimosoides</i> (L.) Greene	โสนน้อย	herb
91	<i>Christia obcordata</i> (Poir.) Bakh.f.	ผีเสื้อ	climber
92	<i>Clitoria ternatea</i> L.*	อัญชัน	climber
93	<i>Codariocalyx motorius</i> (Houtt.) H. Ohashi	ช้อยนางรำ	herb
94	<i>Crotalaria montana</i> Heyne ex Roth	หึ่งเม่นฝอย	herb
95	<i>Crotalaria pallida</i> Aiton.*	หึ่งเม่น	herb
96	<i>Dalbergia nigrescens</i> Kurz	ฉนวน	tree
97	<i>Dendrolobium triangulare</i> Schindl.	กระดุกอึ่ง	herb
98	<i>Desmodium heterocarpon</i> (L.) DC.	คนทีดิน	herb
99	<i>Desmodium styracifolium</i> (Osbeck) Merr.	หนูท้องขาว	herb
100	<i>Desmodium triflorum</i> (L.) DC.	หญ้าเกล็ดหอย	herb
101	<i>Desmodium velutinum</i> (Willd.) DC.	หญ้าตีตหมา	herb
102	<i>Dunbaria rotundifolia</i> (Lour.) Merr.	-	climber

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
103	<i>Erythrophleum succirubrum</i> Gagnep	พันชาด	tree
104	<i>Flemingia stricta</i> Roxb. ex W.T. Aiton	หางเสือ	herb
105	<i>Indigofera hendecaphylla</i> var. <i>siamensis</i> (Hoss.) Gagnep.	ครามเครือ	herb
106	<i>Indigofera hirsuta</i> L.	ครามขน	herb
107	<i>Indigofera wightii</i> Wight & Arn.	–	herb
108	<i>Lasiobema penicilliloba</i> (Gagnep.) A. Schmitz	เสี้ยวแดง	woody climber
109	<i>Millettia leucantha</i> Kurz	สาร	tree
110	<i>Peltophorum dasyrachis</i> (Miq.) Kurz	อะราง	tree
111	<i>Phyllodium pulchellum</i> (L.) Desv.	เกล็ดปลาช่อน	shrub
112	<i>Phyllodium vestitum</i> Benth.	–	shrub
113	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	ประดู่	tree
114	<i>Pycnospora lutescens</i> (Poir.) Schindl.	ลูกพรวนหมา	herb
115	<i>Senna garrettiana</i> (Craib) Irwin & Barneby	แสมสาร	tree
116	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby	ขี้เหล็ก	tree
วงศ์ FABACEAE (cont.)			
117	<i>Senna tora</i> (L.) Roxb.	ชุมเห็ดไทย	herb
118	<i>Sesbania bispinosa</i> (Jacq.) W. Wight	สนคางคก	herb
119	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm. & Miq.	มะค่าแต้	tree
120	<i>Sophora exigua</i> Craib	ถั่วดินโคก	herb
121	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth*	หญ้าสไตโล	herb
122	<i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers.	ครามป่า	shrub
123	<i>Tephrosia vestita</i> Vogel	ด่านราชสีห์	shrub
124	<i>Uria lagopodioides</i> (L.) Desv.	หญ้าหางอัน	herb
125	<i>Uria rotundata</i> Craib	มักก้านวนกุ่ม	herb
126	<i>Xylocarpus xylocarpa</i> (Roxb.) Taub. var. <i>kerrii</i> (Craib & Hatch.) I.C. Nielsin.	แดง	tree
127	<i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers.	–	herb
วงศ์ SALICACEAE			
128	<i>Casaria grewiaefolia</i> Vent.	กรวยป่า	tree
129	<i>Flacourtia indica</i> (Burm.f.) Merr.	ตะขบป่า	tree
วงศ์ HYPOXIDACEAE			
130	<i>Hypoxis aurea</i> Lour.	หญ้าดอกคำ	herb
วงศ์ IRVINGIACEAE			
131	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A. Benn.	กระบก	tree
วงศ์ LAMIACEAE			
132	<i>Hymenopyramis brachiata</i> Wall. ex Griff.	ขาเป็ย	tree
133	<i>Hyptis suaveolens</i> Poit.***	แมงลักคา	herb
134	<i>Orthosiphon rubicundus</i> (D. Don) Benth.	หนวดเสือเขียว	herb
135	<i>Premna nana</i> Coll. & Hemsl.	ยาเข้าเย็น	herb

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
136	<i>Vitex pinnata</i> L.	ตีนนก	tree
	วงศ์ LAURACEAE		
137	<i>Cassytha filiformis</i> L.	ไทมป่า	parasite
138	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C.B. Rob.	หมีเหม็น	tree
	วงศ์ LYGODIACEAE		
139	<i>Lygodium flexuosum</i> (L.) Sw.	ย้ายายเภา	climber
	วงศ์ MAVACEAE		
140	<i>Corchorus aestuans</i> L.	กระเจานา	herb
141	<i>Decaschistia crotonifolia</i> Wight & Arn.	หัวไก่โกลกใหญ่	herb
142	<i>Hibiscus glanduliferus</i> Craib	ปอดต้ม	herb
143	<i>Sida acuta</i> Burm.f.	หญ้าขัดใบยาว	herb
144	<i>Sida cordifolia</i> L.	หญ้าขัดใบป้อม	herb
145	<i>Sida rhombifolia</i> L.	หญ้าขัด	herb
146	<i>Urena lobata</i> L.	ขี้ครอก	herb
	วงศ์ MELASTOMATACEAE		
147	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	พลองเหมือด	tree
	วงศ์ MENISPERMACEAE		
148	<i>Tinospora baenzigeri</i> Forman	ชิงช้าชาลี	climber
	วงศ์ MORACEAE		
149	<i>Ficus subpisocarpa</i> Gagnep. subsp. <i>pubipoda</i> C.C. Berg.	เสียบ	tree
	วงศ์ MYRTACEAE		
150	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	หว่า	tree
	วงศ์ OCHNACEAE		
151	<i>Ochna integerrima</i> (Lour.) Merr.	ข้าน้ำ	tree
	วงศ์ OLACACEAE		
152	<i>Olax psittacorum</i> (Lam.) Vahl	น้ำใจใคร่	woody climber
	วงศ์ OLEACEAE		
153	<i>Chionanthus ambliirrhinus</i> P.S. Green	ข้าวดอกหอม	shrub
154	<i>Dimetra craibiana</i> Kerr**	-	herb
	วงศ์ OPILIAEAE		
155	<i>Cansjera rheedei</i> J.F. Gmel.	นางจุ่ม	woody climber
156	<i>Melientha suavis</i> Pierre	ผักหวาน	tree
	วงศ์ ORCHIDACEAE		
157	<i>Eulophia macrobulbon</i> (C.S.P. Parish & Rchb.f.) Hook.f.	ว่านอึ้ง	herb
158	<i>Geodorum siamense</i> Rolfe ex Downie	ว่านจูงนาง	herb
	วงศ์ ORCHIDACEAE (cont.)		
159	<i>Rhynchostylis coelestis</i> (Rchb.f.) ex Veitch.	เอื้องเขาแกะ	epiphyte
	วงศ์ PASSIFLORACEAE		
160	<i>Adenia viridiflora</i> Craib	ผักสาบ	climber

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
161	<i>Passiflora foetida</i> L.	กะทกรก	climber
	วงศ์ POACEAE (GRAMINAE)		
162	<i>Pennisetum polystachyon</i> (L.) Schult.**	หญ้าจรจบเล็ก	herb
163	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W. Clayton	หญ้าไช่ย้ง	herb
164	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem & Schutl.	หญ้าหางหมาน้อย	herb
165	<i>Vietnamosasa pusilla</i> (Chevalier. & A. Camus) Nguyen	เพ็็ก	herb
	วงศ์ POLYGALACEAE		
166	<i>Polygala triflora</i> L.	-	herb
167	<i>Polygala chinensis</i> L.	คำเตี้ย	herb
	วงศ์ RHAMNACEAE		
168	<i>Ziziphus cambodiana</i> Pierre	ตะครอง	woody climber
169	<i>Ziziphus oenoplia</i> (L.) Mill. var. <i>brunoniana</i> Tardieu	เล็บเหยี่ยว	woody climber
	วงศ์ RUBIACEAE		
170	<i>Catunaregam tomentosa</i> (Blume ex DC.) Tirveng.	หนามแท่ง	tree
171	<i>Gardenia obtusifolia</i> Roxb. ex Kurz.	ไข่น้ำ	tree
172	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	คำมอกหลวง	tree
173	<i>Hymenodictyon orixense</i> (Roxb.) Mabb.	ส้มกบ	tree
174	<i>Ixora cibdela</i> Craib	เข็มป่า	tree
175	<i>Mitracarpus</i> sp.	-	herb
176	<i>Mitragyna rotundata</i> (Roxb.) Kuntze	กระทุ่มเนิน	tree
177	<i>Morinda coreia</i> Ham.	ยอป่า	tree
178	<i>Richardia</i> sp.	-	herb
179	<i>Rothmannia wittii</i> (Craib) Bremek.	หมักหม้อ	tree
180	<i>Spermacoce</i> sp.	-	herb
	วงศ์ RUTACEAE		
181	<i>Clausena harmandiana</i> (Pierre) Pierre ex Guillaumin	ส่องฟ้าแดง	shrub
182	<i>Naringi crenulata</i> (Roxb.) Nicolson	กระแจะ	tree
	วงศ์ SCROPHULARIACEAE		
183	<i>Lindernia crustacea</i> (L.) F. Muell	หญ้ากาบหอยตัวเมีย	herb
	วงศ์ SMILACACEAE		
184	<i>Smilax verticalis</i> Gagnep.	เครือดำ	climber
	วงศ์ STEMONACEAE		
185	<i>Stemona tuberosa</i> Lour.	หนอนตายหยาก	herb
	วงศ์ STERCULIACEAE		
186	<i>Helicteres angustifolia</i> L.	ขี้ตู่	shrub
187	<i>Helicteres hirsuta</i> Lour.	ขี้จัน	shrub
188	<i>Helicteres lanceolata</i> A. DC.	ปีกไก่ดำ	shrub
189	<i>Waltheria indica</i> L.	ตานทราย	shrub

Table 1 List of vascular plants in Ban Hin Hao community forest (continue).

No.	Family name / Scientific name	Local name	Plant habit
	วงศ์ STRYCHNACEAE		
190	<i>Strychnos nux-vomica</i> L.	ตุมกา	tree
	วงศ์ THYMELAEACEAE		
191	<i>Enkleia malaccensis</i> Griff.	ปอเต่าไห้	shrub
	วงศ์ TILIACEAE		
192	<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	ปอแก่นเทา	tree
193	<i>Grewia winitii</i> Craib	หญ้าชุ่มตอ	shrub
194	<i>Triumfetta bartramia</i> L.	ปอเส้ง	herb
	วงศ์ VERBENACEAE		
195	<i>Lantana camara</i> L.***	ผกากรอง	shrub
196	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl	พังกูเขียว	herb
	วงศ์ VITACEAE		
197	<i>Leea indica</i> (Burm.f.) Merr.	กะดังใบ	shrub
198	<i>Leea thorelii</i> Gagnep.	กะดังใบเตี้ย	herb
	วงศ์ ZINGIBERACEAE		
199	<i>Curcuma singularis</i> Gagnep.	กระเจียวโคก	herb
200	<i>Globba laeta</i> K. Larsen*	กระชายขาว	herb
201	<i>Globba siamensis</i> (Hemsl.) Hemsl.	ว่านทับทิมสยาม	herb
202	<i>Kaempferia galanga</i> L.	เปราะหอม	herb

หมายเหตุ: * = rare plants in Thailand, ** = endemic to Thailand, *** = alien plants, – = not reported



Figure 1 Some species of trees in Ban Hin Hao community forest, Ban Fang district, Khon Kaen province; (a) *Bauhinia saccocalyx* Pierre, (b) *Cratoxylum cochinchinense* (Lour.) Blume, (c) *Catunaregam tomentosa* (Blume ex DC.) Tirveng., (d) *Dillenia ovata* Wall. ex Hook.f. & Thomson, (e) *Flacourtia indica* (Burm.f.) Merr., (f) *Gardinia sootepensis* Hutch., (g) *Gluta usitata* (Wall.) Ding Hou, (h) *Holarrhena pubescens* Wall. ex G. Don, (i) *Millettia leucantha* Kurz, (j) *Ochna integerrima* (Lour.) Merr., (k) *Rothmannia wittii* (Craib) Bremek., (l) *Sindora siamensis* Teijsm. & Miq.



Figure 2 Some species of herbs in Ban Hin Hao community forest, Ban Fang district, Khon Kaen province; (a) *Croton crassifolius* Geisel., (b) *Curcuma singularis* Gagnep., (c) *Dimetra craibiana* Kerr, (d) *Geodorum siamense* Rolfe ex Downie, (e) *Globba siamensis* (Hemsl.) Hemsl., (f) *Iphigenia indica* (L.) A. Gray ex Kunth (g) *Justicia diffusa* Willd., (h) *Sophora exigua* Craib, (i) *Vietnamosasa pusilla* (Chevalier. & A. Camus) Nguyen, (j) *Polyalthia erecta* (Pierre) Finet & Gagnep. (k) *Pseudodracontium harmandii* Engl., (l) *Uraria rotundata* Craib

วิจารณ์และสรุปผล

จากการสำรวจความหลากหลายชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาวพบพืชทั้งหมด 62 วงศ์ 158 สกุล 202 ชนิด ไม่สามารถระบุชื่อวิทยาศาสตร์ได้ 5 ชนิด ได้แก่ *Lepidagathis* sp. (Acanthaceae) และพืชในวงศ์เข็ม (Rubiaceae) ได้แก่ *Mitracarpus* sp. *Richardia* sp. และ *Spermacoce* sp. พืชเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาพรรณพฤกษชาติของประเทศไทย (Flora of Thailand) จึงไม่มีรายงานจำนวนชนิดทั้งหมดที่พบในประเทศไทย ประกอบกับทั้งสองวงศ์มีสมาชิกจำนวนมาก การสำรวจบริเวณประเทศอื่นในพื้นที่ใกล้เคียงพบหลายชนิดที่คล้ายคลึงกันจึงไม่สามารถระบุชนิดที่ถูกต้องได้ สำหรับ *Dioscoria* sp. ซึ่งเป็นพืชแยกเพศ ไม่พบตัวอย่างที่มีดอกในช่วงเวลาสำรวจจึงไม่สามารถระบุชื่อวิทยาศาสตร์ได้

การศึกษครั้งนี้ชาวบ้านในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นพืชอาหารทั้งที่เป็นผักและผลไม้จากป่าเพียง 13 ชนิด น้อยกว่าพื้นที่โคกภูตาคา อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่นที่รายงานไว้ 65 ชนิด¹⁰ เนื่องจากชาวบ้านจะเลือกพืชอาหารที่ให้ผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการ และพืชผักหลายชนิดสามารถหาซื้อได้ง่ายซึ่งสะดวกกว่าการเก็บจากป่า สอดคล้องกับรายงานการใช้ประโยชน์พืชอาหารจากป่าชุมชนบ้านชำผักหนาม อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น³⁰ และป่าชุมชนดอนยาง ตำบลหลักเมือง อำเภอภุมลาลัย จังหวัดกาฬสินธุ์³¹ ซึ่งมีการใช้ประโยชน์พืชจากป่าชุมชนเฉพาะที่บริเวณเป็นผักจำนวน 8 ชนิด และ 3 ชนิด ตามลำดับ

พืชที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าชุมชนเป็นพืชท้องถิ่น 191 ชนิด และเป็นพืชต่างถิ่น 11 ชนิด พืชท้องถิ่นที่พบในพื้นที่ป่าชุมชนพบรายงานเป็นพืชหายาก (rare plant) ของประเทศไทย 2 ชนิด ได้แก่ กระตือขาว (*Globba laeta* K. Larsen) และสัตถุณี^{3, 32} และพบพืชถิ่นเดียวของไทย (endemic plant) 1 ชนิด คือ *Dimetra craibiana* Kerr³³ นอกจากนี้ยังมีปรังป่าอยู่ในบัญชีสิ่งมีชีวิตที่เกือบอยู่ในข่ายใกล้การสูญพันธุ์ (vulnerable species) เนื่องจากการบุกรุกพื้นที่ถิ่นอาศัยเพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและการนำพืชชนิดนี้มาซื้อขายเป็นไม้ประดับ³⁴⁻³⁵ และเขาแกะเป็นกล้วยไม้ที่มีเหลืออยู่ในธรรมชาติตามบัญชีแนบท้ายอนุสัญญาไซเตส (CITES) บัญชีที่ 2³⁶ ซึ่งถูกนำออกจากป่ามาขายและปลูกเป็นไม้ประดับเช่นเดียวกัน ปัจจุบันประชากรกล้วยไม้จึงลดลงอย่างมากและหลายชนิดสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่

พืชต่างถิ่นที่พบในป่าชุมชนบ้านหินฮาวทั้งหมด 11 ชนิด^{5, 37-39} ถูกจัดเป็นพืชต่างถิ่นรุกรานแล้ว (invasive alien plants) 4 ชนิด ได้แก่ แมงลักคา (*Hyptissua veolen* Poit.) ผกากรอง (*Lantana camara* L.) หญ้าจรวงเล็ก (*Pennisetum polystachyon* (L.) Schult.) และสาบเสือ (*Chromolaena odorata* R.M. King & H. Rob.) พืชต่างถิ่นมีแนวโน้มรุกราน 3 ชนิด ได้แก่ ผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.) ผักโขมหนาม (*Amaranthus spinosus* L.) และสาบม่วง (*Praxelis clematidea* (Griseb.) R.M. King & H. Rob.) และพืชต่างถิ่นที่ยังไม่รุกราน ได้แก่ จิงจ้อแดง (*Ipomoea hederifolia* L.) ถั่วสไตโล (*Stylosanthes humilis* Kunth) มะหึ่งเม่น (*Crotalaria pallida* Aiton.) และอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) นอกจากนี้ยังพบพืชต่างชนิดรุกรานแล้วในบริเวณใกล้เคียงอีก 2 ชนิด ได้แก่ กระถินยักษ์ (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) และหญ้าคา (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv) ซึ่งพบได้ตามริมถนนของหมู่บ้านและพื้นที่เกษตรกรรมบางแห่ง สำหรับพืชต่างถิ่นที่พบในป่าชุมชนมีการกระจายพันธุ์บริเวณชายป่าชุมชนซึ่งอาจเป็นผลมาจากกิจกรรมด้านการเกษตรกรรมและการคมนาคมของคนในพื้นที่เนื่องจากบริเวณโดยรอบป่าชุมชนมีการทำถนนกันเพื่อเป็นแนวเขตแบ่งพื้นที่ป่าออกจากพื้นที่ทำการเกษตรและที่อยู่อาศัยเพื่อสะดวกในการจัดการดูแลป่าและป้องกันการรุกรานพื้นที่ป่า แต่ก็ยังสามารถพบหญ้าจรวงเล็กและสาบม่วงกระจายพันธุ์เข้าไปในป่าชุมชนแต่ยังมีจำนวนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพิมพ์ดี³⁷ ซึ่งเสนอให้จัดสาบม่วงไว้ในกลุ่มพืชต่างถิ่นรุกรานแล้วในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2559 ขอขอบคุณนายศุภชัย คำภู ผู้ใหญ่บ้านบ้านหินฮาวและนายบุญหนา ระบุว่า ประชาชนชาวบ้านตัวแทนหมู่บ้านร่วมสำรวจพรรณไม้ในป่าชุมชน และขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโท-เอก สาขาอนุกรมวิธานพืช ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือการตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ของพืชที่สำรวจพบครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 7 กรมป่าไม้. ข้อมูลสารสนเทศป่าไม้, ข้อมูลสารสนเทศป่าชุมชน, สรุปการต่อตั้งป่าชุมชนรายจังหวัด, ขอนแก่น. (เข้าถึงเมื่อ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2559) สืบค้นจาก URL: <http://forest.go.th/55/fComdetail.aspx?id=6532.20>.
- พันธ์ทิวา กระจาย, วิษณุ สายสร, ประนอม จันทโรณทัย, วรพล ดีปราสัย, พิมพิวดี พรพงษ์รุ่งเรือง. ความหลากหลายของพรรณไม้ต้นบริเวณหินช้างสีอุทยานแห่งชาติน้ำพอง อำเภอหนองเรือจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิทยาศาสตร์ มข 2555; 41(4): 945-953.
- สุรพล แสนสุข. พืชถิ่นเดียวและพืชหายากของวงศ์ขิง-ข่าในประเทศไทย. วารสารวิจัย มข 2554; 16(3): 306-330.
- ทวีศักดิ์ ชิตเมธาโรจน์, วีระชัย ณ นคร, สุมน มาสุรน, สมนึก ผ่องอำไพ. การศึกษาสภาพป่าและพรรณพฤกษชาติในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัย มข 2544; 6(2): 16-24.
- ประนอม จันทโรณทัย, วรนาถ ธรรมรงค์, ศกุลตลา นิลแก้ว, วิษณุ สายสร, สุระชัย โภคะมณี. ความหลากหลายชนิดของพืชวงศ์แตงและวงศ์ถั่วในอุทยานแห่งชาติภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย 2559; 8(2): 219-229.
- วรชาติ โตแก้ว. การสำรวจเบื้องต้นของพืชล้มลุกกลุ่มกลีบดอกเชื่อมกันในอุทยานแห่งชาติภูถ้ำกลอง จังหวัดนครพนม. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 2558; 7(13): 79-88.
- วรชาติ โตแก้ว, ปิยะ โมคมูล, ถวิล แสนตรง, วีรนุช วอนแก่นน้อย, กรรณิการ์ ทองดอนเป็รียง. ความหลากหลายชนิดของพรรณไม้ เห็ด และการใช้ประโยชน์ป่าชุมชนบ้านโพนทอง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารพฤกษ-ศาสตร์ไทย 2556; 5(2): 83-98.
- วรชาติ โตแก้ว, วีรนุช วอนแก่นน้อย, ฌภาภัช ไชยน้ำ-อ้อม. ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์จากพืชในป่าชุมชนดอนชาติ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 4; 12-13 มีนาคม 2555. พิษณุโลก: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2555. หน้า 271-275.
- สมหญิง ปู่แก้ว, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ, ธวัชชัย ธาณี. ความหลากหลายชนิดของพรรณไม้และการใช้ประโยชน์ผลผลิตจากป่าในชุมชนโคกใหญ่ อำเภอน้ำพอง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ 2552; 7(1): 36-50.
- อำนวยการ คำตื้อ, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สมยศบุญญสมภพ, พงษ์ศักดิ์ ยั้งยืน, รณรงค์ อยู่เกตุ. ผลไม้ป่าในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พื้นที่โคกภูตากา. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการทรัพยากรไทย: สรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยวพัน. 20-22 ตุลาคม 2548. นครราชสีมา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี; 2549. หน้า 485-499.
- Mokkamul P, Anyapho M, Thongdonpriang K, Kudthalaeng N. Species Diversity of Edible Plants in Forest Temples Areas in Maha Sarakham Province, Northeastern Thailand. In: Proceeding of 4th Science Research Conference. 12-13 March 2012. Phitsanulok: Faculty of Science, Naresuan University; 2012. pp.257-262.
- ปัญญา บุตะกะ. ความสำคัญของปัจจัยในการจัดการป่าชุมชนตามความคิดเห็นของประชาชน: กรณีศึกษาป่าชุมชนดอนเจ้าปู่ ตำบลทรายมูล อำเภอคำชะอี จังหวัดขอนแก่น. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2555; 31(1): 62-72.
- Rachamontree P, Sawangthoung S, Sanapan S, Punseenok A, Chantha N, Jumpaburee W. Diversity of wild edible mushroom in Ban Hin Haw community forest, Ban Phang district, Khon Kaen province. In: Proceeding of the 28th Annual meeting of Thai Society for Biotechnology and International Conference, TSB2016; 28-30 November 2016, Chiang Mai: The Empress Hotel. Chiang Mai. Research Administration Center, Office of the University, Chiang Mai University; 2016. pp.1107-1114.
- ก่องกานดา ชยามฤต. คู่มือการจำแนกพรรณไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ประชาชน; 2545.
- Larsen K, Larsen SS, Vidal JE. Leguminosae-Caesalpinioideae. In: Flora of Thailand. Smitinand T, Larsen K (Editors), Bangkok: The Tistr Press; 1984.

- Vol. 4 part 1, pp.1-129.
16. Nielsen IC. Leguminosae-Mimosoideae. In: Flora of Thailand. Smitinand T, Larsen K (Editors), Bangkok: The Tistr Press; 1985. Vol. 4, part 2, pp.131-222.
 17. Larsen K. Amaranthaceae. In: Flora of Thailand. Smitinand T, Larsen K (Editors), Bangkok: Chutima Press; 1992. Vol. 5 part 4, pp. 375-409.
 18. Simpson DA, Koyama T. Cyperaceae. In: Flora of Thailand. Smitinand T, Larsen K (Editors), Bangkok: Diamond Printing; 1998. Vol. 6 part 4, pp.449-484.
 19. Chayamarit K, van Welzen PC. Euphorbiaceae. In: Flora of Thailand. Santisuk T, Larsen K (Editors), Bangkok: Prachachon; 2005. Vol. 8 part 1, pp.1-103.
 20. van Welzen PC, Chayamarit K. Euphorbiaceae. In: Flora of Thailand. Santisuk T, Larsen K (Editors), Bangkok: Prachachon; 2005. Vol. 8 part 2, pp.305-592.
 21. Wilkin P., Thapyai C. Dioscoreaceae. In: Flora of Thailand. Santisuk T, Larsen K (Editors), Bangkok: Prachachon; 2010. Vol. 10 part 1, pp. 1-140.
 22. Staples G. Convolvulaceae. In: Flora of Thailand. Santisuk T, Larsen K (Editors), Bangkok: Prachachon; 2010. Vol. 10 part 3, pp. 330-468.
 23. Dransfield S. Not on 'Pek' and 'Chote', Member of the Genus *Vietnamosasa* (Poaceae-Bambusoideae) in Thailand. Thai Forest Bulletin (Bot) 2000; 28: 163-176.
 24. Niyomdham C. Key to Genera of Thai Papilionaceous Plant. Thai Forest Bulletin (Bot) 1994; 22: 26-88.
 25. พูนศักดิ์ วัชรกร. ปาล์มและปรงในป่าไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน. 2548.
 26. ไชมอน การ์ดเนอร์, พินดา สิทธสุนทร, วิไลวรรณ อนุสารสุนทร. ต้นไม้เมืองเหนือ, คู่มือศึกษาพรรณไม้ยืนต้นในภาคเหนือ ประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โครงการจัดพิมพ์คปไฟ. 2549.
 27. สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช. รายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม 2557. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2557.
 28. สำนักหอพรรณไม้. สารานุกรมพืชในประเทศไทย (ฉบับย่อ), ว่านทับทิมสยาม. (เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน พ.ศ. 2560) สืบค้นจาก URL: [http://www.dnp.go.th/botany/detail.aspx?wordnamesci=Globba0siamensis0\(Hemsl.\)0Hemsl](http://www.dnp.go.th/botany/detail.aspx?wordnamesci=Globba0siamensis0(Hemsl.)0Hemsl).
 29. วรชาติ โตแก้ว, ประนอม จันทโรทัย. พืชสกุลหางกระรอก (*Uraria* Desv.) ในประเทศไทย. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการการพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2; 26-28 มีนาคม 2551, ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
 30. ฉลวยรัตน์ ภูมิ, อัจฉราภรณ์ ภักดี, ส้าอาจ หอมชื่น. การใช้ประโยชน์ป่าชุมชน: กรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านชำฝักหนาม อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัย มข (บศ.) 2550; 7(3): 30-45.
 31. จตุฎฐาพร เพชรพรหม, ปัญญา หมั่นเก็บ, ชำรงค์ เมฆโหรา. ความหลากหลายของพืชพรรณ การใช้ประโยชน์และมูลค่าทางเศรษฐกิจจากป่าชุมชนตอนล่าง ตำบลหลักเมือง อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2556; 31(2): 37-46.
 32. Pooma R, Suddee S, Chamchumroon V, Koonkuntod N, Phattarahirankanok K, Sirimongkol S, Poopath M. A Preliminary Check-list of Threatened Plants in Thailand. Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Co., Ltd.; 2005.
 33. Kerr AFG. Bulletin of Miscellaneous Information, England: Royal Gardens, Kew; 1938.
 34. Nguyen HT. *Cycas siamensis*, The IUCN Red List of Threatened Species, Version 2014. 1. (เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2559) สืบค้นได้จาก URL: www.iucnredlist.org.
 35. Santisuk T, Chayamarit K, Pooma R, Suddee S. Thailand Red Data: Plants. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning; 2006.
 36. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้. กล้วยไม้ในสวนรวมพรรณไม้ป่า 60 พรรษา มหาราชินี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. อุตรธานี: สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 10 (อุตรธานี). กรม

- อุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช; 2553.
37. พิมพ์ดี พรพงศ์รุ่งเรือง. พืชวงศ์ทานตะวันในประเทศไทยกับการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย 2555; 4(1): 25-46.
38. โสไมวรรณ สุขประเสริฐ, อนุสรฯ ทองเอี่ยม. ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นในประเทศไทย. กลไกเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารความหลากหลายทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักความหลากหลายทางชีวภาพ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2552.
39. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มาตรการป้องกัน ควบคุม และกำจัดชนิดพันธุ์ต่างถิ่น. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2552.

ศักยภาพการทนเค็มของไม้ยืนต้นบางชนิด

Potential for Salinity Tolerance of some Perennial Plants

สุพัตรา สารแสน¹, สกุนกันต์ สิมลา^{2*}, สุรศักดิ์ บุญแดง², เบ็ญจพร กุลนิตย์²

Suputra Sarasaen¹, Sakunkan Simla², Surasak Boontang², Benjaporn Kunlanit²

Received: 19 May 2017; Accepted: 22 August 2017

บทคัดย่อ

การปลูกพืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ เป็นวิธีการแก้ไขพื้นที่ดินเค็มให้กลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชได้ จึงมีการศึกษาหาชนิดของพืชที่สามารถปลูกในพื้นที่ดินเค็ม และหาระดับของความเค็มที่พืชชนิดนั้นๆ ทนได้ ผลจากการศึกษาในไม้ยืนต้น 9 ชนิด ได้แก่ มะนาวโห่ ฝรั่ง ทับทิม หม่อน พุทรา มะขาม ฝรั่ง สับจ่า และยูคาลิปตัส พบว่าสามารถแบ่งศักยภาพการทนเค็มได้ 4 ระดับ คือ พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มน้อย ได้แก่ ฝรั่ง และหม่อน พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มปานกลาง ได้แก่ ทับทิม พุทรา และมะขาม พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มมาก ได้แก่ มะนาวโห่ สับจ่า และยูคาลิปตัส และพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มจัด ได้แก่ ฝรั่ง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวนี้นี้สามารถใช้เป็นทางเลือกที่ทำให้เกษตรกรทราบชนิดของพืชที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่เกษตรกรมีอยู่ และนำไปสู่การตัดสินใจเลือกชนิดพืชที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความเค็มได้อย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: ดินเค็ม น้ำทะเล พืชทนเค็ม พืชชอบเกลือ พืชดินกร่อย

Abstract

Growing salt-tolerant or salt-preference crops is a good way to rehabilitation saline soils in crop production. We studied the types of plants that can be grown in saline soils and investigated the level of salinity that the plant could tolerate. Results from the studies of nine perennial tree species comprising karandas, grape, pomegranate, mulberry, jujube, tamarind, guava, physic nut and eucalyptus indicated that the salinity tolerance of the nine species could be divided into 4 levels of salinity. First, low salt tolerant plants; guava and mulberry. Second, moderate salt tolerant plants; pomegranate, jujube and tamarind. Third, high salt tolerant plants; karandas, physic nut and eucalyptus. Fourth, extreme salt tolerant plants; grape. The results of this study can be used as an alternative way for farmers to know the type of plant suitable for their area and assist the decision to choose the proper type of plant to be grown in a saline area.

Keywords: saline soil, salt water, salt tolerance, halophyte, glycophytes

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ²อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master Degree Student, ²Lecturer of Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150

* Corresponding author: Sakunkan Simla, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150 E-mail: sakunkans@gmail.com, sakunkan.s@msu.ac.th

บทนำ

ดินเค็มเป็นดินที่มีปริมาณเกลือสูง เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือพื้นที่ชุ่มชื้น ทั้งในเขตชลประทาน และเขตอาศัยน้ำฝน¹ โครงการสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ ระบุว่า พื้นที่ดินเค็มมีประมาณ 20% ของพื้นที่ทางการเกษตร และประมาณ 50% ของพื้นที่เพาะปลูกทั่วโลก² ดินเค็มในประเทศไทยพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และพื้นที่ชายทะเล มีพื้นที่ประมาณ 21.7 ล้านไร่³ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาดินเค็มมากที่สุด ประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งภาค คือ 17.8 ล้านไร่ และพื้นที่มีศักยภาพในการแพร่เกลืออีก 19.4 ล้านไร่⁴ และยิ่งไปกว่านั้น พื้นที่ดินเค็มมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกปี² ในทางกายภาพแล้วพื้นที่ดินเค็มมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีการสูญเสียอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพืช ผลกระทบของดินเค็มที่มีต่อพืชมี 2 ประการ คือ 1) ความเค็มของดิน มีผลต่อการดูดน้ำของพืช โดยต้องเพิ่มแรงดึงดูดจากความเข้มข้นที่ต่างกัน (Osmotic pressure) ของสารละลายดิน ทำให้พืชแสดงอาการขาดน้ำ การเจริญเติบโตของพืชลดลง หรืออาจตายไป และ 2) เกิดมีธาตุบางชนิดในดินเค็มที่เป็นพิษแก่พืชโดยตรง หรือทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร เนื่องจากมีโซเดียม (Na) โบรอน (B) คลอไรด์ (Cl) หรือคาร์บอเนต (CO₃) มากเกินไป ผลกระทบทางอ้อมกับพืช คือ เกลือเข้าทำลายโครงสร้างของดิน ทำให้การซึมของน้ำในดินช้าลง คุณสมบัติทางกายภาพของดินเลวลง และยังทำให้คุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป⁵ จะเห็นได้ว่าปัญหาดินเค็มมีผลกระทบต่อเกษตรกร ทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพของพืชลดลง และพืชที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจต้องตายในที่สุด

การแก้ไขพื้นที่ดินเค็มให้กลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจได้ ด้วยวิธีการลดระดับความเค็มดินลง และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินด้วยวิธีการต่างๆ นั้น ต้องลงทุนสูงและใช้เวลานาน⁶ แต่ยังมีอีกทางเลือกที่เกษตรกรที่มีพื้นที่ดินเค็มสามารถฟื้นฟูสภาพเสื่อมโทรมของพื้นที่ได้เอง ด้วยวิธีการไม่ยุ่งยาก โดยควรใช้ประโยชน์พื้นที่ดินเค็มตามสภาพที่เป็นอยู่ ไม่ปล่อยให้พื้นที่ดินว่างเปล่า ด้วยการคลุมดิน หรือมีการเพิ่มผลผลิตพืชโดยเปลี่ยนเป็นพืชที่เหมาะสมกับระดับความเค็มและสภาพพื้นที่ ได้แก่ การปลูกพืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ⁵ ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามที่จะศึกษาหาชนิดของพืชที่สามารถปลูกในพื้นที่ดินเค็ม และหาระดับของความเค็มที่พืชชนิดนั้นๆ ทนได้ เช่น การศึกษาในมะนาวโห่⁽⁷⁾ องุ่น⁸⁻¹⁰ ทับทิม¹¹⁻¹³ หม่อน¹⁴ พุทรา¹⁵ มะขาม¹⁶ ฝรั่ง¹⁷⁻¹⁸ สับปะรด¹⁹ ยูคาลิปตัส²⁰ เป็นต้น

ผลการศึกษาดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกที่ทำให้เกษตรกรทราบชนิดของพืชที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่เกษตรกรมีอยู่ เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็มต่อไป ดังนั้นจึงได้มีการรวบรวมเอกสารเพื่อให้ทราบแนวทางการจัดการดินเค็ม และใช้ประโยชน์จากพื้นที่ที่มีความเค็ม เพื่อที่จะสามารถนำไปสู่การตัดสินใจเลือกชนิดพืชที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความเค็มได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ดินเค็ม

ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไป มีกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้พืชตายได้ เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช พืชเกิดอาการขาดน้ำและมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไป โดยทั่วไปจะใช้วิธีการวัดความเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดิน ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 2 เดซิซีเมนเมตร (decisemen/meter: dS/m) ที่อุณหภูมิ 25°C และสมาคมปฐพีศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดขอบเขตของดินเค็มไว้โดยพิจารณาระดับความเค็มที่วัดจากค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity: EC) อัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ (sodium adsorption ratio: SAR) ที่วัดจากสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH)²¹

การจำแนกดินเค็ม

การจำแนกดินเค็มมีหลายระบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานในแต่ละประเทศ โดยในประเทศไทยนิยมจำแนกดินเค็มตามคุณสมบัติทางเคมี แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (Table 1)²¹ ได้แก่

1. **ดินเค็ม (saline soil)** หมายถึง ดินที่มีเกลือละลายได้ในดินมากเกินไป จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
2. **ดินโซดิก (sodic soil)** หมายถึง ดินที่มีโซเดียมแลกเปลี่ยนได้มาก จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
3. **ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil)** หมายถึง ดินที่มีเกลือละลายได้ และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

Table 1 Classification of saline soil by chemical properties²²

Soil Type	Electrical Conductivity (dS/m)	Soil pH	Exchangeable Sodium Percentage (%)	Sodium Adsorption Ratio
Saline soil	>2	<8.5	<15	<13
Sodic soil	<2	>8.5	>15	>13
Saline sodic soil	>2	>8.5	>15	>13

นอกจากนี้ยังมีการจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช สามารถจำแนกได้ 4 ระดับ คือ ดินไม่เค็ม ดินเค็มน้อย ดินเค็มปานกลาง ดินเค็มมาก และดินเค็มจัด (Table 2)

Table 2 Classification of salinity effects on plants^{2,23}

Salinity Level	Electrical Conductivity (dS/m)	Salt Percentage in Soil (%)	Plant Response
Non saline soil	< 2	< 0.1	No effect on plants
Low saline soil	2-4	0.1-0.2	Effect on growth of non-salt tolerant plants
Moderate soil salinity	4-8	0.2-0.4	Effect on growth of several plants
High soil salinity	8-15	0.4-0.8	Only salt tolerant plants grow and produce
Extreme soil salinity	> 15	>0.8	High salt tolerant plants grow and produce

สาเหตุของการเกิดดินเค็ม มี 2 ประการ²⁴ คือ

1. มาจากการแพร่ของน้ำเค็มจากทะเลหรือน้ำเค็มใต้ดิน เช่น ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. มาจากพาหะที่พาเกลือแพร่กระจายไปสู่ที่ต่างๆ เช่น มนุษย์ ลม และ น้ำ

สำหรับในประเทศไทยมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ ลักษณะของดินเค็มที่สังเกตได้ชัดเจนจะเห็นขุยเกลือขึ้นตามผิวดิน

การวัดค่าความเค็มดิน

โดยทั่วไปใช้วิธีวัดจากค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าของความเค็มขึ้นอยู่กับปริมาณหรือความเข้มข้นของเกลือที่ละลายได้ นิยมวัดจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) เพื่อความสะดวกและรวดเร็วอาจใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 แต่ต้องมีการระบุอัตราส่วนนี้ไว้ด้วย นอกจากความเข้มข้นของเกลือที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าแล้ว อุณหภูมิก็มีผลเช่นเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิระหว่าง 15-30°C จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2% ต่ออุณหภูมิ 1°C ดังนั้นการวัดความเค็มด้วยวิธีการวัดจากค่าการนำไฟฟ้าจึงใช้ค่าที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเกณฑ์²¹

หน่วยของความเค็ม

ค่าของความเค็มที่วัดได้เรียกว่า EC ซึ่งมีหน่วยเป็น เดซิซิเมนต่อเมตร (desi Siemen/meter, dS/m) หรือมิลลิโหม์/เซนติเมตร (millimoh/centimeter, mmho/cm) โดย 1000 μ S/cm มีค่าเท่ากับ 1 dS/m เท่ากับ 1 mS/cm หรือเท่ากับ 640 ppm โดยค่า EC_e ที่ 4 dS/m มีค่าเท่ากับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 40 mM²⁵

แนวทางการแก้ปัญหาความเค็ม

วิธีการป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มเพิ่มมากขึ้นต้องพิจารณาจากสาเหตุการเกิด ดำเนินการได้โดยวิธีการทางวิศวกรรม วิธีทางชีววิทยา และวิธีผสมผสานระหว่างทั้ง 2 วิธี⁽⁵⁾ ดังนี้

1. **วิธีทางวิศวกรรม** ต้องมีการออกแบบพิจารณาเพื่อลดหรือตัดกระแสการไหลของน้ำใต้ดินให้อยู่ในสมดุลของธรรมชาติมากที่สุด ไม่ให้มีการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ลุ่ม
2. **วิธีทางชีววิทยา** โดยใช้วิธีการทางพืช เช่น การปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็ม มีการกำหนดพื้นที่รับน้ำที่จะปลูกป่า ปลูกไม้ยืนต้น หรือไม้โตเร็ว มีรากลึกใช้น้ำมากบนพื้นที่รับน้ำที่กำหนด เพื่อทำให้เกิดสมดุลการใช้น้ำบนดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่ สามารถแก้ไขลดความเค็มของดินในพื้นที่ลุ่มที่เป็นพื้นที่ให้น้ำได้

3. **วิธีผสมผสาน** การแก้ไขลดระดับความเค็มของดินลงให้สามารถปลูกพืชได้ โดยการใช้น้ำชะล้างเกลือจากดิน และการปรับปรุงดิน ดินที่มีเกลืออยู่สามารถกำจัดออกไปได้โดยการชะล้างด้วยน้ำ การให้น้ำสำหรับล้างดินมีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบขังน้ำเป็นช่วงเวลา แบบต่อเนื่อง วิธีนี้ใช้เวลาในการแก้ไขดินเค็มได้รวดเร็วกว่าแต่ต้องใช้ปริมาณน้ำมาก ส่วนแบบขังน้ำต้องใช้เวลาในการแก้ไขดินเค็มนานกว่าแต่ประหยัดน้ำ นอกจากนี้ควรมีการใช้พื้นที่ดินเค็มให้เกิดประโยชน์ตามสภาพที่เป็นอยู่ ไม่ปล่อยให้พื้นที่ดินว่างเปล่า ด้วยการคลุมดินหรือมีการเพิ่มผลผลิตพืชโดยเปลี่ยนเป็นพืชที่เหมาะสม เช่น พืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ

การทนเค็มของพืช

การทนเค็มของพืช หมายถึง ความสามารถของพืชที่จะทนต่อเกลือในปริมาณมากบริเวณรากพืช พืชต่างชนิดกัน

มีความสามารถในการทนเค็มต่างกัน มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการทนเค็มของพืช เช่น ชนิดของเกลือ สภาพฟ้าอากาศ สภาพของดิน และอายุพืช ส่วนใหญ่พืชมีผลผลิตลดลงเมื่อสารละลายดินมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 2 dS/m พืชบางชนิดทนเค็มได้ถึง 4-8 dS/m แต่เมื่อระดับความเค็มสูงถึง 15 dS/m พืชเกือบทุกชนิดแสดงอาการที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง²⁶ เมื่อพืชไม่ทนเค็มหรือทนเค็มน้อยได้รับผลกระทบจากความเค็มจะแสดงอาการคล้ายกับการที่พืชขาดน้ำ เช่น ชะงักการเจริญเติบโต พืชมีขนาดเล็กกว่าพืชที่ปลูกในดินธรรมดา แต่จะไม่แสดงอาการผิดปกติทางใบ ใบห่อลงเพื่อลดการคายน้ำทางปากใบ พืชบางชนิดอาจมีสีเขียวเข้มแกมน้ำเงิน (bluish green) มากกว่าพืชที่ขึ้นในดินปกติที่ปลูกในสภาพคล้ายคลึงกัน สีของใบพืชเปลี่ยนเป็นสีเข้มกว่าเนื่องจากใบมีคลอโรฟิลล์มากและมีสารเคลือบใบ (cuticle) หนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในบางครั้งอาจพบอาการปลายใบไหม้ (tip burn) เกิดจุดประ (mottles) บนใบ ใบม้วนและใบเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปลายใบและขอบใบแห้งกรอบ การทนเค็มในช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็แตกต่างกัน ผันแปรไปตามระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ตั้งออกจนกระทั่งสุกแก่ และอาจผันแปรตามระยะของการพัฒนาด้วย พืชที่ปลูกส่วนใหญ่ได้รับความเสียหายตั้งแต่ระยะงอกหรือในการเจริญเติบโตช่วงแรก ทำให้พืชขึ้นไม่ได้หรือเกิดเป็นหย่อมๆ ในแปลงปลูก เมื่อพ้นระยะกล้าไปแล้วพืชจะทนเค็มได้ดีขึ้น⁶

การจำแนกพืชทนเค็ม

พืชเป็นดัชนีบอกสภาพความเค็มของดินได้ พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนเค็มได้ต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาพที่มีความเค็มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชจะลดลงเนื่องจากพืชนำพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตมาปรับตัวต่อสภาพความเครียดต่อสโมติกที่เกิดขึ้น สามารถจำแนกพืชออกได้เป็น 3 จำพวก^{6,23} คือ

พืชทนเค็ม (salt tolerance) ได้แก่ พืชที่มีความสามารถเจริญเติบโตได้ครบวงจรชีวิตในสภาพเค็ม เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตและผลผลิตจะลดลง ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พืชมีความสามารถในการทนเค็มแตกต่างกัน พืชหลายชนิดมีความอ่อนแอในระยะงอกซึ่งงอกได้ดีในสภาพที่มีความเค็มน้อยกว่า พืชทนเค็มส่วนมากจะมีความทนทานต่อความเค็มสูงในระยะการเจริญเติบโตได้มากกว่าระยะอื่น

พืชชอบเกลือ (halophyte) ได้แก่ พืชที่สามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับสูง รอดตายได้มากกว่า 75% ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride: NaCl)

540 mol/m³ (40 ppt) หรือในสารละลายที่มีเกลือมากกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ *mihalophyte* เจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับน้ำกร่อย และ *euhalophyte* เจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับน้ำทะเล พืชพวกนี้ดูดเกลือเข้ามาสะสมในต้นเพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ ทำให้สามารถดูดน้ำจากดินได้

พืชดินกร่อย (glycophytes) ได้แก่ พืชที่ไม่ได้เกิดในสภาพเค็ม แต่มีกลไกที่พัฒนาให้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพเค็ม รอดตายได้มากกว่า 75% ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 180 mol/m³ (10 ppt) หรือในน้ำกร่อย พืชพวกนี้ไม่สะสมเกลือในต้น แต่จะผลิตน้ำตาลหรือกรดอินทรีย์บางชนิดขึ้นมาเพื่อเพิ่มความเข้มข้นในเซลล์ของราก ซึ่งต้องใช้พลังงานมาก ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง

กลไกการทนเค็มของพืช

พืชที่ขึ้นได้ในดินเค็มต้องมีกลไกบางอย่างเพื่อบรรเทาความเป็นพิษของเกลือ อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

- 1) การไม่ดูดเกลือเข้าไป** พืชที่จัดอยู่ในประเภทที่ไม่ดูดเกลือเข้าไป หรือการหลีกเลี่ยงหรือการหนีความเค็ม พืชจะพยายามปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพดินเค็ม ได้แก่ การปรับระบบโครงสร้างของรากให้แผ่กระจายไปยังจุดที่เค็มน้อยกว่า หรือปรับตัวเองให้มีการออกดอกช้าหรือเร็วกว่าปกติ เพื่อหนีช่วงที่เค็มจัดหรืออาจมีการพินตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่ความเค็มลดลง
- 2) การดูดเกลือเข้าไปแล้วสะสมเอาไว้** สำหรับพืชทนเค็มประเภทที่ดูดเกลือเข้าไป เมื่อดูดเกลือเข้าไปอาจจะนำไปสะสมอยู่ในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช เช่น สะสมในแวคิวโอล เพิ่มความหนาของใบ มีกลไกอวบน้ำ เพิ่มปริมาณของน้ำในเซลล์เพื่อให้ความเข้มข้นของเกลือลดลง เพิ่มความเครียดของปากใบ ใบมีขนาดเล็กลงเพื่อให้คายน้ำน้อยลง นอกจากนี้มีการเลือกดูดธาตุโพแทสเซียมเข้าไปมากขึ้นหรือดูดธาตุโซเดียมน้อยลง มีการขนย้ายธาตุโซเดียมจากใบอ่อนไปใบแก่หรือสามารถสะสมธาตุโซเดียมไว้ตามลำต้น และราก เป็นต้น
- 3) การคายเกลือออกมา** พืชบางประเภทมีต่อมเกลือ (salt gland) เพื่อคายเกลือออกมาได้²³

ผลของความเค็มที่มีต่อพืช

พืชที่ขึ้นในดินเค็มโดยมากมักตายเป็นหย่อมๆ ต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตของพืชที่อยู่ในแปลงไม่สม่ำเสมอ อากาศที่พบส่วนใหญ่คือมีขนาดเล็กและใบมีสีเขียวเข้มกว่าปกติ ใบหนาหรืออวบน้ำ ใบกรอบกระด้าง ใบไหม้จากปลายใบมายังโคนใบ และใบแก่ไหม้ก่อนใบอ่อน²³ พืชที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็มจะเกิดสภาวะเครียดเกลือ 3 รูปแบบ² คือ

1) **ความเครียดออสโมติก** เมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียม (sodium: Na⁺) จะเกิดการแข่งกันกับโพแทสเซียม (potassium: K⁺) ในการเข้าสู่รากพืช ทำให้พืชได้รับ K⁺ ลดลง ซึ่งส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจาก K⁺ มีผลต่อแรงดันเต่งในเซลล์พืชและการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ดังนั้นพืชจึงพยายามรักษาระดับของ K⁺ ให้สูง และควบคุมปริมาณ Na⁺ ให้ต่ำในไซโทพลาสซึม นอกจากนี้ดินเค็มยังส่งผลให้ค่าชลศักย์ (water potential) ในดินลดลง และทำให้ค่าความดันออสโมซิสเพิ่มขึ้นจากการที่มีไอออนในดินสูง ทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยลงและลดแรงดันเต่งของเซลล์พืช การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง ผลผลิตของพืชก็ลดลงด้วย

2) **ความเครียดจากการสะสมไอออนที่เป็นพิษ** พืชจำเป็นต้องรักษาสมดุลไอออน โดยเซลล์จะสะสมไอออนที่จำเป็นและกำจัดไอออนที่เป็นพิษเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ได้รับอันตราย ในสภาวะเครียดเกลือสัดส่วนระหว่าง K⁺/Na⁺ ในไซโทพลาสซึมยิ่งมีความสำคัญมาก ปกติในเซลล์พืชจะมีปริมาณ K⁺ สูง (100-200 mM) ปริมาณ Na⁺ ต่ำ (1-10 mM) ดังนั้นพืชจึงพยายามกำจัด Na⁺ ที่มากเกินไปออกจากไซโทพลาสซึมเพื่อทำให้ K⁺/Na⁺ สูงขึ้น

3) **ความเครียดที่เกิดจากการสร้างและสะสมสารอนุมูลอิสระ** เมื่อพืชเครียดจะชักนำให้เกิดการสร้างสารอนุมูลอิสระ เช่น superoxide radicals (O₂⁻), hydrogen peroxide (H₂O₂) และ hydroxyl radicals (OH⁻) ซึ่งจะทำลายส่วนต่างๆ ของเซลล์ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมันบริเวณต่างๆ เช่น เยื่อหุ้มเซลล์

นอกจากความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโตและผลผลิตแล้ว ความเค็มยังมีผลทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ ถึงแม้มีน้ำเพียงพอ แต่พืชดูดไปใช้ไม่ได้เนื่องจากมีแรงดันออสโมติกที่ผันแปรตามความเค็ม ถ้าความเค็มสูงขึ้นแรงดันออสโมติกก็สูงด้วย พืชก็ดูดน้ำได้น้อยลง ผลกระทบอีกประการหนึ่งคือ เกิดความเป็นพิษของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเกลือที่ละลายออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุโซเดียมและคลอไรด์ นอกจากนี้ธาตุโซเดียมยังมีผลทำให้โครงสร้างของดินเลว ดินแน่น และรากพืชชอนไชได้ยาก²³

ศักยภาพการทนเค็มในไม้ยืนต้นบางชนิด

ความเค็มมีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืชลดลง การใช้พืชทนเค็มจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ และเป็นวิธีการที่เกษตรกรยอมรับและนำไปใช้ได้ ดังนั้นการวิจัยพืชทนเค็มจึงมีความสำคัญเพื่อหาพืชที่เหมาะสมและทนเค็มได้สูงที่มีศักยภาพในอนาคตนั้นคือให้ผลตอบแทนสูงด้วย พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มที่รวบรวมได้

มีรายละเอียดดังนี้

มะนาวไห้ (*Carissa carandas* L.)

เป็นพืชปลูกง่ายทนต่อสภาพแล้ง มีประโยชน์และสรรพคุณต่างๆ มากมาย เพื่อเพิ่มรูปแบบในการผลิตมะนาวไห้ให้มีความหลากหลายมากขึ้น จึงมีการศึกษาผลการใช้น้ำเค็มต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพในการให้ผลผลิตของมะนาวไห้ โดยมีการให้น้ำกับพืช 3 รูปแบบ คือ การให้น้ำประปา (EC_{iw} = 0.6 dS/m) การให้น้ำทะเลที่ความเข้มข้น 0.6% (EC_{iw} = 10 dS/m) และ 0.8% (EC_{iw} = 13 dS/m) พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสูงต้นและปริมาตรทรงพุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความสูงต้นเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนที่ 6 หลังจากใช้น้ำเค็ม ส่วนปริมาตรทรงพุ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการให้น้ำเค็มนาน 12 เดือน (Figure 1)

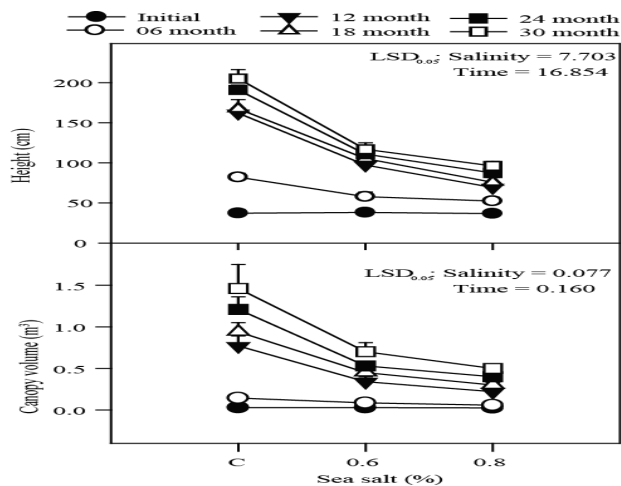


Figure 1 Vegetative growth in terms of height and canopy volume of *C. carandas* growing under different saline treatments for 30 months (June, 2009 to December, 2011)⁷

ในส่วนปริมาณของคลอโรฟิลล์ a และ b ในใบ อัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ a ต่อ b และอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ พบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มมากขึ้นทำให้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์กลับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้น้ำทะเลที่ 0.6% (Figure 2)

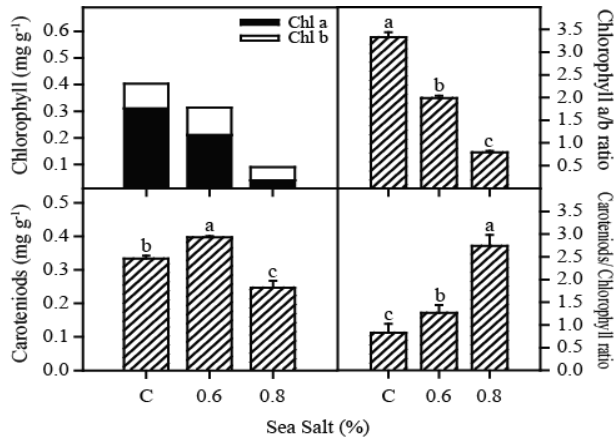


Figure 2 Chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids contents of *C. carandas* growing under salinities created by irrigation of different dilutions of sea salt. Significance among the treatments was recorded at $p < 0.05$ ⁽⁷⁾

ในส่วนของคุณภาพของน้ำตาล และโปรตีนก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เมื่อมีความเค็มมากขึ้นทำให้มีปริมาณลดลง ในขณะที่สารประกอบฟีนอลกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น (Figure 3)

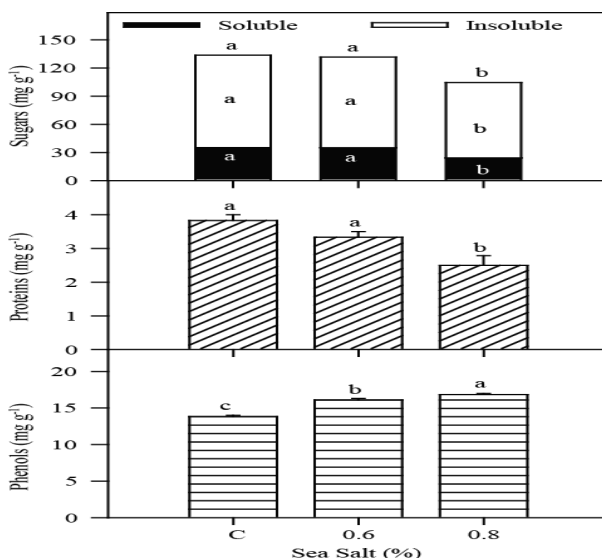


Figure 3 Total protein, sugars and phenolic contents of *C. carandas* growing under salinities created by irrigation of different dilutions of sea salt. Significance among the treatments was recorded at $p < 0.05$.⁷

และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้นทำให้จำนวนดอกและผลต่อต้น น้ำหนักผลต่อต้น (สดและแห้ง)

และขนาดผล (ความกว้างและความยาว) ลดลง ในขณะที่มีการหลุดร่วงของดอกเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ⁷ (Figure 4)

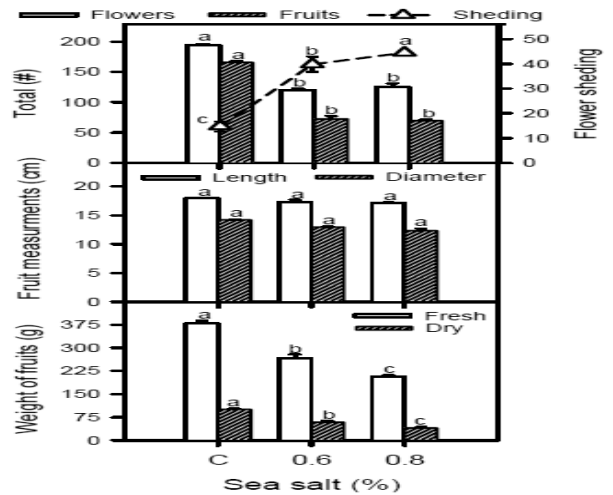


Figure 4 Reproductive growth in terms of flowers and fruits numbers, flower shedding, length, diameter, fresh and dry weight of fruits of *C. carandas* growing under different salinity treatments. Significance among the treatments was recorded at $p < 0.05$ ⁷

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการให้ผลผลิตของมะนาวโห่มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีผลผลิตอยู่มากกว่า 60% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามะนาวโห่เป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้

องุ่น (*Vitis vinifera* L.)

องุ่นเขียวมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น catechin และ petrostilbene ส่วนในองุ่นแดงมี resveratrol ที่สามารถช่วยป้องกันมะเร็ง และยังมีสาร saponin ซึ่งเป็นสารช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด นอกจากนี้ยังมีสาร ฟลาโวนอยด์ที่ช่วยเพิ่มระดับไขมันดี (HDL) ที่มีสาร polyphenols ที่เป็นตัวลดระดับไขมันเลว (LDL) และมีสาร anthocyanin ช่วยชะลอความแก่และควบคุมการทำงานของระบบประสาท²⁷ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตองุ่น จึงได้มีการศึกษาผลของความเค็มต่อสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาในองุ่น 2 สายพันธุ์ที่ความเค็ม 6 ระดับ คือ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 mM พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นทำให้ความสูง น้ำหนักสด และแห้งของลำต้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ b อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการหายใจ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) โดยองุ่นทั้งสองสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเค็มต่างกัน องุ่นสายพันธุ์ Soltanin ตอบสนองดีกว่าองุ่นสายพันธุ์ Fakhri แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์

Soltanin มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้มากกว่า⁹

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของระดับความเค็ม 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75 และ 100 mM ในองุ่นไร้มล็ด 2 สายพันธุ์ คือ Askari และ Yaghubi พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นความยาวต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งใบ น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ขององุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณโพรลีน และปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 4) โดยพันธุ์ Yaghubi มีความสามารถในการทนความเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ Askari ในส่วนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและพันธุ์ พบว่า ในองุ่นทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อมีระดับความเค็มเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง แต่มีปริมาณโพรลีน และปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น¹⁰ การตอบสนองของลักษณะเช่นนี้ยังพบในการศึกษาของ Mohammadkhani et al. ที่ศึกษาการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตขององุ่นรับประทานสด 2 พันธุ์ คือ Shirazi และ Gharashani ภายใต้สภาวะความเค็มที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 4 ระดับ คือ 0, 25, 50 และ 100 mM พบว่าเมื่อความเค็มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความยาวและน้ำหนักแห้งราก ความยาวและน้ำหนักแห้งยอด และจำนวนและขนาดใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ⁹

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตขององุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยองุ่นเป็นพืชที่มีกลไกการปรับตัวต่อสภาพเค็มด้วยการสร้างสารโพรลีน ซึ่งเป็นสาร osmoprotectants ทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลของน้ำและแรงดันออสโมติกภายในเซลล์กับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดแรงดันออสโมติก และส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ภายใต้ภาวะที่มีความเครียดจากเกลือ²⁸ และยังมีการสร้างปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นภายในเซลล์ให้สูงขึ้น ทำให้รากพืชสามารถดูดน้ำเข้ามาใช้ประโยชน์ได้ แสดงให้เห็นว่าองุ่นเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้มากในระดับหนึ่ง

ทับทิม (*Punica granatum* L.)

เป็นผลไม้เพื่อสุขภาพ มีประโยชน์และสรรพคุณมากมาย มีวิตามินซีและเกลือแร่ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคได้²⁹ เพื่อศึกษาความสามารถในการทนเค็มของทับทิม จึงมีการทดสอบในทับทิม 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Wonderful และพันธุ์ Manfalouty ต่อสภาวะความเค็มภายใต้ระบบไฮโดร-โปนิคส์ ที่ระดับความเค็ม 6 ระดับ คือ 500, 750, 1,000, 1,250, 1,500 และ 1,750 ppm พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ทำให้ความยาวยอด และพื้นที่ใบของทับทิม 2 สายพันธุ์ ทั้งในปี 2014 และ 2015 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความเข้มข้น 1,250 ppm เป็นระดับที่เริ่มทำให้ความยาวยอดและพื้นที่ใบลดลงอย่างเห็นได้ชัด (Table 5) โดยสายพันธุ์ Wonderful มีศักยภาพในการทนเค็มดีกว่าสายพันธุ์ Manfalouty¹³

Table 3 Effect of salinity and cultivar on different characteristics of grape⁸

Salinity Levels	Cultivar	Height (cm)	Stem		Stem Dry Weight (g)	Proline (mg/g)	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Photosynthesis ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{/s}$)	Transpiration Rate ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{/s}$)	RWC (%)
			Fresh Weight (g)	Dry Weight (g)							
0 NaCl	Soltanin	21.5 a	75.4 a	21.5 a	16.2 f	6.1 a	4.8 a	9.8 a	0.49 a	a	98 a
	Fakhri	19.3 b	65.2 b	17.1 b	15.3 g	5.8 b	3.5 b	8.7 b	0.38 b	b	82 ab
50 mM	Soltanin	19.1 b	65.3 b	17.2 b	18.6 e	5.1 b	3.6 b	8.2 c	0.38 c	c	78 b
	Fakhri	15.2 c	56.2 c	14.2 c	17.2 f	4.6 c	3.8 c	6.8 d	0.29 c	d	61 b
100 mM	Soltanin	15.2 c	55.2 c	11.6 d	26.6 d	4.0 c	3.2 c	7.2 d	0.30 c	d	69 bc
	Fakhri	13.3 d	46.1 d	11.2 e	24.4 e	3.4 d	2.7 d	6.2 e	0.26 d	e	56 d
150 mM	Soltanin	12.4 d	48.6 d	9.6 e	28.4 c	3.1 d	2.6 d	5.1 f	0.26 d	f	58 e
	Fakhri	11.3 e	36.2 e	9.2 f	27.2 c	2.8 e	2.5 e	4.8 g	0.20 e	g	46 e
200 mM	Soltanin	11.2 e	36.1 e	8.2 g	32.2 b	2.1 e	2.1 e	3.1 g	0.20 e	g	42 g
	Fakhri	10.6 ef	35.1 f	7.4 g	31.1 b	1.9 f	2.0 f	2.8 h	0.16 f	h	34 f
250 mM	Soltanin	6.8 f	26.8 f	7.1 g	36.8 a	1.9 f	1.4 f	1.1 h	0.18 f	h	30 g
	Fakhri	5.4 f	25.1 f	6.1 i	35.4 a	1.6 f	1.3 f	1.0 h	0.14 g	h	26 h

Table 4 Mean comparison of traits related to effect of salinity levels on measured traits¹⁰

Treatments	Stem length (cm)	Leaf number	Leaf area (cm^2)	Fresh weight leaf (g)		Dry weight leaf (g)		Root dry weight (g)		Relative water content (%)		Chlorophyll (SPAD unit)	Proline ($\mu\text{mol/gFW}$)		Sugar soluble (mg/gFW)	
				Fresh weight leaf (g)	Dry weight leaf (g)	Fresh weight leaf (g)	Dry weight leaf (g)	Root dry weight (g)	Relative water content (%)	Chlorophyll (SPAD unit)	Proline ($\mu\text{mol/gFW}$)		Sugar soluble (mg/gFW)			
Salinity Levels																
0 mM	1.99 a	11.83 a	568.30 a	149.10 a	73.11 a	72.08 a	79.60 a	25.45 a	1.82 e	33.35 e						
25 mM	1.45 b	10.83 b	547.30 a	134.80 b	63.17 b	64.27 b	73.52 b	23.43 b	2.34 d	41.02 d						
50 mM	1.32 c	7.16 c	532.00 ab	118.70 c	54.82 c	61.25 c	69.22 c	18.95 c	3.82 c	50.57 c						
75 mM	1.28 c	6.33 d	505.50 b	97.80 d	38.47 d	49.40 d	59.00 d	15.82 d	7.74 b	61.18 b						
100 mM	1.00 d	5.00 e	501.80 b	71.05 e	29.38 e	43.97 e	42.72 e	15.15 e	11.62 a	71.21 a						
Cultivars																
Yaghuati	1.45 a	9.00 a	530.39 a	116.66 a	59.58 a	67.57 a	60.21 a	22.07 a	6.00 a	55.91 a						
Askari	1.36 b	7.47 b	531.53 a	111.91 b	43.91 b	48.82 b	49.41 b	11.45 b	4.95 b	48.22 b						

Table 5 Effect of salinity level on the main shoot length (cm) and leaf area of Wonderful and Manfalouty pomegranate cultivars grown hydroponically¹³

Salinity Level (B)	Shoot Length (cm)						Leaf Area (cm ²)					
	2014			2015			2014			2015		
	Wonderful	Manfalouty	Mean B	Wonderful	Manfalouty	Mean B	Wonderful	Manfalouty	Mean B	Wonderful	Manfalouty	Mean B
500 ppm	109.8 ab	115.3 a	112.5 a	103.9 a	107.5 a	105.7 a	12.7 ab	12.9 a	12.8 a	11.4 a	12.1 a	11.8 a
750 ppm	107.2 ab	102.1 ab	104.7 ab	101.4 ab	102.3 ab	101.4 a	12.6 ab	12.8 a	12.7 a	11.8 a	11.4 a	11.6 a
1,000 ppm	104.7 ab	99.3 b	102.0 b	88.5 b	82.9 bc	85.7 b	11.6 ab	11.2 bc	11.4 b	10.7 ab	10.2 ab	10.5 b
1,250 ppm	100.3 b	78.6 c	89.5 c	82.9 bc	70.8 c	76.9 b	11.4 ab	10.2 cd	10.8 c	9.5 b	8.3 bc	8.9 c
1,500 ppm	85.1 c	62.2 d	79.6 d	71.3 c	53.1 d	62.2 c	10.9 c	8.1 d	9.5 d	9.1 bc	7.6 c	8.4 c
1,750 ppm	35.7 e	22.2 f	28.9 e	55.9 d	42.6 d	49.3 d	8.9 d	7.6 d	8.3 e	8.2 bc	7.1 c	7.7 c
Mean A	90.5 A	79.9 B	83.9 A	83.9 A	76.3 B	11.4 A	11.4 A	10.5 B	10.2 A	10.2 A	9.5 B	9.5 B
LSD _{0.05}	A=10.2	B=9.5	AB=13.4	A=6.2	B=10.2	AB=14.3	A=0.5	B=0.11	AB=1.5	A=0.4	B=0.9	AB=1.3

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากภัยแล้งและความเค็มต่อผลผลิตของทับทิม โดยพบว่าเมื่อปริมาณของความเค็มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตของทับทิมมีแนวโน้มลดลง หากพิจารณาร่วมกับระดับการให้น้ำ พบว่า ที่การให้น้ำในระดับปกติ เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ผลผลิตมีเปอร์เซ็นต์ลดลงในอัตราที่มากกว่าการให้น้ำในระดับขาดน้ำ ในส่วนของปัจจัยแต่ละปัจจัย พบว่า ระดับความเค็มที่ต่างกัน ไม่ทำให้ผลผลิตทับทิมแตกต่างกันทางสถิติ แต่ระดับการให้น้ำที่ต่างกัน ทำให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำระดับปกติและระดับที่ขาดน้ำ 10% ให้ผลผลิตไม่ต่างกัน แต่เมื่อเริ่มขาดน้ำ 20-40% ผลผลิตกลับลดลง ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับการให้น้ำแบบปกติ³⁰ จะเห็นได้ว่าทับทิมเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้ เนื่องจากเมื่อมีความเค็มมากถึง 5.8 dS/m ทับทิมยังมีการให้ผลผลิตไม่ต่างกับสภาพที่ไม่มีความเค็ม จึงจัดได้ว่าทับทิมเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในดินเค็มระดับปานกลาง

หม่อน (*Morus alba* L.)

เป็นพืชปลูกได้ง่าย มีสาร Anthocyanins ในปริมาณมากช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ มีวิตามิน แร่ธาตุ และกรดอะมิโนหลายชนิดที่เป็นประโยชน์³¹ เนื่องจากหม่อนเป็นพืชที่ปลูกง่าย ได้มีการศึกษาผลของความเค็มต่อการสังเคราะห์แสงของหม่อน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ M-5, BC2-59 และ S-30 ที่ความเค็ม 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 4, 8 และ 12 dS/m พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้น จาก 0-4 dS/m ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ กรดอะมิโนอิสระ ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้น้ำตาลซูโครส แป้ง ฟีนอล โพรตีน ไกลซีน และเบทาอินเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อระดับความเค็มสูงที่ระดับ 8 และ 12 dS/m โดยหม่อนพันธุ์ BC2-59 เป็นพันธุ์ที่ทนเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ S-30 และพันธุ์ M-5 ตามลำดับ¹⁴ จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น องค์ประกอบทางเคมีจะลดลง ส่งผลให้ศักยภาพในการเจริญเติบโตของหม่อนลดลง แต่ยังสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินเค็มระดับปานกลาง เห็นได้จากปริมาณของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้นไปในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าหม่อนเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มน้อย

พุทรา (*Zizyphus mauritiana* Lam.)

เป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ปลูกง่ายและอายุยืน³² ถ้าเราสามารถเพิ่มพื้นที่ในการปลูกพุทราได้มากขึ้น ผลผลิตก็ย่อมเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเครียดจากเกลือและน้ำในต้นพุทราศึกษาในแหล่งน้ำ 2 แหล่ง แหล่งที่ 1 มีค่า EC ปริมาณโซเดียมและปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 3.68 dS/m, 30.27 mg/l และ

6.17 mg/l ตามลำดับ และแหล่งที่ 2 มีค่า EC ปริมาณโซเดียม และปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 6.80 dS/m, 58.13 mg/l และ 10.58 mg/l ตามลำดับ เห็นได้ว่าแหล่งที่ 2 มีความเค็มมากกว่าแหล่งที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ต้นพุทราที่ได้รับน้ำในแหล่งที่ 2 มีการเจริญเติบโตของต้น (ความสูงต้น ความยาวยอด เส้นผ่านศูนย์กลางยอด ขนาดลำต้น จำนวนยอด/ต้น และพื้นที่ใบ) และคุณภาพของผล (ขนาด อายุการเก็บรักษา ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ปริมาตร น้ำหนักเนื้อ และความชื้น) น้อยกว่าต้นพุทราที่ได้รับน้ำจากแหล่งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ¹⁵ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการให้ผลผลิตของพุทราจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตลดลง แต่ยังคงมีการให้ผลผลิตอยู่ซึ่งอาจจะมากถึง 50% เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักผล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพุทราเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้ในระดับปานกลาง

มะขาม (*Tamarindus indica* Linn.)

มะขามเป็นไม้ผลที่มีประโยชน์และมีสรรพคุณมากมาย กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศเป็นอย่างมาก³³ ซึ่งหากเราสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกได้จะทำให้เพิ่มผลผลิตได้อีกมาก จากการศึกษาเปรียบเทียบการทนเค็มของมะขามในระยะต้นกล้า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ระดับ ได้แก่ 0, 20, 40, 60 และ 80 mM พบว่าพื้นที่ใบ ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้ามะขามลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 0 ไปเป็น 80 mM ทำให้พื้นที่ใบ ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าลดลง 3-4 เท่า¹⁶ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะขามลดลงในระดับหนึ่ง ซึ่งในระยะต้นกล้า หรือระยะที่เมล็ดงอกเป็นระยะที่พืชส่วนใหญ่อ่อนแอต่อความเค็มมากที่สุด เมื่อพืชสามารถทนความเค็มและเจริญเติบโตผ่านช่วงระยะนี้ไปได้ พืชก็จะมีความสามารถในการทนต่อความเค็มในระยะการเจริญเติบโตต่อไปเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมะขามเจริญเติบโตผ่านระยะต้นกล้าได้ ก็จะสามารถเจริญต่อไปจนถึงขั้นให้ผลผลิตได้ ในการศึกษาที่มะขามสามารถทนเค็มได้ถึงความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ 80 mM ซึ่งเทียบเป็นค่า EC เท่ากับ 8 dS/m²⁵ แสดงให้เห็นว่ามะขามเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มปานกลางได้

ฝรั่ง (*Psidium guajava* Linn.)

เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด สามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด³⁴ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความเค็ม 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.5, 3.0, 4.5

และ 6.0 dS/m ในฝรั่ง 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Pentecoste, Paluma, Surubim และ IPA B-38 ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นถึง 4.5 dS/m ต้นกล้าฝรั่งที่อายุ 180 วันตายทุกพันธุ์ ดังนั้นจึงทำการศึกษาในความเค็มเพียง 3 ระดับ คือ 0.5, 1.5 และ 3.0 dS/m พบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ต้นกล้าฝรั่งที่อายุ 180 วันมีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น และใบของต้นกล้าลดลง โดยฝรั่งพันธุ์ Pentecoste มีความสามารถในการทนความเค็มดีกว่าพันธุ์ Surubim, Paluma และ IPA B-38 ตามลำดับ¹⁷ จะเห็นได้ว่าฝรั่งเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มต่ำ (ค่า EC ไม่เกิน 3 dS/m) โดยปกติแล้วความเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในทุกๆ ระยะ แต่ในระยะที่เมล็ดงอก ซึ่งเป็นระยะที่มีความสำคัญมากระยะหนึ่งต่อการประเมินการทนเค็ม เนื่องจากแกนต้น (embryonic axis) เป็นส่วนที่มีความอ่อนแอเมื่อสัมผัสเกลือโดยตรง (Mauromicale and Licandro, 2002) นอกจากนี้ยังมีในรายงานการศึกษาของ da Silva et al. ที่ทำการศึกษาในกิ่งปักชำฝรั่ง Paluma ในความเค็มของ 70 %NaCl และ 30 %CaCl₂ 5 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 dS/m พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำหนักแห้งราก ต้น ใบ และผลลดลง โดยลดลงอย่างมากเมื่อความเค็มถึง 6 และ 8 dS/m และเมื่อพิจารณาถึงการ partitioning ของน้ำหนักแห้งทั้ง 4 ส่วน พบว่า เมื่อต้นฝรั่งได้รับความเค็ม สัดส่วนของน้ำหนักแห้งราก จะลดลง ในขณะที่สัดส่วนน้ำหนักแห้งของใบเพิ่มมากขึ้น¹⁸ แสดงให้เห็นว่าต้นฝรั่งมีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดจากการที่รากไม่สามารถดูดน้ำได้เมื่ออยู่ในสภาวะเค็ม ฝรั่งจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มน้อยได้

สบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.)

เป็นพืชน้ำมันที่ได้รับความสนใจจากทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ และยังเป็นพืชสมุนไพรได้ด้วย⁽³⁵⁾ ถ้าสามารถนำสบู่ดำมาปลูกในพื้นที่ดินเค็มได้จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในด้านการผลิตเพิ่มขึ้น จึงได้มีการคัดเลือกสบู่ดำทนเค็มในระยะงอก ในสบู่ดำ 9 สายพันธุ์ ได้แก่ KUBP 16, KUBP 20-4, KUBP 33-1, KUBP 34-8, KUBP 74, KUBP 78-9, KUBP 80-3, India และ Mexico ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 ระดับ ได้แก่ 0, 0.4 และ 0.8% พบว่า เบอร์เชินด์การงอกของเมล็ดสบู่ดำทุกพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 0.4 และ 0.8% โดยที่ความเข้มข้น 0.4% พันธุ์ KUBP 33-1, KUBP 74, KUBP 78-9 และ KUBP 80-3 มีเบอร์เชินด์การงอกสูงกว่าชุดควบคุม และที่ความเข้มข้น 0.8% ทุกพันธุ์มีเบอร์เชินด์การงอกต่ำกว่าชุดควบคุม ขณะที่

ที่พันธุ์ Mexico ไม่มีการออกของเมล็ดเลย และเมื่อความเข้มข้น เพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 0.8% ทำให้ดัชนีการงอกลดลง และค่าเฉลี่ยเวลาของการงอกเพิ่มขึ้น ในส่วนของการเจริญเติบโต พบว่าแต่ละพันธุ์มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยความยาวราก ความยาวต้น และน้ำหนักสดของต้นกล้าสับดูค่าทุกพันธุ์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น¹⁹ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้น ศักยภาพในการงอกของเมล็ดสับดูค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่มากกว่า 69% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสับดูค่าเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มสูงได้ในระยะงอก

ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globulus* Labill.)

ลำต้นยูคาลิปตัสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี เป็นที่ต้องการของตลาด หากเราสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ ยูคาลิปตัสที่มีความทนทานต่อความเค็มได้ จะสามารถเพิ่มปริมาณของต้นยูคาลิปตัสในพื้นที่ของดินเค็มได้เพิ่มขึ้น จึงมีการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัสในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยทดสอบความทนทานของต้นยูคาลิปตัสเมื่อเติมเกลือลงในอาหารเพาะเลี้ยงให้มีความเข้มข้น 0, 2, 4, และ 6% หลังการเติมเกลือเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และมีปริมาณลดลงต่ำที่สุดในอาหารที่เติมเกลือ 6%²⁰ และยังพบว่ายูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดภายใต้สภาวะที่มีความเค็ม เมื่อเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่นอีก 8 ชนิด⁽¹⁾ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตของยูคาลิปตัสจะลดลง แต่ยังสามารถงอกในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่มีความเค็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายูคาลิปตัสเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มสูงได้ในระยะงอก

จะเห็นได้ว่าพืชต่างชนิดกันและต่างพันธุ์กันมีความสามารถในการทนเค็มได้ต่างกัน (Table 6) ดังนี้

Table 6 Salinity level of nine perennial plant

Plant	Variety	Concentration of original research	Electrical Conductivity (dS/m)	Salinity Tolerance Level
Karandas	-	0.8% sea water	10 dS/m	High salinity tolerance
Grape	Soltanin, Fakhri	200 mM	20 dS/m	Extreme salinity tolerance
Seedless Grape	Yaghuti, Askari	100 mM	10 dS/m	High salinity tolerance
Pomegranate	Wounderful, Manfalouty	1,750 ppm	2.73 dS/m	Moderate salinity tolerance
Mulberry	S-30, M-5	8 dS/m	8 dS/m	Low salinity tolerance
Jujube	-	6.8 dS/m	6.8 dS/m	Moderate salinity tolerance
Tamarind	-	80 mM	8 dS/m	Moderate salinity tolerance
Guava	Pentecoste	3 dS/m	3 dS/m	Low salinity tolerance
	Paluma	8 dS/m	8 dS/m	Moderate salinity tolerance
Physic nut	KUBP 16, KUBP 20-4, KUBP 33-1, KUBP 34-8, KUBP 74, KUBP 78-9, KUBP 80-3, India, Mexico	0.8% NaCl	12.5 dS/m	High salinity tolerance
Eucalyptus	-	6% NaCl	93.75 dS/m	High salinity tolerance

สรุป

ศักยภาพการทนเค็มของพืชแต่ละชนิด จะมีศักยภาพการทนเค็มที่ต่างกัน โดยปัจจัยหนึ่งที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ พันธุ์พืช จากการศึกษาศักยภาพการทนเค็มของไม้ยืนต้น 9 ชนิด สามารถแบ่งศักยภาพการทนเค็มได้ 4 ระดับ ดังนี้

1. ชนิดที่มีศักยภาพในการทนเค็มน้อย ได้แก่ ฝรั่ง และหม่อน
2. ชนิดที่มีศักยภาพในการทนเค็มปานกลาง ได้แก่ ทับทิม พุทรา และมะขาม
3. ชนิดที่มีศักยภาพในการทนเค็มมาก ได้แก่ มะนาว โห้ สับดูค่า และยูคาลิปตัส
4. ชนิดที่มีศักยภาพในการทนเค็มจัด ได้แก่ อังุ่น

เอกสารอ้างอิง

1. ญัฎฐ์สิริ ลักษณะอารีย์, มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันต์, ยุทธนา บรรจง, เอกพงษ์ ชนะวัติ. การคัดเลือกไม้โตเร็วทนเค็ม ด้วยวิธีการปลูกในสารละลายอาหาร. วารสารวนศาสตร์. 2557; 33(1) : 11-17.
2. สุมาลี ชูกำแหง. พืชในสภาวะเครียดเกลือ. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 2555; 4(1) : 15-24.
3. กรมพัฒนาที่ดิน. แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตรฐาน 1: 500,000 กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ; 2535.
4. อรุณี ยูวะนิยม. การจัดการดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. [Online].; 2547 [สืบค้นเมื่อ 2560 มกราคม 20. จาก : <http://www.sri.cmu.ac.th/~environment/Download/050505.pdf>]
5. วันชัย วงษา. ดินเค็มและการปรับปรุงแก้ไข. [Online]; 2555 [สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2559. จาก: <http://bophloi.kanchanaburi.doe.go.th/content/new%2057/005.pdf>]
6. อรุณี ยูวะนิยม. กลไกความทนเค็มของพืชชอบเกลือ. [Online]; 2536 [สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2559. จาก: http://www.idd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Research/Full_Research_pdf/Full_Research_gr03/R3903F002.pdf]
7. Tayyab, Azeem M, Qasim M, Ahmad R. Effect of sea salt irrigation on plant growth, yield potential and some biochemical attributes of *Carissa carandas*. Pak. J. Bot. 2016; 3: 853-859.
8. Bybordi A. Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. Life Sci. J. 2012; 9(4): 1092-1101.
9. Mohammadkhani N, Heidari R, Abbaspour N, Rahmani F. Growth responses and aquaporin expression in grape genotypes under salinity. Iranian J. Plant Physio. 2012; 2(4): 497-507.
10. Alirezanezhad A, Mohammadi A, Mohammadi N. Effect of different levels of salinity on two seedless grape cultivars 'Askari' and 'Yaghuti'. Int. J. Agr. Crop Sci. 2013; 5(6): 632-637.
11. Karimi HR, Hasanpour Z. Effects of salinity and water stress on growth and macro nutrients concentration of pomegranate (*Punica granatum* L.). J. Plant Nutri. 2014; 37: 1-15.
12. Kaveh F, Alizadeh A, Babazadeh H, Tehranifar A, Tavousi M. Effects of drought and salinity on yield and water use efficiency in pomegranate tree. J. Mater. Environ. Sci. 2015; 6(7): 1975-1980.
13. Ibrahim HIM. Tolerance of two pomegranates cultivars (*Punica granatum* L.) to salinity stress under hydroponic culture conditions. J. Basic. Appl. Sci. Res. 2016; 6(4): 38-46.
14. Agastian P, Kingsley SJ, Vivekanandan M. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica. 2000; 38(2): 287-290.
15. Abdel-Hameed AA, Ali FS. Effect of Salt and Water Stresses on Jujube Trees under Ras Sudr Conditions. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 2015; 8(1): 92-107.
16. Gebauer J, Ebert G. Comparison of the salt tolerance of the two under-utilised fruit species, baobab (*Adansonia digitata* L.) and tamarind (*Tamarindus indica* L.). In Conference on International Agricultural Research for Development; 2005; Stuttgart-Hohenheim. p. 1-4.
17. Cavalcante ÍHL, Cavalcante LF, Hu Y, Beckmann-Cavalcante MZ. Water salinity and initial development of four guava (*Psidium guajava* L.) cultivars in north-eastern Brazil. J. Fruit Orna. Plant Res. 2007; 15: 71-80.
18. da Silva A, Fernandes P, Gheyi H, Blanco F. Growth and yield of guava irrigated with saline water and addition of farmyard manure. Rev. Bras. Ciene. Agrar. Recife. 2008; 3(4): 354-359.
19. ญัฎฐ์สิริ ไชยวุฒิ, วีระพันธุ์ ศรีดอกจันทร์, อรุณศิริ กำลิ่ง, แอนนา สายมณีรัตน์. การคัดเลือกสบู่ดำทนเค็มในระยะงอก. ใน การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7; 2553; นครปฐม. 247-255.
20. สุริยันต์ ฉะอุ่ม, กัลป์ยาณี สามภักดิ์, เกรียงไกร โมสาเลีย นนท์, รื่นฤดี วันสสกุล, กัณยรัตน์ สุไพบูลย์วัฒน์, เฉลิมพล เกิดมณี. ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัส ในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37; 2542;

- กรุงเทพฯ. 205-210.
21. รังสรรค์ อิมเอิบ การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการดินเค็มในประเทศไทย กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2547.
 22. อรุณี ยูวะนิยม. การจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม. เอกสารวิชาการกลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการดินเค็ม สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน: 2546; 101 หน้า.
 23. สมศรี อรุณินท์. ดินเค็มในประเทศไทย กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2539.
 24. วิชิตพล มีแก้ว, ญัฐพล ชันชรปราบ, สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 2553; 10(2): 28-37
 25. Munns R, Cramer GR, Ball MC. Interaction between Rising CO₂ soil salinity and plant growth. *In*: Luo Y, Mooney HA. Carbon Dioxide and Environmental stress. 2013; 139-163.
 26. รัชชชัย สีน่าน้อย, ภูวดล โกมณเฑียร. พืชทนเค็มและพืชชอบเกลือบางชนิดที่พบในพื้นที่ดินเค็ม. สารวิจัยเพื่อชุมชน. 2557; 4(2): 33-37.
 27. ASTV ผู้จัดการออนไลน์. อุ่นมีประโยชน์มากกว่าที่คุณคิด [Online]; 2557 [สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน 2560. จาก: <http://www.manager.co.th/Home/ViewNews.aspx?NewsID=9570000077481>]
 28. เจนนี่ เจา, สายสุณีย์ ลิ้มชูวงศ์, สมเกียรติ พรพิมลสุทธิมาศ, สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. ผลของความเค็มจากเกลือต่อปริมาณโพสสินในแคลลัสสละ. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 2553; 1(2): p. 103-107.
 29. MedThai. ทับทิม สรรพคุณและประโยชน์ของทับทิม 40 ข้อ. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <https://medthai.com/ทับทิม/>]
 30. Tavousi, Kaveh F, Alizadeh. Effects of Drought and Salinity on Yield and Water Use Efficiency in Pomegranate Tree. *J. Mater. Environ. Sci.* 2015; 6(7): p. 1975-1980.
 31. MedThai. หม่อน สรรพคุณและประโยชน์ของต้นหม่อน ใบหม่อน 50 ข้อ. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <https://medthai.com/หม่อน/>]
 32. พรชัย ฝนทิพย์. ต้นพุทรา. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <http://manmna123.blogspot.com/2016/01/zizyiphus-mauritiana-lamk.html>]
 33. MedThai. มะขาม สรรพคุณและประโยชน์ของมะขาม 42 ข้อ. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <https://medthai.com/มะขาม/>]
 34. MedThai. ฝรั่ง สรรพคุณและประโยชน์ของฝรั่ง 33 ข้อ. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <https://medthai.com/ฝรั่ง/>]
 35. MedThai. สับปะรด สรรพคุณและประโยชน์ของสับปะรด 64 ข้อ. [Online]; 2559 [สืบค้นจาก 6 เมษายน 2560. จาก: <https://medthai.com/สับปะรด/>]

ลักษณะมัดท่อลำเลียงของอ้อยพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานการหักล้มของลำต้นที่แตกต่างกัน Vascular Bundle Traits of Sugarcane Lines with Different Stem Lodging Resistant Levels

สุภาพร จำกุดลิง¹, วุฒิพนธ์ ท่าพริก¹, วรศิริกุลญา ธาราธิมา², พัชริน สงศ์ศรี³, นันทวุฒิ จงรังกลาง^{3*}
Supaporn Jumkudling¹, Wutipon Thaprik¹, Worasitikulya Taratima², Patcharin Songsri³,
Nuntawoot Jongrungklang^{3*}

Received: 23 June 2017; Accepted: 20 October 2017

บทคัดย่อ

การหักล้มของอ้อยทำให้ความหวานและผลผลิตลดลง ซึ่งการหักล้มของอ้อยอาจจะเกี่ยวข้องกับกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงในลำต้น โดยเนื้อเยื่อลำเลียงจะทำหน้าที่ให้โครงสร้างลำต้นเกิดความแข็งแรง ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาจำนวนและขนาดมัดท่อลำเลียงของลำต้นอ้อยพันธุ์ที่มีระดับการหักล้มที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ใช้อ้อย 6 พันธุ์ที่มีความต้านทานการหักล้มแตกต่างกันเป็นกรรมวิธีทดลอง พันธุ์ที่ต้านทานการหักล้ม จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ KK3, MP02-665 และ K88-92 พันธุ์ไม่ต้านทานการหักล้ม ได้แก่พันธุ์ MP07-309, MP1 และ MP3 ตรวจวัดจำนวนและขนาดมัดท่อลำเลียง พบว่า พันธุ์อ้อยที่มีความต้านทานการหักล้มทางลำต้นต่างกันมีจำนวนของมัดท่อลำเลียงและขนาดของมัดท่อลำเลียงแตกต่างกันด้วย โดยพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มมีจำนวนมัดท่อลำเลียงหรือมีขนาดมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนและกลางลำต้นมากกว่าพันธุ์ที่ไม่ต้านทานการหักล้ม ซึ่งในพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มมีความเด่นของทั้ง 2 ลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ พันธุ์ KK3 ต้านทานการหักล้มโดยมีจำนวนมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนลำต้นมาก ส่วนพันธุ์ MP02-665 และ K88-92 มีมัดท่อลำเลียงขนาดใหญ่ทั้งบริเวณโคนและกลางลำต้น ความเข้าใจในข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาพันธุ์อ้อยให้ต้านทานการหักล้มของลำต้น ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยทั้งในแง่การจัดการแปลงและการเก็บเกี่ยวอ้อยต่อไป

คำสำคัญ: สเกลอเรนจิม่า ไฟเบอร์ ปล้อง ลิกนิน

Abstract

Lodging of sugarcane results in decreased yield of Commercial Cane Sugar (CCS). It may involve the vascular tissue which plays an important role in supporting stalk strength. Therefore, the objectives of this study were to investigate number and size of vascular bundles in cane stalk with different stalk lodging levels. A Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications was used. Six sugarcane lines with different lodging levels were assigned as treatments, three cane lines, KK3, MP02-665 and K88-92 were defined as a lodging resistant line and MP07-309, MP1 and MP3 were defined as lodging susceptible lines. The number and size of vascular bundles were measured. Vascular bundle numbers and size of six sugarcane lines with different stalk lodging resistant levels were different. Lodging resistant lines revealed higher number and bigger size of vascular bundle at base and middle of stem positions than the susceptible lines. Among the lodging resistant cultivar had also difference in 2 lodging resistant traits. KK3 had high vascular bundle numbers at the bottom position, whereas MP02-665 and K88-92 were the line which had large size of vascular bundle at base and middle of stem positions. The understanding of this might be useful for developing a stalk lodging resistant sugarcane cultivar. Further, it would increase the production efficiency both of the management and harvesting aspects.

Keywords: sclerenchyma, fiber, internodes, lignin

บทนำ

การหักล้มเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตอ้อยลดลงร้อยละ 11-15 คุณภาพความหวาน (commercial cane sugar; CCS) ลดลงร้อยละ 3-12 และผลผลิตน้ำตาลลดลงร้อยละ 15-35¹⁻³ อ้อยที่มีอัตราการผลิตโตดีอาจทำให้อ้อยหักล้มได้ง่ายกว่าอ้อยเจริญเติบโตช้า โดยการหักล้มของอ้อยมีทั้งที่หักล้มอันเกิดจากราก (root lodging) และหักล้มอันเกิดจากลำต้น (stem lodging)³ ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาการหักล้มอันเกิดจากรากสามารถทำได้โดยการปลูกอ้อยให้ลึกและพูนโคนซึ่งจะช่วยลดการหักล้มและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการงอกของอ้อยด้วย⁴ อีกทั้งพันธุ์อ้อยที่มีลักษณะต้นเตี้ย ลำใหญ่ และมีจำนวนใบน้อยสามารถต้านทานการหักล้มจากรากได้⁵ อย่างไรก็ตาม การหักล้มอันเกิดจากลำต้นยังไม่มียุทธศาสตร์ทางเกษตรกรรมที่ช่วยลดปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางการลดปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทางหนึ่งคือ การใช้พันธุ์ต้านทานการหักล้ม ซึ่งการจะพัฒนาพันธุ์ให้ประสบความสำเร็จนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะทางกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของลำต้นอ้อย เช่น มัดท่อลำเลียง (vascular bundle) การสะสมลิกนิน (lignin) และการจัดเรียงตัวของมัดท่อลำเลียงในอ้อยเป็นข้อมูลสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานการหักล้มของอ้อยในระบบการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

การหักล้มของอ้อยเกี่ยวข้องกับปริมาณของเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรง เช่น สเกลอเรนจิม่า (sclerenchyma)⁶ ซึ่งเซลล์สเกลอเรนจิม่าเป็นเนื้อเยื่อที่มีผนังหนาและส่วนมากจะสะสมลิกนิน โดยสเกลอเรนจิม่าที่พบบริเวณเนื้อเยื่อลำเลียงส่วนมากคือ ไฟเบอร์ (fiber)⁷ ในอ้อยที่ปล้องมีการเจริญเติบโตเต็มที่ พบการสะสมลิกนินที่เซลล์รอบๆ มัดท่อลำเลียง, เนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis), เนื้อเยื่อชั้นรองจากผิว (hypodermis) และเซลล์พาเรงคิม่า (parenchymal cell)⁸ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีการรายงานถึงลักษณะของเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรงในพันธุ์อ้อยที่มีความต้านทานการหักล้มทางลำต้นที่แตกต่างกัน⁹ พบว่า ความแข็งแรงของลำต้นข้าวโพดมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนิน และจำนวนของกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงที่เปลือก ($r=0.72$ และ $r=0.74$ ตามลำดับ) ส่วนในข้าวฟ่าง ปริมาณสารลิกนินที่สะสมบริเวณผนังเซลล์ (cell wall) แต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยพบเซลล์ที่มีการสะสมในเนื้อเยื่อชั้นผิว เนื้อเยื่อชั้นรองจากผิวและมัดท่อลำเลียง การสะสมลิกนินที่เนื้อเยื่อชั้นต่างๆ นี้มีผลต่อความต้านทานการหักล้มในข้าวฟ่าง¹⁰

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำนวนและขนาดเนื้อเยื่อลำเลียงของลำต้นอ้อยพันธุ์ที่มีระดับการหัก

ล้มของลำต้นที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาพันธุ์ให้ต้านทานต่อการหักล้มอันเกิดจากลำต้นได้

วิธีการศึกษา

แผนการทดลองและทรีตเมนต์

ศึกษาลักษณะมัดท่อลำเลียงของอ้อยที่มีการต้านทานการหักล้มที่แตกต่างกันในอ้อยข้ามแสงโดยมีการให้น้ำแบบอาศัยน้ำฝน ปี 2555/2556 ดำเนินการทดลองในสภาพแปลง (field experiment) ในแปลงทดสอบผลผลิตของบริษัทผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัด อ.กุเวียง จ.ขอนแก่นวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้ทรีตเมนต์คืออ้อย 6 พันธุ์ที่มีความต้านทานการหักล้มแตกต่างกัน โดยพิจารณาข้อมูลการหักล้มของบริษัทผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัดได้บันทึกไว้ในสถานที่ต่างๆ คือกลุ่มพันธุ์ที่ไม่ต้านทานการหักล้ม ได้แก่พันธุ์ MP07-309, MP1 และ MP3 และกลุ่มพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้ม ได้แก่ KK3, MP02-665 และ K88-92

การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมดินโดยยกร่องให้มีระยะห่างระหว่างร่อง 1.3 เมตร แต่ละแปลงย่อยมี 4 แถว แถวละ 10 เมตร มีระยะปลูกระหว่างท่อน 0.3 เมตร ดูแลรักษาแปลงโดยให้น้ำตามร่องก่อนปลูกและใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมปลูก กำจัดวัชพืชโดยใช้จอบและพ่นสารกำจัดวัชพืชหลังปลูกโดยใช้กรัมม็อกโซน อัตรา 400 มิลลิลิตรต่ออัตรารัน อัตรา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 400 ลิตรระหว่างร่องและใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่ออ้อยอายุ 60 วัน โดยใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

การเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างลำต้นอ้อย จากอ้อยจำนวน 5 กอต่อซ้ำ โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 1 ลำต่อกอ ตัดชิ้นปล้องตัวอย่างแบ่งเป็น 3 ช่วงของลำต้นคือ โคน (ปล้องที่ 1 เนื้อผิวดิน) กลาง (ปล้องที่อยู่กลางลำประมาณปล้องที่ 10-14 เนื้อผิวดิน) และปลาย (ปล้องที่ 1 อยู่ถัดลงมาจากจุดหักธรรมชาติ) แช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายฟอร์มาลินอะซิติกแอลกอฮอล์ (formalin-acetic acid-alcohol, FAA) ประกอบด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol 90 %) กรดกลacialอะซิติก (glacial acetic acid 5%) และฟอร์มาลิน (formalin 5%) เพื่อหยุดการทำงานและคงสภาพของเซลล์ จากนั้นนำเนื้อเยื่อที่ผ่านการแช่ในสารละลายฟอร์มาลินอะซิติกแอลกอฮอล์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่น้ำ 1-2 ชั่วโมง เพื่อล้างสาร

ละลายฟอรัมาลินอะซิติกแอซิดแอลกอฮอล์ จากนั้นตัดตามขวางตัวอย่างด้วยมือ (free hand section) โดยตัดเนื้อเยื่อแนวรัศมีจากตรงกลางจนถึงส่วนขอบ ตัดตามขวางเนื้อเยื่อโดยให้มีความบางมากที่สุด นำเนื้อเยื่อวางลงบนแผ่นสไลด์และย้อมสี 1% ซาฟรานิน (safranin) ที่ละลายในแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 10-15 นาที จากนั้นฝืนสไลด์ด้วยน้ำกลั่น ปิดสไลด์ด้วยกระดาษปิดสไลด์ (cover glass) แล้วตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) กำลังขยายขนาด 10X และ 40X ตามลำดับ เลือกว่าตัวอย่างเนื้อเยื่อที่บางสมบูรณ์ทำเป็นสไลด์ถาวร โดยดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อด้วยแอลกอฮอล์ 50%, 70%, 95%, 100%, แอลกอฮอล์ 100% กับไซลีน (xylene) ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และไซลีน ตามลำดับ ฝืนสไลด์โดยใช้ดีพีเอกซ์ (DePeX mounting medium; DPX) แล้วปิดด้วยกระดาษปิดสไลด์ จากนั้นตรวจวัดข้อมูลเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกำลังขยายขนาด 10X แล้วนับจำนวนมัดท่อลำเลียงตั้งที่ปรากฏภายใต้กล้องของทุกๆชิ้นตัวอย่าง ส่วนขนาดของมัดท่อลำเลียงวัดข้อมูลโดยใช้ความยาวของมัดท่อลำเลียงในแนวภาคตัดขวาง ซึ่งวัดจากส่วนที่ยาวที่สุดของขอบทั้งสองด้าน เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างโดยออคูลาร์ไมโครมิเตอร์ (ocular micrometer) และ สเตจ ไมโครมิเตอร์ (stage micrometer) จำนวน 3 ซ้ำ สุ่มวัดขนาดเนื้อเยื่อแต่ละซ้ำจำนวน 3 เนื้อเยื่อ

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนมัดท่อลำเลียงตามแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix 8 ที่ระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

จำนวนมัดท่อลำเลียง

อ้อย 6 พันธุ์ ได้แก่กลุ่มพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้ม และพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการหักล้มมีจำนวนมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนและปลายลำแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ไม่พบความแตกต่างนี้บริเวณกลางลำต้น อย่างไรก็ตาม พบว่าพันธุ์ KK3 มีจำนวนมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนลำต้นมากที่สุด (จำนวน 18.8 มัด) และมากกว่าทุกพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (Table 1) ในทางตรงกันข้าม ที่บริเวณส่วนยอดพบว่า พันธุ์ MP07-309 มีจำนวนมัดท่อลำเลียงมากที่สุด (จำนวน 19.5 มัด) และมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งจำนวนมัดท่อลำเลียงบริเวณโคนลำต้นอาจจะเป็นลักษณะหลักที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานการหักล้มของอ้อย โดยในพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มอย่าง KK3 มีจำนวนมัดท่อลำเลียงมากที่บริเวณโคน

ลำต้น ส่วนพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มพันธุ์อื่น เช่น MP02-665 และ K88-92 อาจจะมีลักษณะอื่นมาส่งเสริมการต้านทานการหักล้ม

จำนวนมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนและกลางลำต้นให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันมาก ส่วนบริเวณปลายลำต้นมีค่าเฉลี่ยของจำนวนมัดท่อลำเลียงมากกว่าบริเวณอื่นเล็กน้อย (Figure 2)

ลำต้นอ้อยที่มีจำนวนมัดท่อลำเลียงมาก อาจจะทำให้ความแข็งแรงของลำต้นมากขึ้นด้วย โดยมัดท่อลำเลียงประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรงอย่างสเกลอเรงคิม่า การหักล้มของอ้อยเกี่ยวข้องกับปริมาณของเนื้อเยื่อสเกลอเรงคิม่า ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชนิด คือ ไฟเบอร์ และสเกลอไรด์ (sclereid) 7 อย่างไรก็ตาม ลักษณะจำนวนของมัดท่อลำเลียงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายการต้านทานการหักล้มอันเกิดจากลำต้นได้อย่างชัดเจน อาจมีลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของลำต้นอ้อยที่มาประกอบกันเพื่อให้อ้อยต้านทานการหักล้ม

ขนาดมัดท่อลำเลียง

ขนาดของมัดท่อลำเลียงของอ้อยจำนวน 6 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบความแตกต่างนี้ทั้งบริเวณโคน กลาง และปลายของลำต้น โดยบริเวณโคนลำต้นพันธุ์ MP02-665, K88-92 และ MP07-309 มีขนาดของมัดท่อลำเลียงค่อนข้างใหญ่ แต่ในพันธุ์ MP3, MP1 และ KK3 มีขนาดมัดท่อลำเลียงค่อนข้างเล็ก ส่วนบริเวณกลางลำต้น พบว่าพันธุ์ที่มีความโดดเด่นของขนาดมัดท่อลำเลียงใหญ่ ได้แก่ K88-92, KK3, MP02-665 และ MP1 ในขณะที่ส่วนปลายของลำต้นพันธุ์ MP1, MP3 และ KK3 พบขนาดมัดท่อลำเลียงค่อนข้างใหญ่ จะเห็นได้ว่าในพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มมีขนาดมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนและกลางลำต้นค่อนข้างใหญ่ อย่างไรก็ตาม พันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มบางพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกับพันธุ์ที่ไม่ต้านทานการหักล้ม (Table 2), (Figure 1 A1-A8, B1-B6, C1-C6)

เมื่อพิจารณาขนาดของมัดท่อลำเลียงที่บริเวณโคนและกลางลำต้น ซึ่งเป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับการหักล้มบริเวณลำต้นมากที่สุด พบว่า MP02-665 และ K88-92 มีขนาดของมัดท่อลำเลียงใหญ่ทั้งบริเวณโคนและปลายลำต้น ส่วนพันธุ์ KK3 ซึ่งแม้ว่าเป็นพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้ม แต่กลับมีขนาดของเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรงในมัดท่อลำเลียงไม่แตกต่างกับพันธุ์อ่อนแอ (Table 2), (Figure 1 A1-A6) แต่หากพิจารณาข้อมูลจำนวนมัดท่อลำเลียงร่วมด้วย การต้านทานการหักล้มของอ้อยพันธุ์ KK3 เป็นผลมาจากจำนวนมัดท่อลำเลียงมากกว่าขนาดของมัดท่อลำเลียง

ซึ่งหากพิจารณาพัฒนาการของขนาดเนื้อเยื่อที่ให้ความแข็งแรงในมัดทอลำเลี้ยง พบว่า ส่วนกลางลำต้นมีเนื้อเยื่อเหล่านี้มากกว่าส่วนโคนและปลายลำต้น ซึ่งลำอ้อยที่เติบโตเต็มที่มีแนวโน้มของจำนวนมัดทอลำเลี้ยงลดลง แต่มีขนาดของมัดทอลำเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบริเวณขนาดมัดทอลำเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นนี้ เกิดจากการสะสมลิกนินที่เซลล์รอบๆ กลุ่มทอลำเลี้ยงของอ้อยที่มีปล้องเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ซึ่งส่งผล

ให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้น⁹ เช่นเดียวกันกับในข้าวโพด ความแข็งแรงของลำต้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับจำนวนของกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลี้ยงที่เปลือก⁹ และสอดคล้องกับในข้าวฟ่างซึ่ง¹⁰ รายงานว่าปริมาณสารลิกนินที่สะสมบริเวณผนังเซลล์มัดทอลำเลี้ยงของข้าวฟ่างแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน และมีผลต่อความต้านทานการหักล้มในข้าวฟ่าง

Table 1 Number of vascular bundle in different sampling positions such as base, middle and top of stem positions of six sugarcane lines with different lodging resistant levels.

Stalk lodging levels	Lines	Vascular bundle number (#)		
		Base	Middle	Top
Susceptible lines	MP07-309	12.0 ^b	14.3	19.5 ^a
	MP1	13.8 ^b	16.0	16.8 ^b
	MP3	13.5 ^b	16.3	15.8 ^{bc}
Resistant lines	MP02-665	13.8 ^b	13.3	17.3 ^b
	K88-92	14.3 ^b	13.0	13.8 ^c
	KK3	18.8 ^a	16.5	17.0 ^b
F-test		**	ns	**
Mean		14.33	14.87	16.66

**Means within a column followed by an identical letter are not significantly different at $P < 0.05$

ns = not significant

Table 2 Size of vascular bundle in different sampling positions such as base middle and top of stem of six sugarcane lines with different lodging resistant levels.

Stalk lodging levels	Lines	Vascular bundle size (μm)		
		Base	Middle	Top
Susceptible lines	MP07-309	236.1 ^{ab}	161.1 ^c	127.8 ^d
	MP1	205.6 ^{bc}	236.1 ^{ab}	236.1 ^{ab}
	MP3	166.7 ^c	205.6 ^b	244.5 ^a
Resistant lines	MP02-665	261.1 ^a	230.5 ^{ab}	200.0 ^{bc}
	K88-92	230.6 ^{ab}	266.6 ^a	183.3 ^c
	KK3	186.1 ^{bc}	238.9 ^{ab}	211.1 ^{abc}
F-test		**	**	**
Mean		214.4	223.1	200.5

**Means within a column followed by an identical letter are not significantly at $P < 0.05$

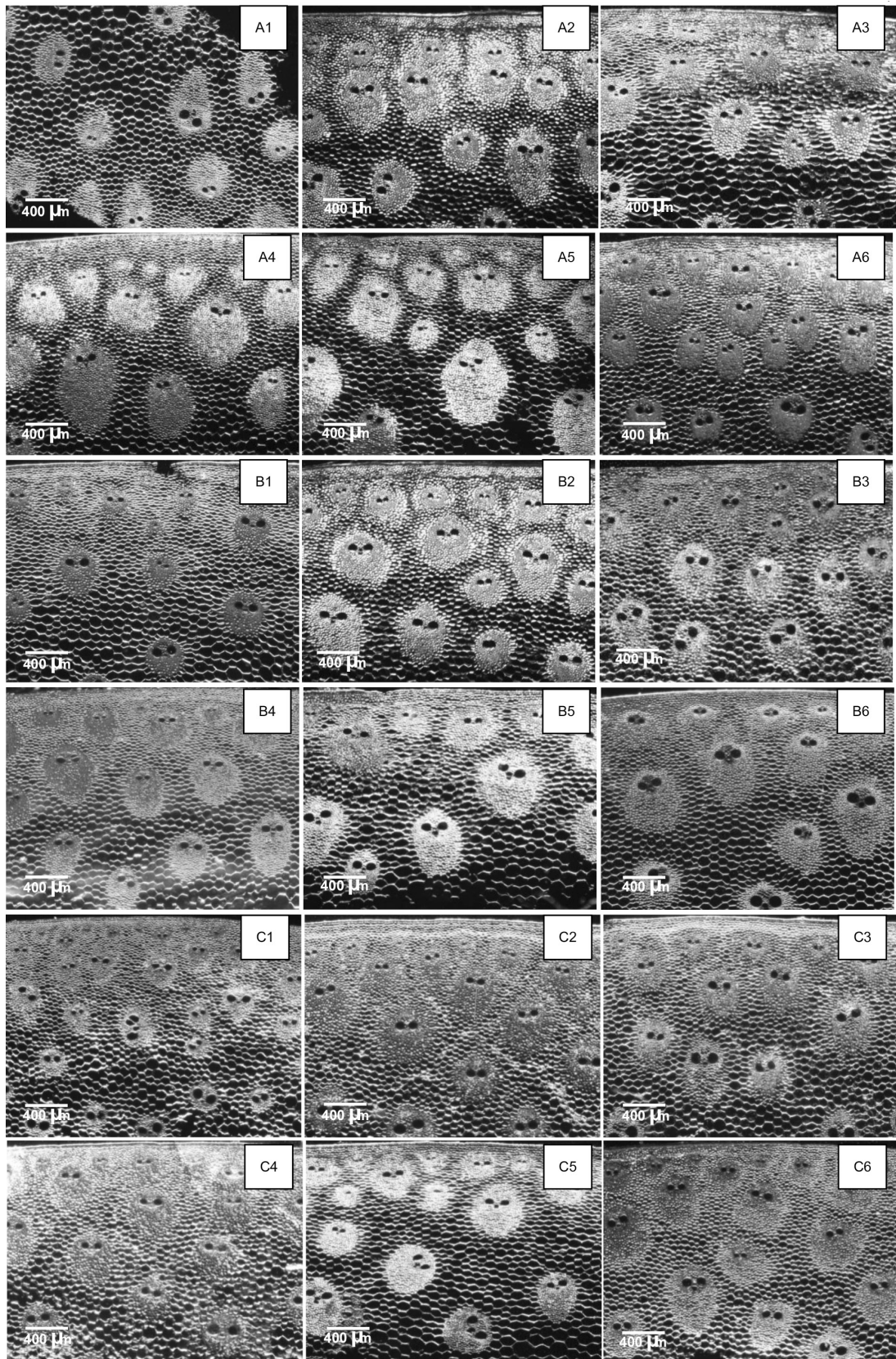


Figure 1 photographic for cross section of internode (10x) among six sugarcane lines with different lodging resistant levels, A = vascular bundles in base of stem position, B = vascular bundles in middle of stem position and C = vascular bundles in top of stem position, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 = sugarcane lines as MP07-309, MP1, MP3, MP02-665, K88-92 and KK3, respectively.

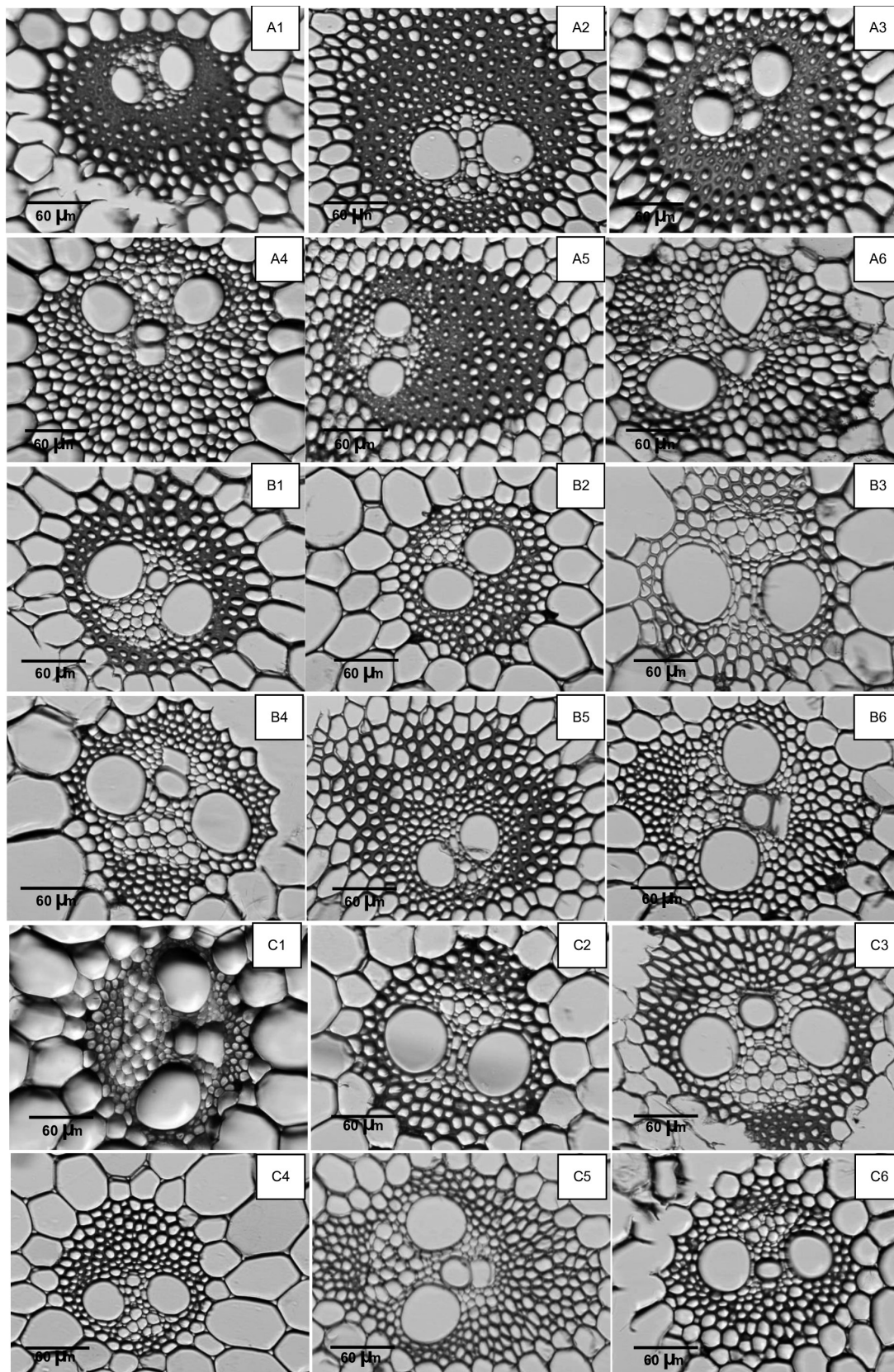


Figure 2 photographic for cross section of internode (40x) among six sugarcane lines with different lodging resistant levels, A = vascular bundles in base of stem position, B = vascular bundles in middle of stem position and C = vascular bundles in top of stem position, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 = sugarcane lines as MP07-309, MP1, MP3, MP02-665, K88-92 and KK3, respectively.

สรุป

พันธุ์อ้อยที่มีความแตกต่างในแง่ความต้านทานการหักล้มทางลำต้นมีจำนวนของมัดท่อลำเลียงและขนาดท่อลำเลียงแตกต่างกัน โดยพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มของลำต้นมีจำนวนมัดท่อลำเลียงหรือมีขนาดของมัดท่อลำเลียงที่บริเวณกลางลำต้นมากกว่าพันธุ์ที่ไม่ต้านทานการหักล้ม ซึ่งในพันธุ์ที่ต้านทานการหักล้มมีความเด่นของทั้ง 2 ลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ พันธุ์ KK3 ต้านทานการหักล้มโดยมีจำนวนมัดท่อลำเลียงมาก ส่วนพันธุ์ MP02-665 และ K88-92 มีขนาดของมัดท่อลำเลียงใหญ่ ทั้งบริเวณโคนและปลายลำต้น อย่างไรก็ตาม มีพันธุ์อ้อยที่ไม่ต้านทานการหักล้มบางพันธุ์ที่ยังคงประสบปัญหาการหักล้มอันเกิดจากการล้มบริเวณราก ดังนั้น ควรมีการศึกษาความต้านทานการหักล้มจากลักษณะรากเพื่อความเข้าใจการหักล้มของอ้อยให้ชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมเพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณ บริษัทมิตรผล วิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัด อ.ภูเวียง จ.ขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างรากอ้อย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

1. Singh G., S.C. Chapman, P.A. Jackson, R.J. Lawn. 1999. Yield accumulation in sugarcane under wet tropical conditions effect of lodging and crop age. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 21: 240-245.
2. Singh G., S.C. Chapman, P.A. Jackson, R.J. Lawn. 2000. Lodging a major constraint to high yield and CCS in the wet and dry tropics. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 22: 315-321.
3. Singh G., S.C. Chapman, P.A. Jackson, R.J. Lawn. 2002. Lodging reduces sucrose accumulation of sugarcane in the wet and dry tropics. Aust. J. Agric. Res. 53: 1183-1194.
4. Aslam M., A. Hameed, A. A. Chattha. 2008. Effect of sowing depth and ear thing up on lodging in pre sown sugarcane. Pakistan Sugar J. 23: 20-23.

5. Berding N., A.P. Hurney. 2005. Flowering and lodging, physiological-based traits affecting cane and sugar yield what do we know of their control mechanisms and how do we manage them? Field Crops Res. 92: 261-275.
6. Das U.K. 1936. Nitrogen nutrition of sugarcane. Plant Physiol. 11: 251-317.
7. เทียมใจ คมกฤษ, 2549. ภาควิทยาศาสตร์ของพฤกษศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. Cesarinol., A. Pedro, J. L. S. Mayer, A. F. P. Leme, P. Mazzafera. 2012. Enzymatic activity and proteomic profile of class III peroxidases during sugarcane stem development. Plant Physio. Biochem. 55: 66-76.
9. Chang H.S., P.J. Loesch, M.S. Zuber. 1976. Effects of recurrent selection for crushing strength on morphological and anatomical stalk traits in Corn. Crop Sci. 16: 621-625.
10. Schertz K.F., D.T. Rosenow. 1977. Anatomical variation in stalk internodes of Sorghum. Crop Sci. 17: 628-631.

การปนเปื้อนของแบคทีเรียและราบางชนิดในอากาศในรถยนต์ส่วนบุคคล Contamination of some Airborne Bacteria and Fungi in Personal Cars

ซูไบตะ หะยีวาเงาะ¹, พูรกอนนี สาและ¹, अबดุลลาห์ โดลาห์ ดาลี¹, คอสียาห์ สะลี¹, นูรัยนี หะยียูโซะ¹
Zubaidah Hajiwangoh¹, Phurkonni Salaeh¹, Abdullah Dolah Dalee¹, Khosiya Sali¹, Nur-ainee Hayeeyusoh¹
Received: 28 February 2017 ; Accepted: 12 September 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ภายในอากาศในรถยนต์ส่วนบุคคลของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา โดยการตรวจหา *Bacillus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp. เพื่อเป็นดัชนีจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศ ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนจำนวน 27 คัน และฤดูร้อนจำนวน 18 คัน ด้วยวิธี open plate ผลการศึกษาพบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าระหว่าง 0.77 - 15.38 cfu/m³ และปริมาณรามีค่าระหว่าง 0.98 - 17.01 cfu/m³ โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 5.51 ± 3.51 cfu/m³ และ 5.63 ± 3.57 cfu/m³ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อนพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปริมาณราบริเวณเบาะหน้ามีมากกว่าบริเวณเบาะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุด คือ *Aspergillus* spp. (ร้อยละ 77.78) รองลงมาคือ *Bacillus* spp. (ร้อยละ 68.89) และ *Penicillium* spp. (ร้อยละ 44.44) แต่ตรวจไม่พบ *P. aeruginosa* ในรถทุกคันที่ศึกษา ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่อาจเป็นประโยชน์ในการบ่งชี้อันตรายจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอากาศภายในรถยนต์และเป็นสิ่งที่ควรเอาใจใส่และคำนึงถึงเพราะส่งผลต่อสุขภาพ โดยเฉพาะโรคในระบบทางเดินหายใจซึ่งมีความสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ในอากาศเหล่านี้

คำสำคัญ: แบคทีเรียในอากาศ ราในอากาศ รถยนต์

Abstract

Air microbial contamination in cars of Yala Rajabhat University staff was investigated and evaluated using *Bacillus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. as pathogenic indicators. Sampling included 27 and 18 cars during rainy and summer season respectively. By using an open plate method, it was found that total bacterial counts ranged from 0.77 to 15.38 cfu/m³, and fungal counts 0.98 to 17.01 cfu/m³, with overall average of 5.51 ± 3.51 cfu/m³ and 5.63 ± 3.57 cfu/m³ respectively. Statistically, the microbial count during 2 seasons was not significantly different with a 95% of confidence level. Fungal count average in the front seat was significantly higher than the back seat. It was also found that *Aspergillus* spp. was mainly detected (77.78%), followed by *Bacillus* spp. (68.89%) and *Penicillium* spp. (44.44%), respectively. No the bacterial pathogen *P. aeruginosa* was detected in any sample. These results, although preliminary could be helpful as indication of airborne microbial hazards in cars. This subject deserves attention because of implied health problems, especially respiratory disease associated with these microbial pathogens.

Keywords: airborne bacteria, airborne fungi, car

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000,

¹ Lecturer, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Mueng District, Yaly 95000, Thailand.

Corresponding author; Zubaidah Hajiwangoh, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Mueng District, Yala 95000, Thailand. zubaidah.h@yru.ac.th

บทนำ

จุลินทรีย์หลายๆ ชนิดที่พบในอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้¹⁻³ โดยเฉพาะโรคในระบบทางเดินหายใจ⁴ มีรายงานการศึกษาพบว่าการสัมผัสกับจุลินทรีย์ในอากาศที่มีปริมาณมากจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะโรคหอบหืด⁵ โพรงจมูกอักเสบ⁶ ปอดอักเสบจากภูมิแพ้⁷ และอาการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับการอาศัยในอาคาร (sick-building syndrome)⁸ โดยมีรายงานพบการแพร่กระจายของ *Bacillus* spp. ซึ่งพบการปนเปื้อนมากที่สุดในโรงพยาบาลชุมชน⁴ แบคทีเรียชนิดนี้จะก่อให้เกิดโรคในผู้ที่มีการร่างกายอ่อนแอและมีภูมิคุ้มกันบกพร่อง เช่นเดียวกับ *P. aeruginosa* ที่เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในผู้ที่มีภาวะภูมิคุ้มกันต่ำ โดยพบแพร่กระจายในอากาศภายในโรงพยาบาล⁹ และยังพบในแผ่นกรองอากาศของรถยนต์¹⁰ นอกจากนี้ยังมีรา *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp. รวมถึงสปอร์ของราเหล่านี้มีความสามารถในการก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้ และยังสามารถสร้างสารพิษหรือ mycotoxin ได้ เช่น อะฟลา-ทอกซิน (aflatoxins) และไทรโคทีซีน (trichothecenes) เป็นต้น โดยเมื่อสัมผัสสารพิษนี้เข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเป็นหลัก สารพิษจะทำลายเยื่อเมือกในระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดการระคายเคืองตา จมูก และคอ นอกจากนี้ถ้าสปอร์ซึ่งมีขนาดเล็กผ่านลงไปในถุงลมปอดอาจก่อให้เกิดปอดอักเสบได้¹¹

การศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอากาศที่คนเราต้องสัมผัสบ่อยๆ เช่น อากาศในรถยนต์ เนื่องจากเป็นยานพาหนะที่มีความจำเป็นมากในชีวิตประจำวัน รถยนต์จึงเป็นสิ่งแวดล้อมอีกประเภทหนึ่งที่คนส่วนใหญ่ต้องสัมผัสในแต่ละวันและในแต่ละสัปดาห์ ทำให้ปัจจุบันมีความตระหนักถึงสภาวะแวดล้อมภายในรถยนต์มากขึ้น มีการศึกษาเกี่ยวกับมลภาวะต่างๆ ที่ผู้ขับขี่รถยนต์มีความเสี่ยงจะต้องสัมผัสภายในรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบคาร์บอนิล สารอินทรีย์ระเหยง่าย สารไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นละอองหรืออนุภาคเล็ก ๆ¹²⁻¹⁷ รวมถึงมีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในอากาศภายในรถยนต์ โดยพบรา *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* และ *Alternaria* และแบคทีเรียในรถยนต์โดยสารสาธารณะ¹⁸ และภายในรถไฟ¹⁹ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียในอากาศภายในรถยนต์มีปริมาณสูงถึง 2,550 cfu/m³¹

ภายในห้องโดยสารรถยนต์จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในอากาศ โดยเฉพาะโรคในระบบทางเดินหายใจดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยเชื้อโรคสามารถแพร่กระจายหรือติดต่อกันได้โดยการสัมผัสกับผู้ป่วยโดยตรงด้วยการไอหรือจามแล้วหายใจนำเชื้อก่อโรคเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งการไอและจามของผู้ป่วยครั้งหนึ่ง สามารถปล่อยอนุภาคออกมา

ได้มากกว่า 1,000 และ 10,000 อนุภาคตามลำดับ²⁰ และจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแพร่กระจายได้ไกลประมาณ 15 ฟุต โดยจะฟุ้งกระจายไปกับระบบหมุนเวียนอากาศภายในอาคารหรือรถยนต์และมีศักยภาพเพียงพอที่จะเกิดโรคแก่บุคคลที่อยู่ในบรรยากาศนั้นๆ ซึ่งมีการประเมินโรคภูมิแพ้จากมลพิษในอากาศ โดย Center for Disease Control (CDC) พบว่ามีสาเหตุมาจากฝุ่นละออง ละออง ชีวภาพ และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound; VOCs) ร้อยละ 35, 34 และ 31 ของผู้ป่วยที่เกิดภูมิแพ้ตามลำดับ²¹ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เห็นความสำคัญในการประเมินความปลอดภัยทางด้านสุขภาพจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอากาศ โดยได้ศึกษาการแพร่กระจายของปริมาณและชนิดของแบคทีเรียและราในอากาศภายในรถยนต์ โดยกลุ่มตัวอย่างคือ รถยนต์ส่วนบุคคลของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาและมีจุลินทรีย์ที่เป็นตัวบ่งชี้ คือ *Bacillus* spp., *P. aeruginosa*, *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp.

วิธีการทดลอง

การเก็บตัวอย่างและการเพาะเลี้ยงเชื้อ

เก็บตัวอย่างภายในห้องโดยสารของรถยนต์ส่วนบุคคลของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาจำนวน 45 คัน โดยเก็บตัวอย่างในฤดูฝนช่วงเดือนธันวาคม 2558 – มกราคม 2559 และช่วงเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม 2559 ส่วนฤดูร้อนเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม 2559 ระหว่างเวลา 8.00 - 10.00 น. ด้วยวิธี Open plate ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ ศิริพร และกาญจนา⁴ โดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) และอาหาร Potato dextrose agar (PDA) สำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียและราตามลำดับ สำหรับ *P. aeruginosa* ใช้อาหาร MacConkey agar เก็บตัวอย่างโดยการเปิดฝาจานเพาะเลี้ยงเชื้อนาน 15 นาที แล้วนำไปบ่มเพาะเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง สำหรับแบคทีเรียและบ่มที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 สัปดาห์ สำหรับรา แล้วนำมาตรวจนับจำนวนและชนิดของแบคทีเรียและรา พร้อมทั้งพิสูจน์เอกลักษณ์ของแบคทีเรียและรา โดยมีการกำหนดจุดวางจานอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อจำนวน 4 จุด คือ บริเวณเบาะที่นั่งคนขับ ด้านข้างคนขับ และเบาะหลังคนขับทั้ง 2 ตำแหน่ง โดยในการเก็บตัวอย่างได้มีการวัดอุณหภูมิภายในห้องโดยสารรถยนต์ และสอบถามข้อมูลการใช้รถยนต์เบื้องต้น รวมถึงเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณเชื้อระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อน และปริมาณเชื้อระหว่างเบาะหน้าและเบาะหลังด้วยวิธี t-test

การตรวจพิสูจน์เชื้อ *Bacillus* spp. และ *P. aeruginosa*

ตรวจดูลักษณะสัณฐานวิทยาเบื้องต้นของแบคทีเรียเบื้องต้นด้วยวิธีการย้อมแกรม และตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีตามวิธีมาตรฐาน สำหรับโคโลนีที่สงสัยว่าเป็น *Bacillus* spp. มีลักษณะดังนี้ คือ ติดสี แกรมบวก รูปท่อน สร้างสปอร์ ให้ผลการทดสอบ คาทาเลสเป็นบวก ส่วนโคโลนีบนอาหาร MacConkey agar ที่คาดว่าจะ เป็น *P. aeruginosa* จะไม่มีสีหรือเป็นสีเหลืองอ่อน หลังจากนั้นนำโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าวไปตรวจสอบต่อ โดย *P. aeruginosa* มีลักษณะดังนี้ คือ ติดสี แกรมลบ รูปท่อน ไม่สร้างสปอร์ ให้ผลการทดสอบคาทาเลสและออกซิเดสเป็นบวก และให้ผลการทดสอบบนอาหาร Triple sugar iron (TSI) เป็น K/K หรือ K/no change ไม่สร้างแก๊สและไฮโดรเจนซัลไฟด์

การตรวจพิสูจน์ลักษณะของรา

ตรวจดูลักษณะสัณฐานวิทยาบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (macroscopic morphology) โดยดูลักษณะของโคโลนี ผิวหน้าโคโลนี สีโคโลนี การสร้างรงควัตถุในอาหารเลี้ยงเชื้อ ลักษณะได้โคโลนี และลักษณะการเจริญเติบโต เป็นต้น โดยการนำไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง และตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (microscopic morphology) ด้วยวิธีสก็อตเทปเทคนิค หรือวิธี tease mount โดยการแช่เส้นใยแล้วนำไปย้อมด้วยสไลด์โคโตฟีนอลคอตตอลบลู (lactophenol cotton blue) หรือเตรียมสไลด์รา โดยการทำ slide culture แล้วนำไปเปรียบเทียบกับเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ²²⁻²⁴ เพื่อตรวจพิสูจน์ชนิดของรา

ผลการทดลอง

ปริมาณและชนิดของแบคทีเรียและราที่แพร่กระจายในอากาศภายในรถยนต์

จากการสำรวจปริมาณของแบคทีเรียและราภายในห้องโดยสารรถยนต์จำนวน 45 คัน พบว่ารถทุกคันมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ โดยมีปริมาณแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 0.77 - 15.38 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.51 ± 3.51 cfu/m³) และมีปริมาณราระหว่าง 0.98 - 17.01 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.63 ± 3.57 cfu/m³) โดยขณะเก็บตัวอย่างอุณหภูมิภายในห้องโดยสารรถยนต์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 29 - 33 องศาเซลเซียส การเก็บตัวอย่างทำทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน โดยฤดูฝนเก็บตัวอย่าง จำนวน 27 คัน และฤดูร้อนจำนวน 18 คัน

ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียและราตามฤดูกาล (Table 1) พบว่า ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 0.77 - 15.38 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.57 ± 3.80 cfu/m³) และปริมาณราอยู่ระหว่าง 0.98 - 17.01 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.73 ± 3.79 cfu/m³) สำหรับในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 1.71 - 14.47 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.41 ± 3.26 cfu/m³) และปริมาณราอยู่ระหว่าง 1.84 - 12.08 cfu/m³ (ค่าเฉลี่ย 5.49 ± 3.32 cfu/m³) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่าปริมาณแบคทีเรียในฤดูฝนและฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P>0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณราที่พบในฤดูฝนและฤดูร้อน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

การศึกษาครั้งนี้ยังได้เปรียบเทียบปริมาณของเชื้อระหว่างเบาะหน้าและเบาะหลัง (Table 1) โดยผลปรากฏว่าปริมาณแบคทีเรียระหว่างเบาะหน้าและเบาะหลังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนราพบว่า บริเวณเบาะหน้ามีปริมาณรามากกว่าเบาะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการสำรวจพบแบคทีเรียประมาณ 2 - 6 ชนิดต่อคัน โดยส่วนใหญ่พบจำนวนเชื้อ 4 ชนิดต่อคัน (ร้อยละ 37.78) รองลงมา คือ จำนวน 3 ชนิดต่อคัน (ร้อยละ 28.89) ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนราพบจำนวน 2 - 7 ชนิดต่อคัน โดยส่วนใหญ่พบจำนวน 5 ชนิด (ร้อยละ 31.11) รองลงมาคือ จำนวน 6 ชนิด (ร้อยละ 20) ดังแสดงใน Figure 1

Table 1 The average amount of bacteria and fungi by comparing the seasonal and the position of sampling by t-test

ฤดูกาล/ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรีย (cfu/m ³)	ค่าเฉลี่ยปริมาณรา (cfu/m ³)
ฤดูฝน	5.57±3.80	5.73 ± 3.79
ฤดูร้อน	5.41 ± 3.26	5.49 ± 3.32
เบาะหน้า	5.03 ± 3.24	5.69 ± 4.22 ^a
เบาะหลัง	6.01 ± 5.32	0.84 ± 1.84 ^b

Remark: The different superscripts are statistically different at $p\leq 0.05$ according to least significant difference test.

An un-superscripts are not statistically different at $p\leq 0.05$ according to least significant difference test.

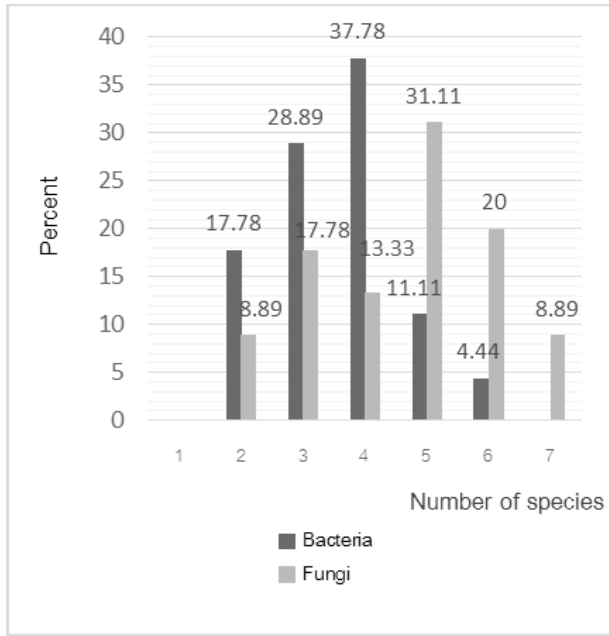


Figure 1 The frequency of species of bacteria and fungi found inside the cars per vehicle

แบคทีเรีย *Bacillus spp.* และ *P. aeruginosa* ในอากาศภายในรถยนต์

ผลการศึกษารายงานว่าไม่พบเชื้อ *P. aeruginosa* ในรถทุกคันที่เก็บตัวอย่าง พบแต่เพียงเชื้อ *Bacillus spp.* ในห้องโดยสารรถยนต์จำนวน 31 คัน (ร้อยละ 68.89) โดยพบจำนวนเชื้อตั้งแต่ 1 – 23 ไอโซเลต โดยมีความถี่ในการพบเชื้อมากที่สุดคือ 1 – 2 ไอโซเลต ต่อคัน (ร้อยละ 22.22-24.44) สำหรับรถยนต์ที่พบเชื้อจำนวน 23 ไอโซเลตมีเพียงคันเดียวเท่านั้น (Figure 2)

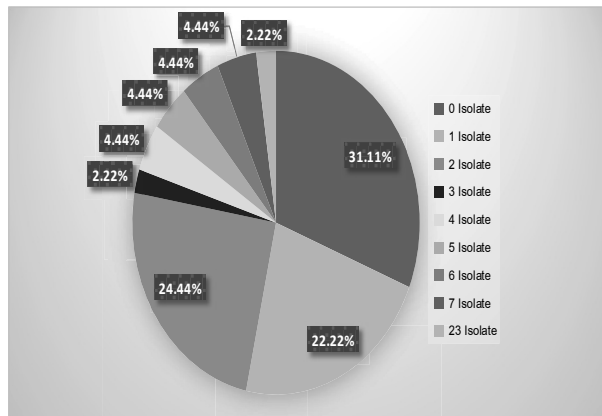


Figure 2 The frequency of *Bacillus spp.* found inside the cars per vehicle

รา *Aspergillus spp.* และ *Penicillium spp.* ในอากาศภายในรถยนต์

จากการสำรวจชนิดของราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนอาหารเลี้ยงเชื้อและลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 ชนิด จัดอยู่ในจีนัส *Aspergillus spp.* โดยพบในรถยนต์จำนวนมากถึง 35 คัน (ร้อยละ 77.78) และโคโลนีที่แตกต่างกัน 2 ชนิด จัดอยู่ในจีนัส *Penicillium spp.* ซึ่งมีจำนวน 20 คัน (ร้อยละ 44.44)

วิจารณ์และสรุปผล

อากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสุขภาพของผู้คน โดยจุลินทรีย์นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอากาศ มีรายงานพบว่าการสัมผัสจุลินทรีย์ในอากาศเป็นจำนวนมาก มีความสัมพันธ์กับโรคในระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะโรคหอบหืดและจมูกอักเสบ²⁵ การศึกษาครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ที่แพร่กระจายในอากาศภายในห้องโดยสารรถยนต์ส่วนบุคคลทั้งในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งพบแบคทีเรียและราในรถทุกคันที่ตรวจ สำหรับจุลินทรีย์ที่แพร่กระจายในอากาศเหล่านี้ อาจมีต้นกำเนิดมาจากวัสดุต่างๆ ภายในรถ เช่นพรมปูพื้นรถ รวมถึงเบาะรถยนต์ที่มีลักษณะเป็นเบาะผ้า ประกอบกับการไหลของอากาศภายในรถยนต์ที่เกิดจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศ หรือการไหลของอากาศจากภายนอกเข้ามาในรถยนต์ จึงทำให้มีจุลินทรีย์แพร่กระจายภายในรถยนต์ได้^{18,26,27} ซึ่งจากการเก็บข้อมูลการล้างแอร์ของรถที่เก็บตัวอย่าง พบว่าร้อยละ 53.33 ไม่ได้มีการล้างแอร์มานานกว่า 6 เดือน ดังนั้นสิ่งเหล่านี้จึงเป็นเสมือนปัจจัยส่งเสริมที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ภายในรถยนต์ นอกจากนี้อุณหภูมิและความชื้นก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย^{28,29}

การศึกษานี้พบปริมาณแบคทีเรียและราค่อนข้างน้อย โดยมีค่าเฉลี่ย 5.51 ± 3.51 cfu/m³ และ 5.63 ± 3.57 cfu/m³ ตามลำดับ ซึ่งยังมีปริมาณค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพอากาศภายในอาคารตามมาตรฐาน Guide lines for Good Indoor Air Quality in Office Premises (1996:40) โดยกระทรวงสิ่งแวดล้อม ประเทศสิงคโปร์ที่ได้กำหนดให้จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (aerobic plate count) และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดที่ยอมรับได้ คือ ไม่เกิน 500 cfu/m³ นอกจากนี้ปริมาณจุลินทรีย์ที่ตรวจนับได้ภายในรถส่วนบุคคลนี้ ยังมีปริมาณน้อยกว่าจุลินทรีย์ที่ตรวจนับได้ในอากาศภายในรถโดยสารประจำทางและรถโดยสารสาธารณะ¹⁸ ซึ่งพบว่าปริมาณแบคทีเรียและราอยู่ในช่วง $10^1 - 10^3$ cfu/m³

ทั้งนี้ผลการศึกษาที่แตกต่างกันอาจเกิดจากหลายๆ ปัจจัย อาทิเช่น รถโดยสารประจำทางหรือรถโดยสารสาธารณะ เป็นยานพาหนะที่มีผู้ใช้บริการหลากหลาย ซึ่งทำให้อากาศภายในเป็นอนุจุลินทรีย์มีสูงขึ้น ประกอบกับช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างคือช่วงที่รถยนต์กำลังวิ่งตามปกติและมีการใช้เครื่องปรับอากาศ จึงทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งเกิดจากฝุ่นละออง หรืออนุภาคต่างๆ ที่ตกอยู่ตามพื้น หรือเบาะที่นั่งคนขับหรือผู้โดยสาร แต่สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างภายในรถยนต์ของรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งมีผู้โดยสารน้อยกว่า และเก็บตัวอย่างในขณะที่รถยนต์จอดแล้ว จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีปริมาณเชื้อน้อยกว่าและเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่พบภายในอาคาร เช่น อากาศภายในโรงพยาบาลขนาดต่างๆ ซึ่งพบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดค่อนข้างมาก คือ อยู่ในช่วง 392.97 – 456.11 cfu/m³ แสดงให้เห็นว่าภายในรถยนต์มีปริมาณจุลินทรีย์ค่อนข้างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบการปนเปื้อนทั้งแบคทีเรียและราในอากาศภายในรถยนต์ทุกคันที่ตรวจ และเนื่องจากภายในห้องโดยสารรถยนต์มีลักษณะปิด มิได้เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะโล่งกว้าง การระบายอากาศจึงไม่ได้เช่นเดียวกับภายในอาคาร ดังนั้นผู้โดยสารหรือผู้ขับซึ่งไม่ควรละเลยในการดูแลรักษาความสะอาด เพื่อไม่ให้แหล่งสะสมและทำให้อุณหภูมิเหล่านี้เพิ่มจำนวนเพิ่มมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแบคทีเรียและราในระหว่างช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในช่วงระหว่างที่เก็บตัวอย่างอุณหภูมิภายในรถยนต์ไม่มีความแตกต่างกันมาก โดยในช่วงฤดูฝนอุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่างอยู่ระหว่าง 26 – 36 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 25 มีอุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง คือ มีอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส มีเพียง 1 คันเท่านั้น สำหรับฤดูร้อนอุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่างอยู่ระหว่าง 27 – 34 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 33.33 มีอุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง 31 องศาเซลเซียส จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในรถยนต์ในระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อนไม่แตกต่างกันมาก ทำให้ปริมาณเชื้อที่พบจึงมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ปริมาณราบริเวณเบาะหน้ามากกว่าเบาะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากบริเวณเบาะหน้าเป็นส่วนที่มีเครื่องปรับอากาศอยู่ ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศ เช่น แผ่นกรองอากาศจะมีฝุ่น หรือเศษผงต่างๆ รวมถึงจุลินทรีย์เกาะติดอยู่ ประกอบกับเมื่อเกิดความชื้นขึ้นขึ้นอย่าง

น้อย 48 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงทำให้ราสามารถก่อตัวในระบบปรับอากาศได้ และเมื่อมีการเปิดเครื่องปรับอากาศจุลินทรีย์เหล่านี้จึงแพร่กระจายเข้ามาภายในรถยนต์^{10,30} โดยมีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นแผ่นกรองอากาศภายในเครื่องปรับอากาศเป็นแหล่งสำคัญของจุลินทรีย์หลากหลายชนิดรวมถึงสารพิษจากจุลินทรีย์¹⁰ และเนื่องจากสปอร์ของรามีสขนาดเล็กและปลิวหรือล่องลอยตามกระแสลมได้ง่าย ดังนั้นเมื่อมีการระบายอากาศในช่วงที่เครื่องปรับอากาศทำงาน บริเวณเบาะหน้าจึงพบการแพร่กระจายของราได้สูงกว่าเบาะหลัง ดังนั้นถึงแม้ว่าเครื่องปรับอากาศจะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศ¹ แต่จุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่บริเวณแผ่นกรองอากาศซึ่งเกิดจากการดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่อง สามารถแพร่กระจายเข้ามาในตัวรถได้¹⁰ โดยมีรายงานพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศใหม่แทนที่แผ่นกรองอากาศที่เก่าแล้วคุณภาพอากาศทางจุลินทรีย์จะดีขึ้นตามไปด้วย³¹

สำหรับจุลินทรีย์ที่ตรวจพบมากที่สุดในครั้งนี้คือ *Aspergillus* spp. (ร้อยละ 77.78) รองลงมาคือ *Bacillus* spp. (ร้อยละ 68.89) และ *Penicillium* spp. (ร้อยละ 44.44) ตามลำดับ แต่ตรวจไม่พบเชื้อ *P. aeruginosa* ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของเด่นนภา และลาววัลย์³² ที่ได้ศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในเครื่องปรับอากาศ โดยพบว่าราที่พบได้บ่อยที่สุด คือ *Aspergillus* spp. เช่นเดียวกับกับผลการวิจัยของ ศิริพร และกาญจนา⁴ ซึ่งตรวจคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล ที่พบ *Aspergillus* spp. จำนวนมากที่สุด (ร้อยละ 43.69) รองลงมาคือ *Bacillus* spp. (ร้อยละ 39.06) นอกจากนี้ Lee และ Jo¹⁸ ได้ศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียและราในอากาศภายในรถโดยสารประจำทางและรถโดยสารสาธารณะ และปรากฏว่ามีรา 4 ชนิดที่พบมาก โดย *Cladosporium* พบสูงสุด รองลงมา คือ *Penicillium*, *Aspergillus* และ *Alternaria* ตามลำดับ การพบจุลินทรีย์เหล่านี้ โดยเฉพาะ *Penicillium* และ *Aspergillus* มีความสัมพันธ์อย่างมากกับโรคในระบบทางเดินหายใจ โดยเมื่อมีการสูดดมสปอร์ของราเข้าไปจะเป็นสาเหตุของโรคหอบหืดและภูมิแพ้^{33,34} นอกจากนี้การพบทั้งแบคทีเรียและราในรถทุกคันที่ตรวจ แสดงให้เห็นว่าผู้โดยสารมีโอกาสเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายต่อสุขภาพจากจุลินทรีย์เหล่านี้ เนื่องจากมีรายงานการตรวจพบเอนโดท็อกซิน (endotoxin) และเบต้ากลูแคน (β -1,3-glucan) ในฝุ่นบนเบาะที่นั่งของผู้โดยสาร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอาการหอบหืด³⁵ ประกอบกับผู้โดยสารส่วนใหญ่จะต้องโดยสารอยู่ภายในรถเป็นประจำเกือบทุกวัน ดังนั้นผู้โดยสารจึงต้องตระหนักและให้ความสำคัญในการป้องกันการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ ด้วยการลดปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการหมั่นดูแลรักษา

ความสะอาดภายในตัวรถ โดยเฉพาะแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ จำพวกวัสดุประเภทพรมปูพื้นรถ เบาะนั่งที่เป็นผ้า รวมถึงการบำรุงรักษาและดูแลระบบเครื่องปรับอากาศภายในรถ การทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศหรือเปลี่ยนเมื่อมีอายุการใช้งานที่นาน เพื่อป้องกันการสะสมของจุลินทรีย์บนแผ่นกรอง อันเป็นสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งของการแพร่กระจายของเชื้อ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบบำรุง การศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประจำปี พ.ศ. 2559 และ ขอขอบคุณบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ได้ให้ความ อนุเคราะห์ตัวอย่างในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Jo WK, Lee JH. Airborne fungal and bacterial levels associated with the use of automobile air conditioners or heaters, room air conditioners, and humidifiers. *Arch Environ Occup Health* 2008;63:101-7.
2. Knibbs LD, Morawska L. Traffic-related fine and ultra-fine particle exposures of professional drivers and illness: an opportunity to better link exposure science and epidemiology to address an occupational hazard?. *Environment International* 2012; 49:110-4.
3. Stepheson RE, Gutierrez D, Peter C, Nichols M, Boles BR. Elucidation of bacteria found in car interiors and strategies to reduce the presence of potential pathogens. *Biofouling* 2014;30(3):337-46.
4. ศิริพร ศรีเทวธิณ, กาญจนา นาทะพินธุ. การปนเปื้อนเชื้อ จุลินทรีย์ในบรรยากาศในโรงพยาบาล ขนาดที่แตกต่าง กัน. *วารสารวิจัย มข. (บศ.)* 2555;12(40):92-101.
5. Ross MA, Curtis L, Scheff PA, Hryhorczuk DO, Ramakrishnan V, Wadden RA et al. Association of asthma symptoms and severity with indoor bioaerosols. *Allergy* 2000;55:705-11.
6. Windsor RC, Johnson LR. Canine chronic inflammatory rhinitis. *Clin Tech Small Anim Pract* 2006;21:76-81.
7. Lacey J, Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. *J Aerosol Sci* 1994;25:1371-1404.
8. Bolashikov ZD, Melikov AK. Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens. *Build Environ* 2009;44:1378-85.
9. พิณิจ กล้าคลองตัน. การแพร่กระจายของเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* ในสถานพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลนภากาศ จังหวัดสมุทรสงคราม. วิทยานิพนธ์มหา บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร;2553.
10. Li J, Li M, Shen F, Zou Z, Yao M, Wu C. Characterization of biological aerosol exposure risks from automobile air conditioning system. *Environmental Science & Technology* 2013;47:10660-6.
11. Meklin T, Husman T, Vepsäläinen A, Vahteristo M, Koivisto J, Halla-aho J et al. Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air* 2002;12(3):175-83.
12. Riediker M, Williams R, Devlin R, Griggs T, Bromberg P. Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutants inside patrol cars. *Environ Sci Technol* 2003;37:2084-93.
13. Sapkota A, Buckley TJ. The mobile source effect on curbside 1,3-butadiene, benzene, and particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons associated at a tollbooth. *J of Air and Waste Management Association* 2003;53:740-48.
14. Go´mez-Perales JE, Colville RN, Nieuwenhuij sen MJ, Fern´andez-Bremauntz A, Gutie´rrez-Avedoy VJ, Pa´ramoFigueroa VH et al. Commuters' exposure to PM2.5, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment* 2004;38:1219-29.
15. Shiohara N, Fernandez-Bremauntz AA, Blanco Jim ´enezS, Yanagisawa ´Y. The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City. *Atmos Environ* 2005;39:3481-9.
16. Zeldin DC, Eggleston P, Chapman M, Piedimonte G, Renz H, Peden D. How exposures to biologics influence the induction and incidence of asthma. *Environ Health Perspect* 2006;114:620-6.
17. Pang X, Mu Y. Characteristics of carbonyl compounds in public vehicles of Beijing City: concentrations, sources, and personal exposures. *Atmos Environ* 2007;41:1819-24.

18. Lee JH, Jo WK. Exposure to airborne fungi and bacteria while commuting in passenger cars and public buses. *Atmospheric environment* 2005;39:7342-50.
19. Wang YF, Wang CH, Hsu KL. Size and seasonal distributions of airborne bioaerosols in commuting trains. *Atmospheric environment* 2010;44:4311-38.
20. Kowalski WJ, Bahnfleth W. Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes. *Journal of Heating/Piping/Air conditioning Engineering* 1998;70:34-52.
21. ปุญญาณีช บริเวรานันท์. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและราในอากาศของโรงพยาบาลในเขตปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
22. เสาวนิตย์ ชอบบุญ. การจำแนกเชื้อราเส้นสายที่พบในอาหารและอากาศ. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา; 2550.
23. Germain G, Summerbell R. Identifying fungi: A clinical laboratory handbook. 2nd ed. CA: Starpunlishing; 2011.
24. Mycology web page[internet]. Toronto: New Brunswick Museum; 2015 [updated 2016 June 1; cited 2016 August 4]. Available from: <http://website.nbm-mnb.ca/>
25. Beaumont F. Clinical manifestations of pulmonary Aspergillus infections. *Mycoses* 1988; 31: 15–20.
26. Gravesen S, Larsen L, Gyntelberg F, Skov P. Demonstration of microorganisms and dust in schools and Offices. *Allergy* 1986;41: 520–25.
27. Su HK, Chen HL, Huang CF, Lin CY, Li FC, Milton DK. Airborne fungi and endotoxin concentrations in different areas within textile plants in Taiwan:a 3-year study. *Environmental Research* 2002;89:58–65.
28. Jones, BL, Cookson IT. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. *Applied and Environmental Microbiology* 1983;45:919–34.
29. Ren P, Jankun TM, Belanger K, Bracken MB, Leaderer BP. The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics. *Allergy* 2001;56:419–24.
30. สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. การแก้ไขปัญหาเชื้อราในระบบปรับอากาศ. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยบทความวิชาการชุดที่ 16;2551:63-81
31. Vonberg RP, Gastmeier P, Kenneweg B, Holdack-Janssen H, Sohr D, Chaberny IF. The microbiological quality of air improves when using air conditioning systems in cars. *BMC Infect Dis* 2010;10:146.
32. เต็มหน้า รุ่งศิริ, ลาวัลย์ พึ่งขจร. ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในเครื่องปรับอากาศของมหาวิทยาลัย ราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. รายงานการวิจัย โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา;2545.
33. Halonen M, Stern DA, Wright AL, Taussig LM, Martinez FD.. Alternaria as a major allergen for asthma in children raised in a desert environment. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1997;155:1356–61.
34. Ostro B, Lipsett M, Mann J, Braxton-Owens H, White M. Air pollution and exacerbation of asthma in African-American children in Los Angeles. *Epidemiology* 2001;12:200–8.
35. Wu FF, Wu MW, Chang CF, Lai SM, Pierse N, Crane J, Siebers R. Endotoxin and β -(1,3)-glucan levels in automobiles: A pilot study. *Ann Agric Environ Med* 2010;17:327-30.

ผลของไซโคลอัลลิอิน ต่อการสลายไขมันและลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

Effect of cycloalliin on lipolysis and lipid peroxidation

อชิตา จารุโชติกมอล^{1*}, จินตนา ประทุมชาติ², จิราพร พรหมโคตร², ฉวีวรรณ พุ่มเพ็ชร²,
ศิรินันท์ จันรุ่งคำ², พรทิพย์ วรกีจพูนผล², พรปวีณ์ บรรลึงค์², ปวีตรา พูลบุตร¹,
เบญจมาศ คุชนี¹

Achida Jaruchotikamol^{1*}, Jintana Pratumchart², Jiraporn Promkod², Chaweewan Pumpet²,
Sirinan Janrongkhum², Pornthip Worakitpoonpal², Pornpawee Banlung², Pawitra Pulbutr¹,
Benjamart Cushnie¹

Received: 5 July 2017 ; Accepted: 13 September 2017

บทคัดย่อ

พืชตระกูล *Allium* (หอมหัวใหญ่และกระเทียม) เป็นพืชที่ใช้ประกอบอาหารและเป็นพืชสมุนไพรทางการแพทย์ที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายอย่าง ไซโคลอัลลิอินเป็นสารประกอบหลักในกลุ่มออร์แกโนซัลเฟอร์ที่พบในพืชตระกูล *Allium* ที่มีฤทธิ์ในการช่วยลดระดับไขมันในเลือดและลดความอ้วน แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงกลไกการเกิดฤทธิ์ดังกล่าว เมื่อกระบวนการสลายไขมันของเซลล์ไขมันมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการควบคุมเมแทบอลิซึมของน้ำตาลและไขมัน และความผิดปกติของเมแทบอลิซึมของสารเหล่านี้ สามารถสร้างอนุมูลอิสระและนำมาซึ่งภาวะไขมันในเลือดสูงและโรคเบาหวาน การศึกษาในหลอดทดลองครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาผลของสารไซโคลอัลลิอินต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันของหนูขาวและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เซลล์ไขมันของหนูสองกลุ่ม (กลุ่มที่ได้รับอาหารปกติ (normal pellet diet; NPD) และกลุ่มที่ได้รับอาหารไขมันสูง (high fat diet; HFD)) ถูกทดสอบกับไซโคลอัลลิอินในสภาวะเซลล์ปกติ หรือในสภาวะที่เติม isoprenaline (0.1 μM ; ISO-induced lipolysis) พบว่าที่สภาวะ ISO-induced lipolysis ในเซลล์ไขมันที่ได้จากหนูขาวกลุ่ม NPD ไซโคลอัลลิอินที่ 1, 10 และ 100 μM มีฤทธิ์ยับยั้งการสลายไขมันได้ โดยมีระดับความเข้มข้นของ FFAs เท่ากับ 581.47 ± 67.79 , 575.3 ± 28.95 และ 555.77 ± 45.53 $\mu\text{M}/\text{mL}$ PCV/h ตามลำดับ ระดับการสลายไขมันมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (651.03 ± 31.98 $\mu\text{M}/\text{mL}$ PCV/h) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; $n = 5$) อย่างไรก็ตาม ไซโคลอัลลิอินไม่มีผลต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันที่ได้จากหนูขาวกลุ่ม HFD อีกทั้งไซโคลอัลลิอินไม่มีผลต่อการสลายไขมันที่สภาวะปกติทั้งในเซลล์ไขมันที่ได้จากหนูขาวกลุ่ม NPD และ HFD ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไซโคลอัลลิอินทดสอบด้วยวิธี 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) assay และ anti-oxidation assay พบว่าไซโคลอัลลิอินมีฤทธิ์ต้านการเข้าจับอนุมูล DPPH ในการทดสอบ anti-oxidation assay ที่เวลา 48 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา ไซโคลอัลลิอินที่ 10, 30 และ 100 μM สามารถต้าน autooxidation ของกรดไขมัน linoleic ได้ แต่หลัง 72 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยาพบฤทธิ์นี้เฉพาะที่ความเข้มข้น 100 μM ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไซโคลอัลลิอินสามารถยับยั้งการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาวกลุ่ม NPD ที่สภาวะ ISO-induced lipolysis และมีฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งผลนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการสลายไขมันและน้ำตาลในเลือดของไซโคลอัลลิอิน

คำสำคัญ: ไซโคลอัลลิอิน การสลายไขมัน เซลล์ไขมันของหนูขาว ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

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

Abstract

Allium species (garlic and onion) are edible plants that are also used as herbal medicines. These plants have been found to possess various pharmacological activities. Cycloalliin is one of the major organosulfur compounds found in *Allium* species. The hypolipidemic and anti-obesity effects of cycloalliin were reported previously. However, its actual mechanism of action has not been established. Adipocyte lipolysis plays an important role in the regulation of lipid and glucose metabolism. Abnormal conditions of these metabolism can produce reactive oxygen species and usually lead to hyperlipidemia and diabetes. The present study aimed to investigate the *in vitro* effects of cycloalliin on rat adipocyte lipolysis and antioxidant activity. Adipocyte suspensions of two groups of rat (normal pellet diet (NPD)-fed rat and high fat diet (HFD)-fed rat) were treated with cycloalliin in the absence (basal lipolysis) or the presence of isoprenaline (0.1 μ M; ISO-induced lipolysis). Cycloalliin at concentrations of 1, 10 and 100 μ M inhibited ISO-induced lipolysis in adipocytes derived from NPD-fed rats with free fatty acid concentrations of 581.47 ± 67.79 , 575.30 ± 28.95 and 555.77 ± 45.53 μ M/mL packed cell volume/h, respectively. These results showed significantly lower levels than the control (651.03 ± 31.98 μ M/mL packed cell volume/h) ($p < 0.05$; $n = 5$). However, no significant difference was found when cycloalliin was tested on adipocytes derived from HFD-fed rats. Cycloalliin did not produce a significant effect on basal lipolysis in adipocytes derived from both NPD-fed rats and HFD-fed rats. In terms of antioxidant activity of cycloalliin, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) assay and anti-oxidation assay were applied. Cycloalliin showed low capability on DPPH scavenging. In anti-oxidation assay, 48 h incubation of cycloalliin at concentrations of 10, 30 and 100 μ M inhibited significantly autooxidation of linoleic acid, but after 72 h incubation, only at the 100 μ M demonstrated this effect. In conclusion, cycloalliin significantly inhibits ISO-induced lipolysis in adipocytes derived from NPD-fed rats, and shows anti-lipid peroxidation activity. These may suggest that effects of cycloalliin could be related to hypolipidemia and hypoglycemia.

Keywords : cycloalliin, lipolysis, rat adipocyte, lipid peroxidation

บทนำ

White adipose tissue (WAT) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อสีขาวภายในประกอบด้วย white adipocytes สามารถพบได้ในบริเวณเยื่อบุช่องท้องและในอวัยวะภายใน มีบทบาทสำคัญต่อ lipid metabolism, glucose metabolism และ endocrine functions (Avram et al., 2005) สำหรับ lipid metabolism นั้น WAT ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ การควบคุมเมแทบอลิซึมของไขมันในเซลล์ไขมัน ได้แก่ FFAs uptake, lipogenesis และ lipolysis เมื่อรับประทานอาหารที่มีไขมันเข้าไปร่างกายจะมีกระบวนการย่อยไขมันเหล่านี้ในลำไส้และดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งร่างกายจะนำไขมัน cholesterol และ triglyceride (TG) เข้าสู่กระแสเลือด โดยอาศัยโปรตีน (lipoproteins) ในเลือดช่วยลำเลียง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ very low density lipoproteins (VLDL), low density lipoproteins (LDL), high-density lipoproteins (HDL) และ total cholesterol การกำจัด LDL ออกจากกระแสเลือดผ่านทาง LDL receptor ร่างกายจะเก็บสะสมไขมันในรูปแบบ triglyceride (TG) ในเซลล์ไขมัน (adipocytes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ WAT เมื่อร่างกายต้องการ

พลังงานจะเกิดกระบวนการสลายไขมัน (lipolysis) โดยอาศัยเอนไซม์ hormone sensitive lipase (HSL) และปฏิกิริยา hydrolysis ได้เป็น free fatty acids (FFAs) และ glycerol (Zechner et al., 2009; Zimmermann et al., 2009) ซึ่งพบว่าในคนที่มีความอ้วนสามารถเกิดการเก็บสะสมไขมันในรูปแบบ TG ได้มากกว่าคนปกติ (Avram et al., 2005; Goossens, 2008) อีกทั้งยังเกิด perilipin expression ลดลง จึงส่งผลให้ร่างกายเกิดกระบวนการ lipolysis เพิ่มขึ้น (Wang et al., 2003; Wang et al., 2011) นำไปสู่ความผิดปกติของระดับไขมันในเลือด (dyslipidemia) และเกิดภาวะ metabolic syndrome (Wajchenberg, 2000; Langin, 2006) ในกระบวนการ glucose metabolism เนื้อเยื่อไขมันทำงานร่วมกันกับกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อลาย เพื่อควบคุม GLUT-4 ที่ทำหน้าที่ขนส่ง glucose จากกระแสเลือดไปเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ซึ่ง glucose ถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ *de novo* FFAs และ glycerol synthesis (lipogenesis) ผ่านทาง glycolytic pathway (Wajchenberg, 2000) และกระบวนการ lipolysis ของ TG ใน adipocytes ที่

เพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับ FFAs ในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่ออัตราการสร้าง glucose จาก glycerol, lactate และ amino acids (gluconeogenesis) และมีผลต่อ hepatic clearance ของ insulin ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น (hyperglycemia) ทำให้เกิด insulin resistance ตามมาได้ (Goossens, 2008) ขณะที่ endocrine function เซลล์ไขมันเป็นแหล่งสร้างสารพวก peptides ที่มีความสำคัญต่อ adipose tissue, endocrine, paracrine และ autocrine signals (Kim and Moustaid-Moussa, 2000; Poulos et al., 2010) ดังนั้นกระบวนการ lipolysis จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการควบคุมระดับไขมันและน้ำตาลในร่างกาย

อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ อะตอม โมเลกุล หรือ สารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron) ตั้งแต่ 1 อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในวงออร์บิทัลวงนอกสุด (outer orbital) ทำให้ไม่เสถียรและเป็นสารที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างว่องไวกับอะตอมหรือโมเลกุลของสารอื่นๆ รวมถึงสารภายในร่างกาย (macromolecule) เช่น โปรตีน ไขมัน และ DNA เป็นต้น ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) เป็นกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมันโดยอนุมูลอิสระ มักเกิดกับไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและสามารถเกิดขึ้นได้เองในบรรยากาศ (autooxidation) แบ่งขั้นตอนของปฏิกิริยาเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้น (initiation) ขั้นถ่ายทอด (propagation) และขั้นสิ้นสุด (termination) กระบวนการนี้สามารถเกิดเป็นกระบวนการลูกโซ่หากไม่มีการหยุดปฏิกิริยา (Adly, 2010) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นได้อย่างมากมาย (oxidative stress) อนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ เป็นต้น (Adly, 2010) ในภาวะ oxidative stress โดยเฉพาะเมื่อนำมาซึ่งกระบวนการลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน พบว่ามีความเกี่ยวข้องอย่างยิ่งกับภาวะไขมันในเลือดสูงและโรคเบาหวาน (Yang et al., 2008; Arora et al., 2013)

ในปัจจุบันการใช้สมุนไพรและอาหารสุขภาพจัดเป็นการแพทย์ทางเลือกในการรักษาโรค รวมถึงป้องกันผลแทรกซ้อนที่เกี่ยวข้องกับโรคทาง metabolic syndrome หอมหัวใหญ่และกระเทียม (พืชตระกูล *Allium*) พืชสมุนไพรในครัวเรือนที่นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย เช่น ลดระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด (Ozougwu, 2011; Zeng et al., 2017) ด้านออกซิเดชัน (Meriga et al., 2012) และลดความอ้วน (Yoshinari et al., 2012) เป็นต้น ซาโคลอัลลิอินเป็นสารในกลุ่ม organosulfur ที่พบในหอมหัวใหญ่และกระเทียม (Ueda et al., 1994; Allison et al., 2006)

มีฤทธิ์เพิ่มการสลายลิ้มเลือดในผู้ป่วย angina pectoris หรือ old myocardial infarction (Agarwal et al., 1977) ลดการหลั่ง apoB100 และลดระดับ TG ในเลือดของหนู (Yanagita et al., 2003) ช่วยเหนี่ยวนำการทำงานของเอนไซม์ quinone reductase (Xiao and Parkin, 2002) ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ใน phase II metabolism ที่มีบทบาทในการช่วยกำจัดของเสียออกจากร่างกาย (detoxification) ช่วยให้สารต้านออกซิเดชันที่อยู่ในร่างกายทำงานได้ดีขึ้น (Hedges and Lister, 2007)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าไซโคลอัลลิอินมีผลต่อระดับไขมันในร่างกาย แต่ในปัจจุบันไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ของสารนี้ที่มีผลต่อกระบวนการใดที่ทำให้สามารถลดระดับไขมันในเลือด การศึกษาที่สนใจศึกษาฤทธิ์ของไซโคลอัลลิอินต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาว โดยแบ่งหนูเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารปกติ (normal pellet diet; NPD) และกลุ่มที่ได้อาหารไขมันสูง (high fat diet; HFD) โดยแต่ละกลุ่มจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สภาวะ คือ ในสภาวะเซลล์ปกติและในสภาวะที่เซลล์ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการสลายไขมัน อีกทั้งในการศึกษาครั้งนี้ยังได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) โดยทดสอบในหลอดทดลอง (*in vitro*) ด้วย 2 วิธีการ คือ 1) การทดสอบความสามารถในการเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay; DPPH radical scavenging assay) และ 2) การทดสอบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองของกรดไขมัน linoleic (anti-autooxidation assay of linoleic acid) ผลจากการศึกษานี้จะช่วยอธิบายฤทธิ์ของไซโคลอัลลิอินที่มีผลต่อไขมัน และจะเป็นข้อมูลยืนยันฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารนี้ที่สามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพหรือประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางคลินิกต่อไป

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

สารเคมี

(1S,3R,5S)-5-methyl-1,4-thiazane-3-carboxylic acid 1-oxide (cycloalliin; $C_6H_{11}NO_3S$; Wako chemical, Japan), isoprenaline (Sigma, USA), collagenase type II (Sigma, USA), non-esterified fatty acid assay kit (Wako chemical, Japan), bovine serum albumin; BSA (Sigma, USA), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH; $C_{18}H_{12}N_5O_6$) (Sigma, USA), ascorbic acid ($C_6H_8O_6$) (Carlo Erba Reagent, Italy), linoleic free fatty acid ($C_{18}H_{32}O_2$) (Sigma, USA), butylated hydroxytoluene ($C_{15}H_{24}O$) (Fluka, Swit-

zerland), ammonium thiocyanate (NH_4SCN) (Carlo Erba Reagent, Italy), ferrous chloride ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Aldrich, USA) สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเคมีมาตรฐานจากบริษัท

วิธีการศึกษา

1. การทดสอบฤทธิ์ต่อการสลายไขมัน (Pulbutr et al., 2011; อธิกา จารุโชติกมลและคณะ, 2556) รายละเอียดการเตรียมการและการทดสอบดังนี้

สัตว์ทดลอง

หนูขาวสายพันธุ์ Wistar เพศผู้ น้ำหนัก 150-200 g จากศูนย์สัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม เลี้ยงในห้องเลี้ยงสัตว์ทดลองโดยมีระยะเวลาการให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมง (06.00 น.-18.00 น.) และมีมืด 12 ชั่วโมง (18.00 น.- 06.00 น.) ภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเสียง วิธีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ทดลองได้ผ่านการยื่นขออนุมัติการทำงานวิจัยในสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการจริยธรรมการทำวิจัยในสัตว์ทดลอง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ก่อนดำเนินการทดลอง (หมายเลข 0016/2554)

หนูถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม (กลุ่มละ 8 ตัว) คือกลุ่มเลี้ยงด้วยอาหารสัตว์ทดลองชนิดปกติ (normal pellet diet; NPD) ใช้อาหารสัตว์ทดลองชนิดพินแทะสูตร 082 (สำหรับหนูขาว; บริษัท C.P.ประเทศไทย) จากศูนย์สัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล และกลุ่มเลี้ยงด้วยอาหารสัตว์ทดลองชนิดที่มีไขมันสูง (high fat diet; HFD) ใช้สูตรอาหารสัตว์ทดลองที่มีไขมันสูงตามการศึกษาของ อธิกา จารุโชติกมลและคณะ (2556) โดยในสัปดาห์แรกเลี้ยงหนูด้วยอาหารปกติเพื่อปรับสภาพหนูก่อน จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นอาหารสำหรับแต่ละกลุ่มทดลอง ซึ่งหนูจะได้รับอาหารและน้ำเพียงพอตามความต้องการ (*ad libitum*) ทำการชั่งน้ำหนักของหนูขาวเมื่อเริ่มทำการทดลอง และจดบันทึกข้อมูลน้ำหนักตัวของหนูขาวแต่ละตัวทุกสัปดาห์หลังเริ่มทำการทดลองนาน 3 สัปดาห์ (วันที่ 28) เปรียบเทียบน้ำหนักของหนูกลุ่ม NPD และ HFD ที่เวลาเลี้ยงต่าง ๆ

การเตรียม adipocyte suspension

วันที่ 28 นำหนูมาเพื่อเตรียม epididymal fat pads จากหนูขาวทั้งกลุ่ม NPD และ HFD โดยนำหนูมาชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดลอง จากนั้นทำให้ตายอย่างสงบโดยการตั้งคอ นำเอา epididymal fat pads บริเวณใกล้กับอวัยวะของหนูขาวจำนวน 1 คู่/ตัว มาชั่งน้ำหนัก (คำนวณน้ำหนัก epididymal fat pads/น้ำหนักตัวหนูขาว) เปรียบเทียบน้ำหนัก epididymal fat pads ของหนูกลุ่ม NPD และ HFD

ตัดแยกเอาเส้นเลือดและ epididymal tissue ออก จากนั้นล้างด้วย Hanks/BSA buffer solution อีกครั้ง ทำการตัด epididymal fat pads ให้เป็นชิ้นเล็กๆ จนกว่าจะไม่มีเนื้อเยื่อชิ้นใหญ่ปรากฏอยู่ เพื่อให้เนื้อเยื่อขนาดประมาณ 0.5-1 mm^2 ย่อยเนื้อเยื่อด้วย collagenase enzyme (type II) in Hanks/BSA buffer solution ความเข้มข้น 0.5 mg/ml ปริมาตร 10 ml โดยเขย่าใน water bath ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 7-10 นาที จนได้ส่วนผสมที่มีลักษณะคล้ายน้ำมัน นำส่วนผสมที่ได้มากรองด้วยผ้าก๊อช 2-3 ชั้น เพื่อแยกเนื้อเยื่อที่มีชิ้นใหญ่ออกจากเซลล์ไขมัน ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น 5 นาที และดูเอาชั้นของ adipocytes ออกมาเติม Hanks/BSA buffer solution ปริมาตร 40 ml เพื่อล้าง collagenase ออก และเตรียม adipocytes suspension ด้วย Hanks/BSA solution ในอัตราส่วน 1:1 (v/v)

การทดสอบ adipocyte suspension กับสารเพื่อศึกษาฤทธิ์ต่อการสลายไขมัน

นำไซโคลอัลลิอินเติมลงใน adipocytes suspension (ที่ได้จากทั้งกลุ่ม NPD หรือ HFD) ปริมาตร 800 μl ทดสอบในสภาวะที่มีและไม่มี 0.1 μM isoprenaline (ISO) ปริมาตรของปฏิกิริยารวมสุทธิเท่ากับ 1,000 μl บ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 1 ชั่วโมง ทำการเก็บ sample media ชั้นใสที่อยู่ส่วนล่างจากแต่ละหลอดทดลองไปใส่ในหลอดทดลองใหม่ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาระดับกรดไขมันอิสระต่อไป

การวิเคราะห์หาระดับกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids; FFAs) ใช้ non-esterified free fatty acid kit (Wako chemicals, Japan) และวัดการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปโดยใช้ microplate reader ที่ความยาวคลื่น 550 nm การคำนวณระดับ FFAs ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้สูตร :

FFAs concentration in sample (μM) =

$$\frac{\text{FFAs standard conc. } (\mu\text{M}) \times \text{Sample absorbance}}{\text{Standard absorbance}}$$

(ค่า FFAs concentration in sample ที่คำนวณได้จะนำมาคูณกับ dilution factor และเทียบเป็น 1 ml ของ packed cell volume ซึ่งจะเป็นระดับ FFAs ที่แท้จริง ($\mu\text{M}/\text{ml}$ packed cell volume/h))

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มเมื่อได้รับไซโคลอัลลิอินที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 DPPH assay (Pulbutr et al., 2014)

นำสารละลาย 63.4 μM DPPH 180 μL มา

เติมไฮโคลอัลลิอิน 20 μL วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm โดยใช้เครื่อง microplate reader ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะแปรผันตรงกับปริมาณสาร DPPH ที่ยังคงเหลืออยู่ รายงานผลเป็นร้อยละความสามารถในการเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH (% inhibition of DPPH คำนวณได้ตามสูตร[#]), ร้อยละความสามารถในการเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH ได้สูงสุด (maximum response; R_{max}) และความเข้มข้นของสารที่สามารถเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH ได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เปรียบเทียบผลที่ได้กับ ascorbic acid

2.2 Anti-oxidation assay (อิริกา จารุโชติกรมและคณะ, 2554) นำ 2.51 % linoleic acid 4.7 mL เติมไฮโคลอัลลิอิน 50 μL จากนั้นนำมา aliquot ใส่ใน microfuge tube สำหรับการทดสอบ 7 วัน โดยใส่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 40° C และทุก 24 ชั่วโมงจะนำสารละลายออกมาเพื่อวัดระดับ lipid hydroperoxide (LOOH) ที่เกิดขึ้นโดยการทดสอบ ferric thiocyanate โดยนำสารละลายมา 50 μL เติม 75% ethanol 2.35 mL, 30% ammonium thiocyanate 50 μL , และ 20 mM ferrous chloride 50 μL จากนั้นทิ้งไว้ 3 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน iron thiocyanate (FeSCN^{2+} complex) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 486 nm ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับปริมาณ LOOH ซึ่งเป็น primary product จากกระบวนการลิปิดเปอร์ออกซิเดชันที่เกิดขึ้น นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณร้อยละการต้านการเกิด autooxidation (% inhibition of autooxidation) ตามสูตร[#] เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มเมื่อได้รับไฮโคลอัลลิอินที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน และเปรียบเทียบผลกับ butylated hydroxytoluene (BHT)

$$\# \text{ สูตรคำนวณ \% inhibition} = \left(\frac{A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}}}{A_{\text{Control}}} \right) \times 100$$

(เมื่อ A_{Control} และ A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของกลุ่มควบคุม และสารละลายตัวอย่าง (cycloalliin หรือ สารมาตรฐาน) ตามลำดับ)

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลนำเสนอด้วยค่า mean \pm S.D. และใช้โปรแกรม Graph Pad Prism ver. 6 ในการคำนวณหาค่า IC_{50} การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม ดำเนินการดังต่อไปนี้ จะใช้สถิติ Independent-samples Student's *t*-test สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม NPD และ HFD ในเรื่องน้ำหนักตัวของหนูขาว และน้ำหนักของ epididymal fat pads และจะใช้สถิติ one-way ANOVA, LSD post-hoc test สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มเมื่อได้รับสารทดสอบแตกต่างกัน ในการทดสอบฤทธิ์ของสารต่อการสลายไขมัน และการทดสอบฤทธิ์ของสารในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลการศึกษา

1. ผลการทดสอบฤทธิ์ต่อการสลายไขมัน

1.1 ผลของอาหารต่อน้ำหนักตัวของหนูขาวและน้ำหนัก epididymal fat pads หนูขาว 2 กลุ่ม คือ กลุ่มหนูที่ได้รับอาหารปกติ (NPD) และกลุ่มหนูที่ได้รับอาหารไขมันสูง (HFD) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยแรกเริ่ม (วันที่ 0) เท่ากับ 137.50 + 4.33 g และ 142.50 + 4.33 g ตามลำดับ นำหนูทั้งสองกลุ่มมาเลี้ยงเพื่อปรับสภาพ 1 สัปดาห์ก่อนทำการทดลอง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของหนูในวันที่ 7 พบว่าน้ำหนักหนูขาวทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 7 ได้เริ่มให้อาหารที่แตกต่างกัน พบว่าน้ำหนักหนูขาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง โดยในกลุ่ม NPD และกลุ่ม HFD มีน้ำหนักไม่แตกต่างกันทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 (วันที่ 14 และ 21) หลังจากเลี้ยงด้วยอาหารแตกต่างกัน 3 สัปดาห์ (วันที่ 28) พบว่าน้ำหนักหนูขาวกลุ่ม NPD และ HFD เพิ่มขึ้น โดยมีน้ำหนักหนูกลุ่ม HFD (346.25 \pm 17.28 g) มากกว่ากลุ่ม NPD (311.25 \pm 20.27 g) ($p < 0.01$) (ดัง Figure 1)

เมื่อตัดแยก epididymal fat pads ของหนูออกมาและชั่งน้ำหนักพบว่า หนูกลุ่ม HFD มีน้ำหนักของ epididymal fat pads มากกว่ากลุ่ม NPD ($p < 0.01$) ดัง Table 1

1.2 ผลของไฮโคลอัลลิอินต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาว

โดยทำการศึกษาในเซลล์ไขมันจากหนูขาว 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม NPD และ HFD ที่สภาวะปกติ basal lipolysis และสภาวะ ISO-induced lipolysis ซึ่งผลการสลายตัวของไขมันที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับระดับ FFAs ใน sample media นั้น

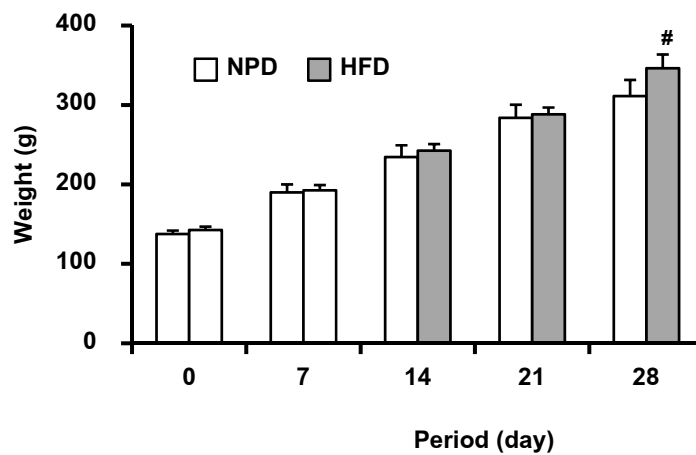


Figure 1 Body weight of Normal Pellet Diet (NPD)-fed rats and High Fat Diet (HFD)-fed rats for 0, 7, 14, 21, and 28 days. Each value represent the mean \pm SD (n=8). [#] $p < 0.01$, mean value was significantly different from NPD-fed group at the same period.

Table 1 Epididymal fat pads weight of NPD-fed rats and HFD-fed rats at day 28

Group	Weight of Epididymal fat pads (g) (mean \pm S.D.; n=8)	
	Weight	Relative weight / 100 g body weight
Normal Pellet Diet (NPD)-fed rats	4.20 \pm 0.81	1.35 \pm 0.26
High Fat Diet (HFD)-fed rats	8.53 \pm 1.52 [#]	2.46 \pm 0.39 [#]

Each value represent the mean \pm SD (n=8). [#] $p < 0.01$ mean value was significantly different from NPD-fed group

1.2.1 ที่สภาวะ basal lipolysis (ตั้ง

Figure 2)

กลุ่มควบคุม (ไม่มีไซโคลอัลลิอิน) หนูกลุ่ม NPD มีระดับ FFAs เท่ากับ 327.23 \pm 47.08 μ M/ml packed cell volume/h ไซโคลอัลลิอินที่ความเข้มข้น 0.01 ถึง 100 μ M พบว่ามีระดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

กลุ่มควบคุมของหนูกลุ่ม HFD มีระดับ FFAs เท่ากับ 330.82 \pm 13.06 μ M/ml packed cell volume/h ซึ่งระดับ FFAs นี้ไม่แตกต่างจากหนูกลุ่ม NPD ที่สภาวะเดียวกัน และเมื่อเติมสารไซโคลอัลลิอินที่ความเข้มข้น 0.01 ถึง 100 μ M พบว่าระดับของ FFAs ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

1.2.2 ที่สภาวะ isoprenaline (ISO)-induced lipolysis (ตั้ง Figure 3)

สำหรับเซลล์ไขมันของหนูกลุ่ม NPD นั้นพบว่า 0.1 μ M isoprenaline (ISO) สามารถกระตุ้นการ

สลายไขมันได้โดยทำให้ระดับ FFAs (651.03 \pm 31.98 μ M/ml packed cell volume/h) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับหนู NPD ในสภาวะ basal lipolysis และเช่นกันกับเซลล์ไขมันของหนูกลุ่ม HFD พบว่า Isoprenaline ทำให้ระดับ FFAs (587.12 \pm 93.14 μ M/ml packed cell volume/h) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับหนู HFD ในสภาวะ basal lipolysis แต่ไม่แตกต่างจากหนูกลุ่ม NPD ในสภาวะ ISO-induced lipolysis

ในสภาวะ ISO-induced lipolysis เซลล์ไขมันจากหนูกลุ่ม NPD ไซโคลอัลลิอินที่ 1, 10 และ 100 μ M มีระดับ FFAs (581.47 \pm 67.79, 575.30 \pm 28.95 และ 555.77 \pm 45.53 μ M/ml packed cell volume/h ตามลำดับ) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในขณะที่หนูกลุ่ม HFD ไซโคลอัลลิอินที่ 0.01 ถึง 100 μ M พบว่าระดับ FFAs ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

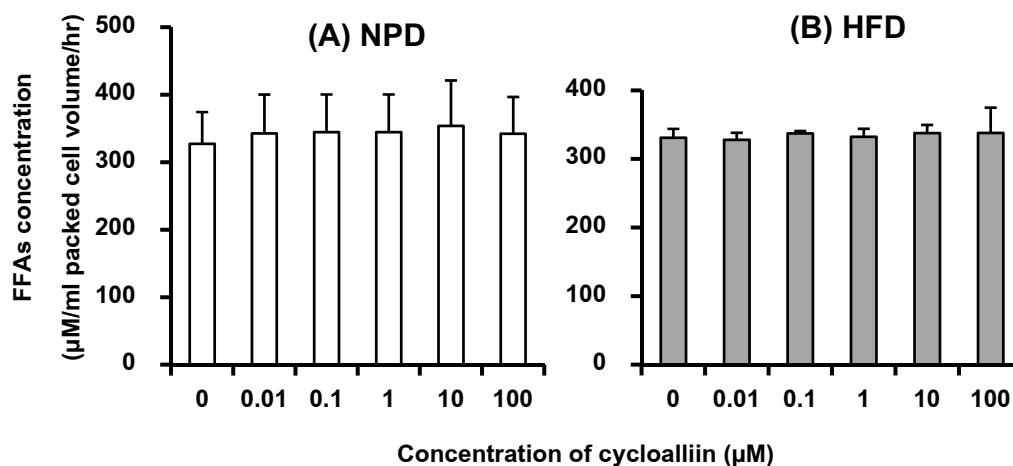


Figure 2 Effect of cycloalliin on basal lipolysis in the adipocytes derived from (A) NPD-fed rats and (B) HFD-fed rats. Each value represent the mean \pm SD (n=5).

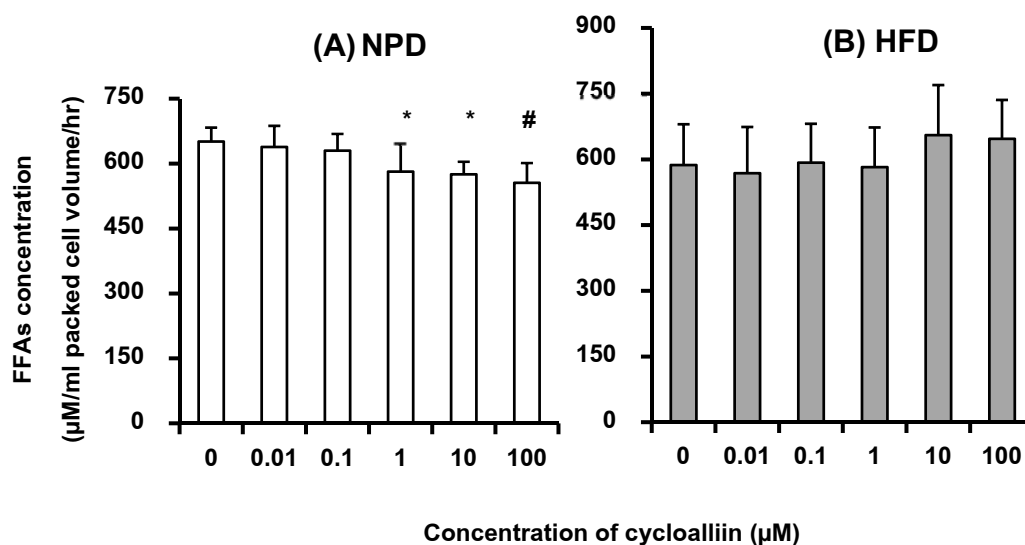


Figure 3 Effect of cycloalliin on ISO-induced lipolysis in the adipocytes derived from (A) NPD-fed rats and (B) HFD-fed rats. Each value represent the mean \pm SD (n=5). * $p < 0.05$, # $p < 0.01$, mean value was significantly different from control group.

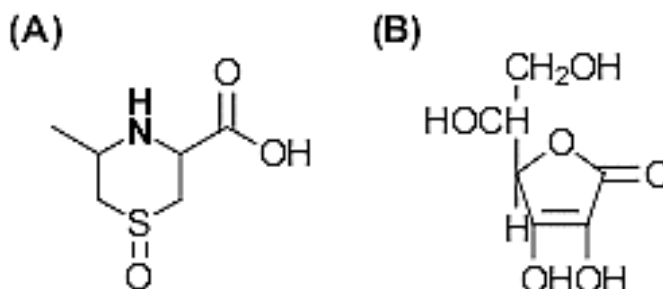


Figure 4 Chemical structure of (A) cycloalliin and (B) ascorbic acid

2. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 DPPH assay (ดัง Table 2)

สารมาตรฐาน ascorbic acid ที่ 0.1 ถึง 1,000 µM พบว่าสามารถเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH ได้อย่างรวดเร็วแบบ concentration-dependent manner เกิดปฏิกิริยาได้ตั้งแต่ที่เวลาเริ่มต้นการทดสอบ ที่เวลา 60 นาทีเริ่มถึงช่วงการตอบสนองที่สภาวะคงที่ (steady state)

และเมื่อเวลาผ่านไปค่าการดูดกลืนแสงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในขณะที่ไซโคลอัลลิอินพบว่าเกิดปฏิกิริยากับ DPPH ได้ช้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำมาก ที่ 10 ถึง 1,000 µM พบว่าที่เวลา 30 นาทียังไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ DPPH ได้ และที่ 60 นาทีไซโคลอัลลิอิน 1,000 µM เริ่มเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH ได้โดยมี %inhibition เพียง 5.20±2.17 (p<0.01)

Table 2 Percentage of radical scavenging activity (% inhibition), concentration to produce half of the maximum response (IC₅₀), maximum response (R_{max}) of cycloalliin and ascorbic acid (Asc) determined by DPPH assay at different times of reaction period.

Time (minute) ^a	% inhibition of DPPH : Asc (%) ^b					R _{max} (%) ^b	IC ₅₀ (µM)
	0.1 µM	1 µM	10 µM	100 µM	1,000 µM		
5	-6.48±0.88	-6.86±0.75	11.26±5.37	34.65±13.39	93.65±4.11	93.65±4.11	155.80
30	-8.29±1.08	-8.29±2.39	24.26±4.08	68.18±9.99	93.98±0.71	93.98±0.71	24.56
60	-8.77±1.54	-8.46±2.24	30.24±0.71	95.42±0.29	94.66±0.97	95.42±0.29	14.99
Time (minute) ^a	% inhibition of DPPH : cycloalliin (%) ^b					R _{max} (%) ^b	IC ₅₀ (µM)
	10 µM	30 µM	100 µM	300 µM	1,000 µM		
5	-5.79±0.93	-4.97±0.26	-4.91±1.03	-4.97±1.16	-4.78±1.40	N/A	N/A
30	-6.35±1.36	-5.45±1.20	-5.41±1.22	-4.28±1.59	-0.74±1.52	N/A	N/A
60	-6.24±1.69	-3.47±1.33	-4.09±1.42	-1.11±1.50	5.20±2.17	N/A	N/A

^a reaction time ^b mean±SD (n=5)

2.2 Anti-oxidation assay (ดัง Table 3)

การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระ linoleic แบบเกิดขึ้นเองเมื่อถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศ พบว่ากรดไขมันอิสระ linoleic จะเกิด autooxidation โดยมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น (p<0.05) และที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าไม่แตกต่างกัน (p>0.05) และภายหลังจาก 72 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา เป็นต้นไป การเกิด autooxidation ของกรดไขมันอิสระ linoleic มีแนวโน้มลดลง โดยที่ 120 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยามีค่าการดูดกลืนแสงต่ำมาก คือ 0.05±0.003 ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงทำการทดสอบเพียง 5 วัน ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของสารมาตรฐาน BHT ที่ 0.3 และ 3 µM พบว่า BHT มีฤทธิ์ต้านการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในรูปแบบ concentration-dependent manner และที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา BHT มีฤทธิ์เพิ่มขึ้นตามระยะ

เวลาของการทำปฏิกิริยาและตั้งแต่ที่เวลา 96 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยาฤทธิ์จะเริ่มคงที่ ขณะที่ฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันของสารละลายไซโคลอัลลิอินพบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยาไซโคลอัลลิอินออกฤทธิ์ได้ด้วยความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 100 µM ที่เวลา 48 ชั่วโมงไซโคลอัลลิอินออกฤทธิ์ได้ด้วยความเข้มข้นต่ำลง คือ ตั้งแต่ 0.3 ถึง 100 µM แต่พบว่าฤทธิ์ต้านการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (% inhibition ค่อย ๆ ลดลง) เมื่อเปรียบเทียบกับไซโคลอัลลิอินกับ BHT ที่ 24 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยาพบว่าไซโคลอัลลิอินที่ 30 และ 100 µM ฤทธิ์ใกล้เคียงกับ BHT ที่ 3 µM (p>0.05) และที่ 48 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยาพบว่าไซโคลอัลลิอินที่ 10 และ 30 µM มีฤทธิ์ใกล้เคียงกับ BHT ที่ 0.3 µM (p>0.05) และฤทธิ์ของไซโคลอัลลิอินที่ 100 µM ใกล้เคียงกับ BHT ที่ 3 µM (p>0.05)

Table 3 Percentage of anti-oxidation activity (% inhibition) of cycloalliin and butylated hydroxytoluene (BHT) determined from oxidation products of linoleic acid free fatty acid at different time of incubation period.

Time (h) ^a	% inhibition of autooxidation (%) ^b							
	BHT (μM)		Cycloalliin (μM)					
	0.3	3.0	0.3	1.0	3.0	10.0	30.0	100.0
24	27.13 ±8.28	47.69 ±4.42	-9.52 ±5.41	-19.52 ±23.65	-19.65 ±23.65	43.84 ±26.30	51.42 ±5.81	68.12 ±16.38
48	44.75 ±5.25	61.03 ±3.39	14.57 ±2.52	10.66 ±4.88	20.92 ±7.13	35.74 ±7.93	44.44 ±3.01	64.49 ±11.60
72	59.57 ±11.41	78.31 ±6.49	6.09 ±0.41	10.00 ±4.99	19.37 ±1.44	22.51 ±3.01	30.47 ±6.16	42.22 ±11.14
96	49.85 ±7.40	70.20 ±4.29	-17.10 ±8.13	1.19 ±12.95	-21.85 ±5.41	7.08 ±28.04	-0.88 ±19.20	3.41 ±2.70
120	56.53 ±18.75	83.65 ±6.72	-24.72 ±0.81	24.81 ±2.02	-9.03 ±16.27	36.00 ±27.27	-5.58 ±39.68	19.96 ±5.65

^a incubation period ^b mean±SD (n=3)

วิจารณ์และสรุปผล

ในการทดสอบผลต่อการสลายไขมันเมื่อพิจารณาน้ำหนักตัวหนูขาวกลุ่ม NPD และ HFD ในวันที่ 7, 14 และ 21 พบว่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่ในวันที่ 28 น้ำหนักตัวหนูแตกต่างกัน ($p < 0.01$) ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Pulbutr และคณะ (2011) ความผันผวนของข้อมูลน้ำหนักนี้สามารถพบได้ในช่วงการเลี้ยงตั้งแต่ 2 - 4 สัปดาห์ (Srinivasan et al., 2005) ทั้งนี้การที่หนูขาวกลุ่ม HFD มีน้ำหนักตัวมากกว่าหนูกลุ่ม NPD นั้น เนื่องจากอาหารไขมันสูงมีส่วนประกอบของไขมันอิ่มตัว (lard) จึงทำให้กลุ่มหนู HFD มีน้ำหนักตัวมากกว่าหนู NPD (Srinivasan et al., 2005) และสำหรับน้ำหนักของ epididymal fat pads ในผลการศึกษานี้พบว่ากลุ่ม HFD มีค่ามากกว่ากลุ่ม NPD ($p < 0.01$) สอดคล้องกับ Pulbutr และคณะ (2011)

เพื่อพิจารณารูปแบบการทดสอบก่อนการพิจารณาผลการศึกษานั้น ผลการศึกษานี้ในกลุ่มควบคุม เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม NPD และ HFD พบว่าการสลายไขมันของหนูขาวทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน (ทั้งในสภาวะ basal lipolysis และ ISO-induced lipolysis) ซึ่งสอดคล้องกับ Pulbutr และคณะ (2011) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองสภาวะคือ basal lipolysis และ ISO-induced lipolysis พบว่า isoprenaline สามารถเพิ่มการสลายไขมันในเซลล์ไขมันได้ isoprenaline มีกลไกเป็น non-selective beta-adrenergic receptor agonist ส่งผลให้ระดับ cAMP ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ HSL ในการสลายไขมัน (Zechner et al., 2009; Zim-

mermann et al., 2009) ที่สภาวะ ISO-induced lipolysis มี การสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาวสูงกว่าสภาวะ basal lipolysis ($p < 0.05$) (ทั้งในหนูกลุ่ม NPD และ HFD) โดยหนูกลุ่ม NPD และ HFD ในสภาวะ ISO-induced lipolysis มีระดับ FFAs เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 198.95 และ 177.47 ของสภาวะ basal lipolysis ตามลำดับ สอดคล้องกับ Pulbutr และคณะ (2011) และ Zhang และคณะ (2009) ที่ในสภาวะ ISO-induced lipolysis ระดับ FFAs เพิ่มขึ้นร้อยละ 191 และ 196 ของสภาวะ basal lipolysis ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลของไซโคลอัลลิอินต่อการสลายไขมัน พบว่าไซโคลอัลลิอินที่ความเข้มข้น 1, 10 และ 100 μM มีฤทธิ์ยับยั้งการสลายไขมันในเซลล์ไขมันของหนูกลุ่ม NPD ที่สภาวะ ISO-induced lipolysis (แต่ไม่มีผลต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูกลุ่มเดียวกันที่สภาวะ basal lipolysis อีกทั้งไม่มีผลต่อการสลายไขมันของกลุ่ม HFD ในทั้งสองสภาวะ) ฤทธิ์ในการยับยั้งการสลายไขมันที่ความเข้มข้น 1, 10 และ 100 μM ทำให้ระดับการสลายไขมันลดลงเหลือร้อยละ 89.31, 88.37 และ 85.37 ของกลุ่มควบคุม ตามลำดับ จากองค์ความรู้ที่ว่าการสลายไขมันจะทำให้ระดับ FFAs ในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น และ FFAs มีผลต่ออัตราการเกิด gluconeogenesis และมีผลต่อ hepatic clearance ของ insulin ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น จนอาจเกิดภาวะ insulin resistance และพัฒนาเป็นโรคเบาหวานได้ (Avram et al., 2005; Goossens, 2008) insulin เป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสลายไขมันได้โดยไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ phosphodiesterase type 3B

(PDE3B) ส่งผลให้ cAMP ลดลง จึงลดการ hydrolyze TG ทำให้ลดการปลดปล่อย FFAs จาก adipocytes (Zechner et al., 2009) อีกทั้ง Zhang และคณะ (2009) ศึกษาพบว่า metformin มีกลไกการลดระดับน้ำตาล โดยการยับยั้งการสลายไขมันของเซลล์ไขมันที่ได้รับ isoprenaline ได้เช่นกัน โดยทำให้การทำงานของ PKA และ MAPK1/3 ลดลง และส่งผลลดระดับ cAMP ไชโคลอัลลิอินเป็นสารประกอบออร์แกโนซิลเฟออร์ที่พบมากในผลกระเทียมและหอมหัวใหญ่ (Ueda et al., 1994; Allison et al., 2006) แม้จะยังไม่มียารักษาผลของไชโคลอัลลิอินต่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดโดยตรง แต่จากข้อมูลพบว่าหอมหัวใหญ่และกระเทียมมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่สามารถลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด และลดความอ้วนได้ (Ozougwu et al., 2011; Yoshinari et al., 2012; Zeng et al., 2017) ประกอบกับสารประกอบในกลุ่มออร์แกโนซิลเฟออร์หลายชนิดในหอมหัวใหญ่และกระเทียม พบว่าสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือด และบางการศึกษาพบฤทธิ์ลดระดับไขมันในเลือด (Sheela and Augusti, 1992; Kumari and Augusti, 1994; Hsu et al., 2004) ข้อมูลที่กล่าวมาทำให้เห็นความเป็นไปได้ว่าสารไชโคลอัลลิอินอาจมีบทบาทในการช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดและรักษาเบาหวานได้ โดยกลไกส่วนหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการสลายไขมัน และน่าสนใจศึกษาผลของสารนี้ต่อระดับ cAMP และ signaling pathway ที่เกี่ยวข้อง เพราะฤทธิ์บางอย่างอาจคล้ายกับอินซูลินหรือ metformin รวมถึงควรศึกษาผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดในสัตว์ทดลองต่อไป เมื่อ Lipid metabolism เกี่ยวข้องกับการสลายไขมันที่สะสมในเซลล์ไขมันเป็นพลังงาน โดยอาศัยเอนไซม์ HSL ทำให้ไขมัน TG เปลี่ยนเป็น FFAs และ glycerol ซึ่ง FFAs ในเลือดจะจับกับโปรตีนเพื่อนำส่ง ไปที่อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย FFAs จะเข้าสู่เซลล์และไม่โตคอนเดรียเพื่อย่อยสลายให้ได้พลังงานด้วยปฏิกิริยา β -oxidation หากมีระดับ FFAs ในเลือดที่สูงแต่การเผาผลาญเป็นพลังงานไม่ทันจะทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดผิดปกติได้ พบว่าในคนที่ภาวะอ้วนมี perilipin expression ลดลง (perilipin เป็นโปรตีนที่ช่วยหุ้ม lipid droplets ป้องกัน HSL เปลี่ยน TG ให้เป็น FFAs) ส่งผลให้ร่างกายเกิดกระบวนการ lipolysis เพิ่มขึ้นและมีระดับ FFAs เพิ่มขึ้น (Wang et al., 2003; Zechner et al., 2009; Zimmermann et al., 2009; Wang et al., 2011) ทำให้ระดับไขมันในเลือดผิดปกติ (dyslipidemia) ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญของการเกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจ และ metabolic syndrome (Wajchenberg, 2000; Langin, 2006) ยาไนอาซิน (niacin) ซึ่งเป็นยาลดระดับไขมันในเลือดที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการสลายไขมันในเซลล์ไขมันโดยยาจะจับกับ nicotinic receptor ในเซลล์ไขมัน

ส่งผลทำให้การทำงานของ adenylyate cyclase ลดลง cAMP ลดลง ลดการทำงานของ HSL นำไปสู่การยับยั้งการสลายไขมัน และการลดระดับไขมัน TG, LDL-cholesterol, total cholesterol ในเลือด (Schandelmaier et al., 2007) ดังนั้นการลดกระบวนการสลายไขมันจึงทำให้ระดับไขมันในเลือดลดลงได้ การที่ผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าไชโคลอัลลิอินสามารถยับยั้งกระบวนการสลายไขมัน ดังนั้นสารไชโคลอัลลิอินอาจจะมีฤทธิ์ในการช่วยลดระดับไขมันในเลือดได้เช่นกัน ประกอบกับข้อมูลผลการศึกษาของ Yanagita และคณะ (2003) ที่พบว่าการผสมไชโคลอัลลิอินในอาหารไขมันสูงให้หนูขาวรับประทานนาน 2 สัปดาห์สามารถลด TG ในเลือดได้ โดยขนาดร้อยละ 0.1 และ 0.3 ของปริมาณอาหารทั้งหมด ทำให้ระดับ TG ในเลือดลดลงถึงร้อยละ 39 และ 44 ของกลุ่มควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไชโคลอัลลิอินไม่มีผลต่อระดับไขมันชนิดอื่นๆ อีกทั้งไม่มีผลต่อไขมันในตับ ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ TG ที่ตับ โดยได้อภิปรายผลไว้ว่าการที่ไชโคลอัลลิอินสามารถลดระดับไขมันในเลือดได้นั้นไม่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการสังเคราะห์ TG ข้อมูลที่กล่าวมาทำให้เห็นว่าไชโคลอัลลิอินน่าจะมีส่วนต่อ lipid metabolism และมีฤทธิ์ลดระดับไขมันในเลือดได้โดยเฉพาะในกลไกการยับยั้งการสลายไขมัน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงกลไกการออกฤทธิ์นี้ เช่น ผลต่อ nicotinic receptor เป็นต้น

จากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าไชโคลอัลลิอินมีผลยับยั้งการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาว NPD ในสภาวะ ISO-induced lipolysis โดยไม่ปรากฏฤทธิ์กับเซลล์ไขมันจากหนูกลุ่ม HFD ในสภาวะเดียวกัน อาจเป็นไปได้ว่าเซลล์ไขมันจากหนูทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างของกลไกการออกฤทธิ์ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเซลล์ไขมันจากหนูกลุ่ม HFD ที่สภาวะ epinephrine-induced lipolysis มีการสลายไขมันลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่ม NPD เนื่องจากหนูที่ได้รับอาหารไขมันสูงจะทำให้เกิดความบกพร่องของ adrenergic receptor signaling และลดกระบวนการ phosphorylation ของ HSL ทำให้กระบวนการสลายไขมันเกิดได้ลดลง (Gaidhu et al., 2010) และจากการศึกษาของ Bost และคณะ (2005) พบว่าเซลล์ไขมันส่วน WAT จากหนูกลุ่มที่ HFD นั้น ERK pathway (มีบทบาทต่อการควบคุมการสลายไขมัน) สามารถถูกกระตุ้นได้มากกว่ากลุ่มหนู NPD ส่งผลให้เซลล์ไขมันจากหนู HFD เกิดการกระตุ้นกระบวนการสลายไขมันมากขึ้น จากข้อมูลข้างต้นการที่สารไชโคลอัลลิอินไม่สามารถออกฤทธิ์ในเซลล์ไขมันของหนูกลุ่ม HFD อาจเพราะกลไกการออกฤทธิ์ของไชโคลอัลลิอินมีความเกี่ยวข้องกับ adrenergic receptor signaling และกระบวนการ phosphorylation ของ HSL หรือเกี่ยวกับ ERK

pathway ก็เป็นได้ เมื่อกลไกดังกล่าวถูกเปลี่ยนแปลงไปจากปกติในหนูกลุ่ม HDL ดังนั้นฤทธิ์ของไซโคลอัลลิอินจึงไม่สามารถทำงานได้ ควรศึกษากลไกนี้เพิ่มเติมต่อไป อีกทั้งในผลการศึกษารังนี้ที่พบว่าไซโคลอัลลิอินไม่พบฤทธิ์ในการยับยั้งการสลายไขมันในเซลล์ไขมันในสภาวะ basal lipolysis ของทั้งหนู NPD และ HFD สาเหตุอาจเป็นเพราะเซลล์ไขมันที่สภาวะ ISO-induced lipolysis จะเพิ่มระดับการสลายไขมันและระดับ FFAs ทำให้การแสดงออกของฤทธิ์ยับยั้งการสลายไขมันของไซโคลอัลลิอินปรากฏได้ชัดเจนมากกว่าที่สภาวะ basal lipolysis ที่เซลล์ไขมันไม่ได้รับการกระตุ้นการเพิ่มการสลายไขมัน

DPPH assay เป็นวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเพราะสะดวกและทำได้ง่าย วิธีนี้ใช้พิจารณาความสามารถในการเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH (scavenging capacity) ซึ่งเป็นกลไกการทำงานแบบหนึ่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (Valko et al., 2006) DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระทั่วไปเพราะมีโครงสร้างที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวที่ถูกบดบังด้วยวงแหวน (benzene ring) 3 วงทำให้ยากต่อการเกิดปฏิกิริยา (Molyneux, 2004) สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดอาจไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ DPPH ได้ หรือเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าความเป็นจริง ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของสาร (Brand-Williams et al., 1995) ascorbic acid เป็นสารมาตรฐานที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเป็นสารที่มี scavenging capacity ที่ดี (Valko et al., 2006) จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ascorbic acid 10 ถึง 1,000 μM สามารถเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในรูปแบบขึ้นกับความเข้มข้นและถึง steady state ภายใน 60 นาที มีค่า IC_{50} (30 นาที) เท่ากับ 24.56 μM ซึ่งค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของการศึกษาอื่นๆ ที่มีค่า IC_{50} ประมาณ 25-29 μM (Hasan et al., 2009; Hassine et al., 2012) ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารไซโคลอัลลิอินพบว่าที่ 1,000 μM สามารถเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระที่เสถียร DPPH ได้ที่เวลา 60 นาทีเป็นต้นไป และมีฤทธิ์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป % inhibition ของไซโคลอัลลิอิน (ที่ 60 นาที) มีค่าเพียงร้อยละ 5.20 \pm 2.17 จากโครงสร้างของไซโคลอัลลิอินที่มีวงแหวน 6 เหลี่ยม 1 วงและมีหมู่ carboxylic acid 1 หมู่ (Ichikawa et al., 2006) ซึ่งแตกต่างจาก ascorbic acid ที่มีวงแหวน 5 เหลี่ยม 1 วงที่มีหมู่ hydroxyl ถึง 4 หมู่ (Valko et al., 2006) ดัง Figure 4 โดยปกติหมู่ hydroxyl เป็นหมู่ที่มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนกับสารอื่นได้ดี สารที่มีจำนวนหมู่ hydroxyl มากขึ้นจะ scavenge กับ DPPH ได้ดีขึ้น (Brand-Williams et al., 1995) จากข้อมูลข้างต้นยังไม่สามารถสรุปได้ว่าไซโคลอัลลิอินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์อ่อน

(weak antioxidant) เนื่องจาก DPPH assay เป็นวิธีทดสอบฤทธิ์ในกลไกที่เป็น radical scavenging เท่านั้น และจากการศึกษาของ Xiao และ Parkin (2002) พบว่าไซโคลอัลลิอินมีผลต่อเอนไซม์ quinone reductase ซึ่งเอนไซม์นี้จัดเป็นเอนไซม์ใน phase II metabolism ที่ช่วยให้สารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายทำงานได้ดีขึ้น (Hedges and Lister, 2007) ดังนั้นไซโคลอัลลิอินยังอาจมีฤทธิ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระ

ในการทดสอบ anti-antioxidation assay พบว่าการดักไขมันอิสระ linoleic เกิด autooxidation ได้และเมื่อทิ้งไว้ 24, 48 และ 72 ชั่วโมงพบว่าระดับการเกิด autooxidation ใน 3 ช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในระดับไม่ต่างกัน และที่ 96 ชั่วโมงพบว่าเกิดการเกิด autooxidation เริ่มลดลง ซึ่งผลเป็นไปในทางเดียวกับการศึกษาอื่นๆ ที่การเกิดออกซิเดชันของไขมันนั้นจะเพิ่มขึ้นในช่วง 24 และ 48 ชั่วโมง (Ardestani and Yazdanparast, 2007; Siddhuraju and Becker, 2007) เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป LOOH ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเป็น secondary product ที่ไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธี ferric thiocyanate (Rahmat et al., 2003) BHT หรือ synthetic analog ของวิตามินอีใช้เป็นสารมาตรฐานเนื่องจากเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันที่ดี (Asgarpanah et al., 2011; Nugraheni et al., 2011) ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า BHT ที่ 0.3 และ 3 μM มีฤทธิ์ต้านการเกิด autooxidation ในรูปแบบขึ้นกับความเข้มข้น ความสามารถในการยับยั้งการเกิด autooxidation เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในช่วง 72 ชั่วโมงแรก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆ (Asgarpanah et al., 2011; Nugraheni et al., 2011) ผลการทดสอบฤทธิ์ของไซโคลอัลลิอินพบว่าที่ความเข้มข้น 10 ถึง 100 μM มีฤทธิ์ต้านการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ที่เวลา 24 ชั่วโมงไซโคลอัลลิอินมีค่า % inhibition ใกล้เคียงกับ BHT โดยมีฤทธิ์น้อยกว่าประมาณ 10-30 เท่า เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าความสามารถในการต้านการเกิด autooxidation ของไซโคลอัลลิอินค่อยๆ ลดลง เมื่อภาวะที่มีไขมันและน้ำตาลในเลือดสูงเกี่ยวข้องกับการเกิดลิปิดออกซิเดชัน (Yang et al., 2008 ; Arora et al., 2013) การที่ไซโคลอัลลิอินมีฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ จึงอาจจะมีประโยชน์ในการช่วยป้องกันอันตรายจากภาวะดังกล่าวได้

การศึกษาในครั้งนี้เป็นเพียงการทดสอบ *in vitro* ที่พบว่าไซโคลอัลลิอินสามารถยับยั้งการสลายไขมันและมีฤทธิ์ต้านลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ควรมีการศึกษาให้เข้าใจกลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งการสลายไขมัน หรือฤทธิ์ลดระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด รวมถึงการศึกษาใน *in vivo* ในด้านฤทธิ์และความเป็นพิษเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. อธิกา จารุโชติกมล, ปวีตรา พูลบุตร, จริญญาพร เพรศแก้ว และคณะ.ฤทธิ์ของสารสกัดใบมะรุมต่อการสลายไขมันในเซลล์ไขมันจากหนูขาว วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2556;32(2):129-39.
2. อธิกา จารุโชติกมล, พัชรวิทย์ บั้นเหนงเพชร, วีรพล คู่คง วิริยพันธุ์, และคณะ. ฤทธิ์ต้านไลโปโปรตีนออกซิเดชันและต้านออกซิเดชันของสารสกัดผักแพว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2554;30(3):249-61.
3. Adly A. oxidative stress & disease:an updated review. Res J Immunol2010;3(2):129-45.
4. Agarwal RK, Dewar HA, Newell DJ, Das B. Controlled trial of the effect of cycloalliin on the fibrinolytic activity of venous blood. Atherosclerosis 1977;27(3):347-51.
5. Allison GL, Lowe GM, Rahman K. Aged garlic extract and its constituents inhibit platelet aggregation through multiple mechanisms. J Nutr 2006;136(3 Suppl):782S-8S.
6. Ardestani A, Yazdanparast R. Antioxidant and free radical scavenging potential of Achillea santolina extracts. Food Chem 2007;104:21-9.
7. Arora R, Vig AP, Arora S. Lipid Peroxidation: A Possible Marker for Diabetes. Diabetes Metab 2013;S11:007
8. Asgarpanah J, Motamed S, Farzaneh A, et al. Antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of *A. squarrosus* Bunge. Afr J Biotechnol 2011;10(82):19176-80.
9. Avram AS, Avram MM, James WD. Subcutaneous fat in normal and diseased states: 2. Anatomy and physiology of white and brown adipose tissue. J Am Acad Dermatol 2005;53(4):671-83.
10. Bost F, Aouadi M, Caron L, et al. The extracellular signal-regulated kinase isoform ERK1 is specifically required for in vitro and in vivo adipogenesis. Diabetes 2005 Feb;54(2): 402-11.
11. Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebenson Wiss Technol1995;2825-30.
12. Gaidhu MP, Anthony NM, Patel P, et al. Dysregulation of lipolysis and lipid metabolism in visceral and subcutaneous adipocytes by high-fat diet: role of ATGL, HSL, and AMPK. Am J Physiol Cell Physiol 2010; 298:961-71.
13. Goossens GH. The role of adipose tissue dysfunction in the pathogenesis of obesity-related insulin resistance. Physiol Behav 2008; 94(2):206-18.
14. Hasan R, Hossain M, Akter R, et al. DPPH free radical scavenging activity of some Bangladeshi medicinal plants. J Med Plant Res 2009;3(11):875-9.
15. Hassine D, Abderrabba M, Yvon Y, et al. Chemical composition and *in vitro* evaluation of the antioxidant and antimicrobial activities of *Eucalyptus gillii* essential oil and extracts. Molecules 2012;17:9540-58.
16. Hedges LJ, Lister CE. The nutritional attributes of Allium speccise. Christchurch New Zealand: Institute for crop & food research limited; 2007.
17. Hsu CC, Yen HF, Yin MC, et al. five cysteine-containing compounds delay diabetic deterioration in Balb/c mice. J Nutr. 2004 Dec;134(12):3245-9.
18. Ichikawa M, Mizuno I, Yoshida J, et al. Pharmacokinetics of cycloalliin, an organosulfur compound found in garlic and onion, in rats. J Agric Food Chem 2006; 54(26):9811-9.
19. Kim S, Moustaid-Moussa N. Secretory, endocrine and autocrine/paracrine function of the adipocyte. J Nutr 2000;130:3110S-5S.
20. Kumari K, Augusti KT. Antidiabetic effects of s-methylcysteine sulphoxide on alloxan diabetes. Planta Med 1994;61(1):72-4.
21. Langin D. Adipose tissue lipolysis as a metabolic pathway to define pharmacological strategies against obesity and the metabolic syndrome. Pharmacol Res 2006;53(6):482-91.
22. Meriga B, Mopuri R, Muralikrishna T. Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. Asian Pac J Trop Med 2012;5(5):391-5.

23. Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J Sci Technol* 2004;26(2):211-9.
24. Nugraheni M, Santoso U, Wuryastuti H. Potential of *Coleus tuberosus* as an antioxidant and cancer chemoprevention agent. *Int Food Res J* 2011;18(4):1471-80.
25. Ozougwu JC. Anti-diabetic effects of *Allium cepa* (onions) aqueous extracts on alloxan-induced diabetic *Rattus norvegicus*. *J Med Plant Res* 2011;5(7):1134-9.
26. Poulos SP, Hausman DB, Hausman GJ. The development and endocrine functions of adipose tissue. *Mol Cell Endocrinol* 2010; 323(1):20-34.
27. Pulbutr P, Jaruchotikamol A, Cushnie B, et al. Antilipolytic, alpha-amylase inhibitory and antioxidant activities of *Pseuderanthemum palatiferum* (Nees) Radlk. leaf ethanolic extract. *J Med Plant Res* 2014;8(28):967-74.
28. Pulbutr P, Thunchomnang K, Lawa K, et al. Lipolytic effects of zingerone in adipocytes isolated from normal diet-fed rats and high fat diet-fed rats. *Int J Pharm* 2011;7(5):629-34.
29. Rahmat A, Kumar V, Fong L, et al. Determination of total antioxidant activity in three types of local vegetables shoots and the cytotoxic effect of their ethanolic extracts against different cancer cell lines. *Asia Pac J clin nutr* 2003;12(3):308-11.
30. Schandelmaier S, Briel M, Saccilotto R, et al. Nicotin for primary and secondary prevention of cardiovascular events. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017 Jun 14;6:CD009744.
31. Sheela CG, Augusti KT. Antidiabetic effects of S-allyl cysteine sulphoxide isolated from garlic *Allium sativum* Linn. *Indian J Exp Bio* 1992; 30(6):523-6.
32. Siddhuraju P, Becker K. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. *Food Chem* 2007;101:10-9.
33. Srinivasan K, Viswanad B, Asrat L, et al. Combination of high-fat diet-fed and low-dose streptozotocin-treated rat: a model for type 2 diabetes and pharmacological screening. *Pharmacol Res* 2005;52(4):313-20.
34. Ueda Y, Tsubuku T, Miyazima R. Composition of sulfur-containing components in onion and their flavor characters. *Biosci Biotech Biochem* 1994; 58:108-10.
35. Valko M, Rhodes C, Moncola J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico Biol Interac* 2006;160:1-40.
36. Wajchenberg BL. Subcutaneous and visceral adipose tissue: their relation to the metabolic syndrome. *Endocr Rev* 2000;21:697-738.
37. Wang H, Sreenevasan U, Hu H, et al. Perilipin 5, lipid droplet associated protein provides physical and metabolic linkage to mitochondria. *J Lipid Res* 2011;52(8):1-40.
38. Wang Y, Sullivan S, Trujillo M, et al. Perilipin expression in human adipose tissues: effects of severe obesity, gender, and depot. *Obes Res* 2003;11:930-6.
39. Xiao H, Parkin K. Antioxidant functions of selected *Allium* thiosulfinates and s-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides. *J Agric Food Chem* 2002;50:2488-93.
40. Yanagita T, Han S, Wang Y, et al. Cycloalliin, a cyclic sulfur imino acid, reduces serum triacylglycerol in rats. *Nutrition* 2003;19(2):140-3.
41. Yang R, Shi Y, Hao G, et al. Increasing oxidative stress with progressive hyperlipidemia in human: relation between malondialdehyde and atherogenic index. *J Clin Biochem Nutr* 2008 November;43:154-8.
42. Yoshinari O, Shiojima Y, Igarashi K. Anti-obesity effects of onion extract in Zucker diabetic fatty rats. *Nutrients*. 2012 Oct 22;4(10):1518-26.
43. Zechner R, Kienesberger PC, Haemmerle G, et al. Adipose triglyceride lipase and the lipolytic catabolism of cellular fat stores. *J Lipid Res* 2009;50:1-10.
44. Zeng Y, Li Y, Yang J, et al. Therapeutic Role of Functional Components in Alliums for Preventive Chronic Disease in Human Being. *Evid Based Complement Alternat Med eCAM* 2017;2017:9402849.
45. Zhang T, He J, Xu C, et al. Mechanisms of metformin inhibiting lipolytic response to isoproterenol in

primary rat adipocytes. *J Mol Endocrinol.* 2009;42(1):57-66.

46. Zimmermann R, Lass A, Haemmerle G, Zechner R. Fate of fat: the role of adipose triglyceride lipase in lipolysis. *Biochim Biophys Acta* 2009;1791(6):494-5

การศึกษาการวัดความคล้ายคลึงในกระบวนการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำเป็นสำหรับระบบแนะนำ

Studying Similarity Measures in Memory-based Collaborative Filtering Technique for Recommendation Systems

กิตติศักดิ์ อ่อนเอื้อน¹, สุันษา สดสี², พยุง มีสัง³

Kittisak Onuean¹, Sunantha Sodsee², Phayung Meesad³

Received: 17 March 2017 ; Accepted: 15 September 2017

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบให้คำแนะนำเป็นระบบที่มีประโยชน์ และสร้างมูลค่าให้กับธุรกิจ ช่วยให้คำแนะนำที่เหมาะสม และตรงตามความต้องการสำหรับผู้ใช้ในยุคของภาวะข้อมูลท่วมท้น โดยมีกิจกรรมหลักคือการเรียงลำดับรายการสินค้าเพื่อแนะนำให้กับผู้ใช้ในแต่ละบุคคลได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำคือ เทคนิคตัวกรองแบบร่วมมือ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การหาค่าความคล้ายคลึง 2) การหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง และ 3) การพยากรณ์และให้คำแนะนำ โดยกระบวนการสร้างระบบยังคงพบปัญหาในการสร้างได้แก่ ความเบาบางของข้อมูล ลักษณะของข้อมูลที่เหมือนกัน และขนาดมิติของข้อมูล เป็นต้น ดังนั้นบทความนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงเพื่อใช้สร้างระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำเป็นซึ่งมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการหาค่าความคล้ายคลึง ได้แก่ 1) Pearson's Correlation (COR) 2) Cosine (COS) 3) Adjusted Cosine (ACOS) for similarity between items 4) Distance-based similarity 5) Constrained Pearson's Correlation (CPC) 6) Spearman's Rank Correlation (SRC) 7) Jaccard (Jacc) และ 8) Mean squared difference (MSD) และส่วนของนำกระบวนการมาปรับปรุงเพื่อสร้างกระบวนการใหม่ ได้แก่ 1) Proximity-Impact-Popularity (PIP) 2) Bhattacharyya coefficient 3) Linkelihood Ratio Similarity (LiRa) และ 4) Fuses user and item information (FUIR) เพื่อส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการสร้างระบบให้คำแนะนำ

คำสำคัญ: ระบบให้คำแนะนำ เทคนิคการกรองแบบร่วมมือ ความคล้ายคลึง

Abstract

As generally known, recommender systems have been applied to increase benefits and add values in many business fields. The systems can recommend appropriate items for users in an information overload era. In application, the systems provide personalized suggestions to fulfill consumer needs. This technique is classified as a collaborative filtering technique and is commonly used in building recommender systems that can be divided into three main steps: 1) finding the similarity, 2) selecting neighbors, and 3) predicting and recommending. However, there are some problems in system performance, such as sparsity, synonymy and scalability. In this article, we focused studies on similarity techniques for further developing recommender systems by using a memory-based collaborative filtering technique comprised of 1) Pearson's Correlation (COR) 2) Cosine (COS) 3) Adjusted Cosine (ACOS) for similarity between items 4) Distance-based similarity 5) Constrained Pearson's Correlation (CPC) 6) Spearman's Rank

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

¹ Doctoral student, ²Assistant Professor, ³Associate Professor, Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800. E-mail: kittisak@buu.ac.th

Correlation (SRC) 7) Jaccard (Jacc) and 8) Mean squared difference (MSD). Moreover, four algorithms were improved based on traditional process; 1) Proximity-Impact-Popularity (PIP) 2) Bhattacharyya coefficient 3) Linkelihood Ratio Similarity (LiRa) and 4) Fuses user and item information (FUIR) were also evaluated performances.

Keywords: Recommender System Collaborative Filtering Technique Similarity

บทนำ

ระบบให้คำแนะนำ เป็นระบบที่ใช้ในการเก็บรวบรวมสารสนเทศจากความพึงพอใจของผู้ใช้ในตัวสินค้าและบริการที่สนใจ เพื่อทำนายสิ่งที่ผู้ใช้สนใจในตัวสินค้าหรือบริการจากข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำในสินค้าต่างๆ เช่น ภาพยนตร์ เพลง หนังสือ และโปรแกรม เป็นต้น ซึ่งระบบให้คำแนะนำจะนำข้อมูลการให้อันดับของผู้ใช้ต่อสินค้า หรือพฤติกรรมของผู้ใช้ มาใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์จากสารสนเทศเพื่อแนะนำสินค้าให้กับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามาใช้ระบบ¹ ซึ่งปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ มีการนำระบบให้คำแนะนำมาใช้เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน สนับสนุนการเลือกสิ่งที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้² ซึ่งมีการพัฒนาระบบให้คำแนะนำในรูปแบบต่างๆ เช่น ระบบให้คำแนะนำรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ ระบบให้คำแนะนำธุรกิจอิเล็กทรอนิกส์ ระบบให้คำแนะนำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยในการสร้างระบบให้คำแนะนำในลักษณะต่างๆ นั้นได้มีการนำเทคนิคมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยประกอบด้วยประเภทต่างๆ ได้แก่

1) Content-based (CB) recommendation techniques เป็นเทคนิคที่นำค่าความคล้ายคลึงของสินค้าที่ผู้ใช้เลือกก่อนหน้ามาแนะนำ 2) Collaborative filtering (CF)-based recommendation techniques เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็น ผู้ใช้ และสินค้า โดยพิจารณาบนพื้นฐานของข้อมูลผู้ใช้ที่เข้ามาใช้ 3) Knowledge-based (KB) recommendation techniques เป็นระบบแนะนำสินค้าให้กับผู้ใช้โดยใช้พื้นฐานขององค์ความรู้ หรือข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับผู้ใช้ที่เข้ามาใช้ในการสร้างระบบแนะนำ 4) Hybrid recommendation techniques เป็นการนำเทคนิคมาผสมผสานในการสร้างระบบ โดยอาจมีการผสมผสานเทคนิคต่างๆ มาร่วมกันสร้างระบบให้คำแนะนำ 5) Computational intelligence-based recommendation techniques เป็นเทคนิคการสร้างระบบให้คำแนะนำจากการใช้ปัญญาประดิษฐ์ โดยมีการใช้เทคนิคประกอบด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์แบบต่างๆ มาช่วยในการสร้างระบบให้คำแนะนำ 6) Social network-based recommendation technique เป็นเทคนิคที่ใช้ข้อมูลเครือข่ายสังคมมาเป็นเครื่องมือในการสร้างระบบให้คำแนะนำซึ่งจะดูถึงความสัมพันธ์ในลักษณะของเครือข่ายสังคมมาใช้ประกอบการตัดสินใจให้คำแนะนำกับผู้ใช้

7) Context awareness-Based recommendation techniques เป็นเทคนิคในการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยการนำข้อมูล เช่น ข้อมูลเวลา ข้อมูลสถานที่ เป็นต้น มาใช้ในการสร้างซึ่งจะมีลักษณะที่มีข้อมูลมากกว่า 2 มิติ ใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ 8) Group recommendation techniques เป็นเทคนิคการสร้างระบบให้คำแนะนำสินค้าสำหรับกลุ่มผู้สนใจเฉพาะกลุ่ม

จากการสร้างระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือนั้น ในการดำเนินการจัดทำระบบมีกระบวนการที่สำคัญคือ การหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ หรือสินค้า เพื่อนำค่าความคล้ายคลึงที่ได้ไปดำเนินการหากลุ่มผู้ใช้ที่ต้องการนำข้อมูลมาจัดทำรายการพยากรณ์ (Top-N) ซึ่งในการหาค่าความคล้ายคลึงนั้นหากมิติข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณมีความเบาบางของข้อมูลสูง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการคำนวณค่าความคล้ายคลึง และประสิทธิภาพของระบบให้คำแนะนำ โดยปัจจุบันมีนักวิจัยทำการพัฒนา และปรับปรุงวิธีการหาค่าความคล้ายคลึงแบบต่างๆ เพื่อรองรับกับข้อมูลที่มีความเบาบาง ในการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงของข้อมูลเพื่อให้ได้ระบบให้คำแนะนำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้นบทความนี้เป็นบทความที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ และสินค้าเพื่อใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ โดยประกอบด้วยกระบวนการหลักได้แก่ การหาค่าความคล้ายคลึง การพยากรณ์และให้คำแนะนำ และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบให้คำแนะนำ

ปัญหาและความท้าทายในการสร้างระบบให้คำแนะนำแบบใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือ

ในการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือปัจจุบันมีปัญหาที่เกิดขึ้น และส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสร้างระบบให้คำแนะนำ³ โดยปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นจากข้อมูลที่นำเข้ามาเพื่อทำการสร้างระบบ และทำการพยากรณ์อันดับความสนใจให้กับผู้ใช้ ดังนี้

1. ปัญหาความเบาบางของข้อมูล (Data Sparsity)

ปัญหาด้านความเบาบางของข้อมูลเป็นปัญหาที่ผู้จัดทำระบบให้คำแนะนำพบเป็นประจำในการสร้างระบบซึ่งปัญหานี้เกิดจากการสร้างระบบให้คำแนะนำที่มีจำนวนของ

สินค้า หรือสิ่งที่สนใจในปริมาณมาก ทำให้เกิดมิติของข้อมูลที่มีขนาดใหญ่แปรผันตามข้อมูลของสินค้า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสร้างระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือ⁴

ในการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ หรือสินค้า ในการพยากรณ์อันดับความสนใจต่อตัวสินค้าที่เข้ามาใหม่ โดยปัญหาความเบาบางของข้อมูลเป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในการจัดทำงานวิจัย เพื่อแก้ปัญหาซึ่งเกิดขึ้นได้จากสถานการณ์ เช่น ปัญหาการมีสินค้าใหม่ หรือผู้ใช้งานใหม่ (Cold start problem) โดยเกิดจากการมีสินค้าใหม่เข้ามาในระบบให้คำแนะนำ ซึ่งสินค้า หรือผู้ใช้ นั้นยังไม่ได้มีข้อมูลการจัดอันดับความสนใจ ทำให้ขาดข้อมูลที่นำมาสร้างระบบให้คำแนะนำ⁵ แสดงได้ดัง Figure 1

User	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9	Item10	...
U1	1	2	1	2	1	5					
U2	4	3	5	4	2	5	4		1		
U3	5		4	5		4	5	1			
U4		2			3			5	4	5	
U5		2			3				4	3	
...

Figure 1 An Example of Data Sparsity Table

Figure 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เกิดปัญหาความเบาบางของข้อมูลนั้นจะแสดงให้เห็นได้ว่าการหาค่าความคล้ายคลึง ของผู้ใช้ U1 กับ U2 จะได้ค่าอันดับความสนใจของแต่ละคู่ดังนี้ U1(1,2,1,2,1) และ U2(4,5,4,5,4) ซึ่งหมายถึง ผู้ใช้ที่ U1 และ U2 มีการให้ค่าอันดับความสนใจของผู้ใช้ทั้งสองที่เหมือนกันในรายการสินค้าที่ 1 3 4 6 และ 7 โดยผู้ใช้คนที่ 1 ให้ค่าอันดับความสนใจกับสินค้าเท่ากับ 1 2 1 2 และ 1 ตามลำดับ และ U1 กับ U3 ได้ U1(1,2,1,2,1,5) และ U3(5,4,5,4,5,1) และ U1 กับ U4 ได้ U1(5) และ U4(5) ส่วน U4 กับ U5 ได้ U4(2,3,4,5) และ U5(2,3,4,3) โดยจากค่าอันดับความสนใจที่ผู้ใช้ให้อันดับร่วมกัน หากคำนวณโดยใช้การหาค่าความคล้ายคลึง จะได้ ผู้ใช้ที่ U1 มีค่าความคล้ายคลึงกับผู้ใช้ U4 มากกว่า ผู้ใช้ U5 โดยสามารถทำการคำนวณค่าความเบาบางของข้อมูล⁶ ได้โดยใช้สมการ

$$S_g = 1 - \frac{u_r}{uxi} \quad (1)$$

คือระดับ sparsity ให้ u_r คือส่วนของจำนวนที่ผู้ใช้ให้อันดับความสนใจต่อสินค้า x คือจำนวนผู้ใช้ และ i คือจำนวนสินค้า ดังนั้นจาก (Figure 1) สามารถหาค่าความเบาบางของข้อมูลคือ $S_g = 0.4$ จากสมการที่ (1) โดยหากค่า S_g มีค่าน้อยแสดงว่าชุดข้อมูลจะมีค่าความเบาบางน้อยทำให้มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากขึ้น

2. ปัญหามิติของข้อมูลที่นำมาสร้างระบบให้คำแนะนำมีขนาดใหญ่ (Scalability)

ปัญหามิติของข้อมูลที่นำมาสร้างระบบให้คำแนะนำมีขนาดใหญ่ อันเนื่องมาจากจำนวนของผู้ใช้ และสินค้า มีปริมาณมาก ส่งผลทำให้ต้องใช้ทรัพยากรในการสร้างระบบให้คำแนะนำที่มีความจำเป็นต้องการใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมาก ซึ่งในการจัดทำงานวิจัยต้องมีการลดมิติของข้อมูลลงเพื่อนำข้อมูลที่มีความสำคัญมาใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งมีผู้ทำการแก้ไขปัญหามาโดยการลดมิติของข้อมูลลงโดยมีการจัดกลุ่มของมิติข้อมูลที่นำมาทำการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงตามกลุ่มของสินค้า⁷ โดยมิติของข้อมูลจะมีขนาดเท่ากับ $n \times i$ ซึ่งหากมีจำนวนผู้ใช้ในปริมาณเพิ่มขึ้น และในทิศทางเดียวกันหากมีสินค้าในปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้มิติของข้อมูลมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลหาค่าความคล้ายคลึงสูงขึ้นตาม แสดงได้ Figure 2

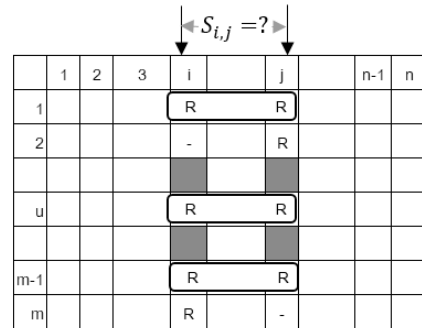


Figure 2 The Similarity Computation of Collaborative Filtering Process

Figure 2 แสดงถึงกระบวนการของระบบให้คำแนะนำใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือ⁸ ซึ่งในกระบวนการจัดทำต้องมีการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ หรือสินค้า เพื่อนำมาใช้ในการเลือกชุดข้อมูลมาทำการพยากรณ์สำหรับผู้ใช้ที่เข้ามาใช้ในระบบรายใหม่ ซึ่งในการหาค่า $S_{i,j}$ ได้จากการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงจากการให้อันดับความสนใจระหว่างสินค้าที่ i และสินค้าที่ j โดยมีการคำนวณจากผู้ใช้ตั้งแต่คนที่ 1 ถึงคนที่ m และจากสินค้าที่ 1 ถึงสินค้าที่ n ดังนั้นแสดงให้เห็นได้ว่าหากมีจำนวนผู้ใช้ และสินค้าในปริมาณมากจะส่งผลต่อมิติของข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรในการหาค่าความคล้ายคลึง

3. ปัญหาลักษณะของข้อมูลเหมือนกัน (Synonymy)

ปัญหาลักษณะของข้อมูลเหมือนกัน⁹ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยข้อมูลอันดับความสนใจของผู้ใช้ต่อสินค้าแต่ละผู้ใช้เหมือนกัน หรือมีความคล้ายคลึงกันระหว่างสินค้าที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถค้นหาสารสนเทศที่แฝงอยู่ในชุดข้อมูลที่นำมาสร้าง

ระบบให้คำแนะนำ เช่น ในลักษณะของสินค้าในกลุ่มต่างๆ โดยสินค้านั้นอยู่ในกลุ่มหนึ่งสำหรับเด็ก และอยู่ในกลุ่มภาพยนตร์สำหรับเด็ก ซึ่งเป็นสินค้าชนิดเดียวกัน แต่อยู่ในกลุ่มที่แตกต่างกัน หรือชื่อมีความแตกต่างกัน ทำให้ระบบนำค่าอันดับความสนใจมาทำการหาค่าความคล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นอันดับความสนใจที่มีค่าเหมือนกันทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสร้างระบบให้คำแนะนำ

4. ปัญหาการความไม่แน่นอนของผู้ใช้ (Gray Sheep)

ปัญหาความไม่แน่นอนของผู้ใช้ เป็นปัญหาที่เกิดจากการตัดสินใจของผู้ใช้ที่ไม่คงเส้นคงวา ซึ่งยากจะจัดผู้ใช้นั้นอยู่ในกลุ่มประชากรไหน และไม่เป็นประโยชน์ต่อการคัดกรองแบบการกรองแบบร่วมมือ ซึ่ง Black sheep เป็นกลุ่มคนที่มีความให้อันดับความพึงพอใจตามลักษณะรสนิยมของผู้ใช้นั้นๆ ซึ่งอาจส่งผลให้การสร้างระบบให้คำแนะนำล่าช้าได้ ซึ่งมีนักวิจัยได้นำเทคนิคแบบ Content-based มาใช้ร่วมกับ การจัดทำระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

5. ปัญหาการเข้าข้างตนเองและโจมตีฝั่งตรงข้าม (Shilling Attacks)

ปัญหาที่เกิดจากการให้อันดับความสนใจในรายการสินค้าของที่ตนเองเป็นเจ้าของสูง แต่ให้อันดับความสนใจในรายการสินค้าของคู่แข่งต่ำมาก ซึ่งจะมีผลต่ออันดับความสนใจที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายคลึง โดยกระบวนการเข้าข้างตนเองและโจมตีฝั่งตรงข้าม¹⁰ มีลักษณะอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ การเพิ่มค่าอันดับความสนใจสูงสุด เพื่อให้เกิดการแนะนำสินค้าที่ต้องการ (a push attack) และการโจมตีแบบให้อันดับความสนใจเพื่อไม่ได้รับระบบเลือกขึ้นมาให้คำแนะนำ (a nuke attack) แสดงตัวอย่างการโจมตีดัง Figure 3

	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Correlation with Alice
Alice	5	2	3	3		?	
User1	2		4		4	1	-1.00
User2	3	1	3		1	2	0.76
User3	4	2	3	1		1	0.72
User4	3	3	2	1	3	1	0.21
User5		3		1	2		-1.00
User6	4	3		3	3	2	0.94
User7		5		1	5	1	-1.00
Attack1	5		3		2	5	1.00
Attack2	5	1	4		2	5	0.89
Attack3	5	2	2	2		5	0.93
Correlation with Item6	0.85	-0.55	0.00	0.48	-0.59		

Figure 3 An Example of a Push Attack Favoring the Target Item¹⁰

Figure 3 แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของค่าที่ได้จากการหาค่าความสัมพันธ์ของผู้ใช้ที่เข้ามาใช้ในระบบใหม่ (Alice) กับผู้ใช้งานเดิมที่อยู่ในระบบโดยแสดงในคอลัมน์ Correlation with Alice ซึ่งผู้ใช้ที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งกระบวนการโจมตีเพื่อให้เกิดการแนะนำสินค้าที่ต้องการนี้มีการโจมตีโดยการเพิ่มข้อมูลการโจมตีใน Attack1 ถึง Attack3 เพื่อทำให้ค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ (Attack1) มีความคล้ายคลึงมากที่สุดกับผู้ใช้งานใหม่ในการพยากรณ์อันดับความสนใจของสินค้าที่ 6

เทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ (Memory-Based Collaborative Filtering Technique)

การสร้างระบบให้คำแนะนำในปัจจุบันนิยมใช้ เทคนิคการกรองแบบร่วมมือ (Collaborative filtering techniques : CF)³ ซึ่งเป็นการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยการนำข้อมูลการให้อันดับความสนใจของผู้ใช้ต่อสินค้ามาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ สำหรับพยากรณ์สินค้า หรือสิ่งที่ผู้ใช้สนใจให้กับผู้ใช้รายใหม่ โดยมีขั้นตอนในการจัดทำโดยการใช้เทคนิคนี้ดังนี้

- 1) กำหนดจำนวนผู้ใช้ที่ใกล้เคียงกับผู้ใช้ที่กำลังใช้งาน
- 2) รวมการจัดอันดับความสนใจ (Rating) สำหรับสิ่งของที่ใกล้เคียง
- 3) พยากรณ์จากขั้นตอนที่ 2 และเลือกสินค้ามาให้คำแนะนำ โดยมีเทคนิคหลักดังนี้

เทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ (Memory-based Collaborative Filtering Technique) เป็นเทคนิคที่ใช้ข้อมูลจากประวัติการให้อันดับความสนใจของผู้ใช้ต่อสินค้า และทำให้ได้ตารางมิติอันดับความสนใจของผู้ใช้ต่อสินค้า จากนั้นทำการหาค่าความคล้ายคลึง ระหว่างผู้ใช้ใหม่กับผู้ใช้ที่อยู่ในระบบ หรือหาค่าความคล้ายคลึงสำหรับสินค้าใหม่กับสินค้าในระบบ และทำการเลือกผู้ใช้หรือสินค้าที่มีค่าความคล้ายคลึงสูงสุดมาทำการพยากรณ์โดยจะได้มาจำนวน N ชุดข้อมูล และให้คำแนะนำ ซึ่งปัญหาในเรื่องความเบาบางของข้อมูลจะเป็นข้อจำกัดในการจัดทำโดยการใช้วิธีการนี้

เทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานแบบจำลอง (Model-Based Collaborative Filtering Technique) เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ โดยนำมาใช้เมื่อมีผู้ใช้ใหม่เข้ามาซึ่งไม่เคยมีผู้ใช้ใดในระบบมาก่อน ซึ่งมีการใช้อัลกอริทึมมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำประเภทนี้ได้แก่ การจำแนกข้อมูลแบบเบย์ (Bayesian classifiers) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ระบบฟัซซีหรือระบบแบบคลุมเครือ (Fuzzy system) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithms) การหา

คุณลักษณะแฝง (Latent features) และ การแยกตัวประกอบเมตริกซ์ (Matrix factorization) เป็นต้น

เทคนิคการกรองแบบร่วมมือแบบผสม (Hybrid Collaborative Filtering Technique) เป็นการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยมีการทำงานร่วมกันระหว่างวิธีการกรองแบบร่วมมือ (CF) กับตัวกรองทางประชากรศาสตร์ (Demographic filtering) หรือวิธีการกรองแบบร่วมมือ (CF) กับตัวกรองเนื้อหา (Content-based filtering) มาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

จากเทคนิคดังที่กล่าวมาข้างต้นในบทความนี้จะอธิบายถึงเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ

สำหรับสร้างระบบให้คำแนะนำ โดยอธิบายถึงกระบวนการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดทำระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำได้ดังนี้

1. กระบวนการจัดทำระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ

ในกระบวนการจัดทำระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ¹¹ มีกระบวนการหลักในการจัดทำระบบให้คำแนะนำแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) การหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ 2) เลือกผู้ใช้ที่มีความใกล้เคียงมาใช้ในการพยากรณ์ และ 3) การพยากรณ์และให้คำแนะนำ แสดงกระบวนการทำงานดัง Figure 4

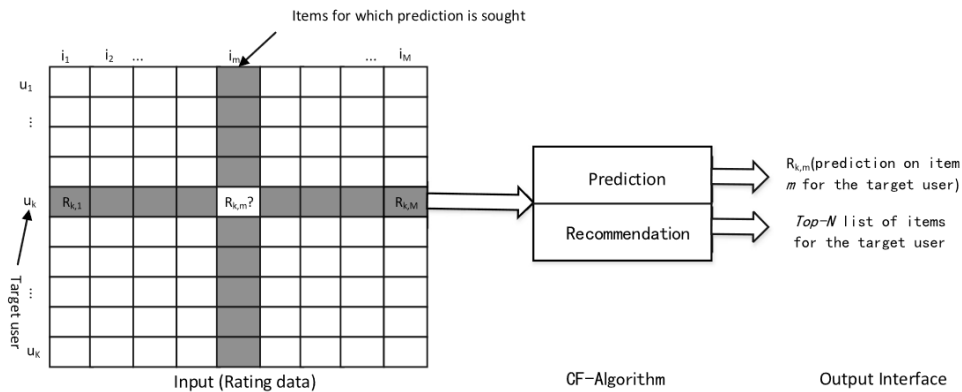


Figure 4 The Collaborative Filtering Process

Figure 4 แสดงถึงกระบวนการจัดทำระบบให้คำแนะนำโดยการใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือ¹² ซึ่งจะเป็นการพยากรณ์อันดับความสนใจในสินค้าที่ i_m ให้กับผู้ใช้ U_k ที่เข้ามาใช้ในระบบใหม่คือค่า $R_{k,m}$ ซึ่งมีการนำเอาข้อมูลเข้าในรูปแบบของมิติข้อมูลของผู้ใช้-สินค้า (User-Item) โดยนำค่าอันดับความสนใจของแต่ละผู้ใช้ที่มีต่อตัวสินค้ามาทำการหาค่าความคล้ายถึงเพื่อทำการเลือกผู้ใช้หรือสินค้าที่มีการคล้ายคลึงกันมากที่สุดมาทำการพยากรณ์และให้คำแนะนำสำหรับผู้ใช้รายใหม่

การหาค่าความคล้ายคลึง (Similarity) การจัดทำระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำนั้น เป็นการนำเอาข้อมูลประวัติของผู้ใช้ที่เคยให้อันดับความสนใจของสินค้ามาใช้ในการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงกับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามาในระบบ โดยมีผู้วิจัยได้จัดทำระบบให้คำแนะนำโดยใช้อัลกอริทึมต่างๆ ได้แก่ Pearson's Correlation (COR) Cosine (COS) Adjusted Cosine (ACOS) for similarity between เป็นต้น ซึ่งในแต่ละอัลกอริทึมมีผู้วิจัยได้นิยมใช้สร้างระบบให้คำแนะนำในการหาค่าความคล้ายของผู้ใช้เดิมกับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามาในระบบ และจากนั้นจะหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง

เพื่อนำข้อมูลอันดับมาใช้ในการพยากรณ์อันดับความสนใจของผู้ใช้ใหม่ต่อไป

การหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Neighbors) การเลือกข้อมูลมาเพื่อใช้ในการพยากรณ์นั้น ได้มีผู้วิจัยได้จำแนกการเลือกข้อมูลเพื่อมาใช้ในการพยากรณ์ผู้ใช้ใหม่ไว้ 2 ลักษณะ¹³ ได้แก่ 1) Nearest Neighbor algorithms เป็นการหาค่าความคล้ายของผู้ใช้กับผู้ใช้ปัจจุบัน โดยจะนำข้อมูลเดิมที่มีอยู่มาใช้ในการหาค่าความคล้ายกับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามา และหาสินค้าที่มีความใกล้เคียงแนะนำให้กับผู้ใช้ใหม่ เนื่องจากผู้ใช้ใหม่น่าจะมีความชอบในสินค้าที่ใกล้เคียงกับประวัติของผู้ใช้เดิมในระบบ โดยจะแบ่งการหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงออกเป็น หาเพื่อนบ้านใกล้เคียงในมุมมองของผู้ใช้ และหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงในมุมมองของสินค้ากับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามาในระบบ 2) Top-N recommendation เป็นวิธีการนำข้อมูลมาใช้ในการพยากรณ์โดยมีการกำหนดค่า N คือจำนวนชุดข้อมูลของผู้ใช้ หรือสินค้าที่มีค่าความคล้ายคลึงสูง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์จากตารางมิติของผู้ใช้-สินค้า โดยหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับผู้ใช้ หรือสินค้ากับสินค้า และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความคล้ายกับผู้ใช้ที่เข้ามาใหม่

การพยากรณ์และให้คำแนะนำ (Prediction and Recommendation Computation) เป็นส่วนที่สำคัญเพื่อที่จะแนะนำและพยากรณ์อันดับความสนใจให้กับผู้ใช้ใหม่ที่เข้ามาในระบบ ซึ่งมีวิธีที่นิยมด้วยกันอยู่ 2 วิธี³ ได้แก่ การใช้ผลรวมน้ำหนัก (Weighted Sum of Others' Ratings) เป็นการพยากรณ์อันดับความสนใจโดยการใช้ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักของอันดับความสนใจ และวิธีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแบบง่าย (Simple Weighted Average) เป็นการพยากรณ์อันดับความสนใจโดยการใช้วิธีการแบบคิดค่าเฉลี่ย

จากกระบวนการที่กล่าวมาส่วนของการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้รายใหม่กับผู้ใช้งานเดิม ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการจัดหาระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือ ได้มีนักวิจัยได้ใช้อัลกอริทึมในการหาค่าความคล้ายคลึงแบบต่างๆ มาใช้ในการหาค่าความคล้ายคลึงซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไปในส่วนของการเปรียบเทียบของการหาค่าความคล้ายคลึง

1.1 เทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึง

เทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึง¹⁴ เป็นการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงจากตารางมิติของ User-Item ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการสร้างระบบให้คำแนะนำ สำหรับการคำนวณแบบมิติพื้นฐานของสินค้า Item-based เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างสินค้า i_a และ สินค้า i_b โดยจะทำการคำนวณจากอันดับความสนใจที่ผู้ใช้ให้ในสินค้าที่มีความสัมพันธ์กัน และแบบมิติพื้นฐานของผู้ใช้ User-based มีลักษณะการคำนวณค่าความคล้ายคลึงเหมือนกันแต่จะเป็นการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ ซึ่งมีผู้วิจัยใช้ และทำการเปรียบเทียบการหาค่าความคล้ายคลึงแบบต่างๆ มาใช้การสร้างระบบให้คำแนะนำ โดยงานวิจัยส่วนมากจะมีการหาค่าความคล้ายคลึง^{1,3} แบบ ได้แก่ 1) Pearson's Correlation (COR) 2) Cosine (COS) 3) Adjusted Cosine (ACOS) for similarity between items 4) Distance-based similarity 5) Constrained Pearson's Correlation (CPC) 6) Spearman's Rank Correlation (SRC) 7) Proximity-Impact-Popularity (PIP) 8) Bhattacharyya coefficient และ 9) Linkelihood

Ratio Similarity (LiRa) เป็นต้น ซึ่งในการหาค่าความคล้ายคลึงแบบต่างๆ ได้มีการนำข้อมูลอันดับความสนใจของผู้ใช้ต่อสินค้ามาใช้ในการคำนวณซึ่งจะมีการนำค่าผลต่างหรือผลคูณของคู่อันดับความสนใจสินค้า ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน หรือจำนวนการให้อันดับความสนใจของสินค้าที่เหมือนกันของแต่ละผู้ใช้ (Co-rate) มาใช้เป็นข้อมูลเข้าเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ หรือของสินค้า โดยแสดงได้ดัง Table 1 แสดงถึงสมการในการหาค่าความคล้ายคลึงสำหรับเทคนิคการกรองแบบร่วมมือโดยแต่ละสมการจะมีการนำข้อมูลอันดับความสนใจในรูปแบบ ผู้ใช้-สินค้า มาทำการหาค่าความคล้ายคลึงโดยแต่ละสมการจะมีการนำเอาค่าของอันดับความสนใจมาทำการหาค่าต่างกับค่าที่ใช้ได้แก่ ค่าปกติ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน การนับจำนวน

1.2 การพยากรณ์และให้คำแนะนำ (Prediction and Recommendation Computation)

ในการพยากรณ์และให้คำแนะนำของระบบให้คำแนะนำ นิยมใช้สองวิธีการในการพยากรณ์ค่าอันดับความสนใจให้กับผู้ใช้รายใหม่ที่เข้ามาใช้ในระบบ แสดงดัง Table 2 แสดงถึงวิธีการในการพยากรณ์อันดับความสนใจให้กับผู้ใช้รายใหม่ที่เข้ามาใช้ระบบให้คำแนะนำ ซึ่งมีวิธีการที่นิยมใช้ 2 วิธีการ โดยจะเห็นได้ว่าวิธีการแบบวิธีผลรวมน้ำหนักของอันดับความสนใจ นิยมใช้กับการพยากรณ์จากผู้ใช้ ส่วนวิธีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแบบง่ายจะนิยมใช้กับการพยากรณ์สำหรับสินค้า

1.3 การทดสอบและประเมินผลระบบให้คำแนะนำ

ในการทดสอบและประเมินผลระบบให้คำแนะนำนั้นได้มีผู้นิยมใช้กระบวนการทดสอบการจำแนกหรือการพยากรณ์ที่ได้จากการสร้างระบบให้คำแนะนำ^{1,3,15} ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความเที่ยงตรงแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และ ค่า (F-measure) ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของระบบให้คำแนะนำ นิยมทดสอบโดยการใช้ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE)

Table 1 The Equations of Similarity of Collaborative Filtering Techniques

การหาค่าความคล้ายคลึง	รายละเอียด	คำปกติ (R)	ค่าเฉลี่ย (AVG)	มัธยฐาน (Med)	การหับจำนวน (C)	ประเภท
Pearson's Correlation (COR)	$S(u_a, u_b) = \frac{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - \bar{r}_{u_a})(r_{u_b, i_k} - \bar{r}_{u_b})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - \bar{r}_{u_a})^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_b, i_k} - \bar{r}_{u_b})^2}}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ u_a และ u_b โดยกำหนดให้ $r_{u_a, i}$ เป็นอันดับความสนใจของสินค้า i โดยผู้ใช้ u_a และ $r_{u_b, i}$ คือค่าเฉลี่ยของอันดับความสนใจทั้งหมดของผู้ใช้ u ที่มีการให้อันดับสินค้าเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate) และ n คือจำนวนของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate)</p>		x			S
Cosine (COS)	$S(u_a, u_b) = \frac{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k})(r_{u_b, i_k})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n r_{u_a, i_k}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n r_{u_b, i_k}^2}}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงมุมที่กำหนดให้ $r_{u_a, i}$ เป็นอันดับความสนใจของสินค้า i โดยผู้ใช้ u_a และ $r_{u_b, i}$ คือจำนวนของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate)</p>	x				S
Adjusted Cosine (ACOS) for similarity between items	$S(i_a, i_b) = \frac{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - \bar{r}_{u_a})(r_{u_b, i_k} - \bar{r}_{u_b})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - \bar{r}_{u_a})^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_b, i_k} - \bar{r}_{u_b})^2}}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงสำหรับสินค้า i_a และ i_b โดยกำหนดให้ $r_{u_a, i}$ เป็นอันดับความสนใจของสินค้า i โดยผู้ใช้ u_a และ $r_{u_b, i}$ คือค่าเฉลี่ยของอันดับความสนใจทั้งหมดของผู้ใช้ u ที่มีการให้อันดับสินค้าโดยผู้ใช้ u และ n คือจำนวนของผู้ใช้ที่ให้อันดับความคล้ายคลึงกัน</p>		x			S
Constrained Pearson's Correlation (CPC)	$S(u_a, u_b) = \frac{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - r_{med})(r_{u_b, i_k} - r_{med})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_a, i_k} - r_{med})^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{u_b, i_k} - r_{med})^2}}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ u_a และ u_b โดยกำหนดให้ $r_{u_a, i}$ เป็นอันดับความสนใจของสินค้า i โดยผู้ใช้ u_a และ r_{med} คือค่าเฉลี่ยของอันดับความสนใจ (เช่น ค่าเป็น 3 ในอันดับความสนใจที่ 5) และ n คือจำนวนของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate)</p>			x		S
Spearman's Rank Correlation (SRC)	$S(u_a, u_b) = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n(n^2 - 1)}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ u_a และ u_b โดยกำหนดให้ d_k เป็นค่าความแตกต่างในช่วงสำหรับสินค้า k สำหรับผู้ใช้สองคน และ n คือจำนวนของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate)</p>	x				S

หมายเหตุ การหาค่าความคล้ายคลึงโดยพิจารณาจาก ค่าความสัมพัทธ์ (S) ค่าความแตกต่าง (D) ค่าอัตราส่วน (R) แบบผสมผสาน (M) และการนำข้อมูลภายนอกมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ (S+E)

Table 1 The Equations of Collaborative Filtering Techniques (Cont.)

การหาค่าความคล้ายคลึง	รายละเอียด	ค่าปกติ (R)	ค่าเฉลี่ย (AVG)	มีพื้นฐาน (Med)	การหับจำนวน (C)	ประเภท
Euclidean ^{16,17}	$Distance(u_a, u_b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (r_{u_a, i} - r_{u_b, i})^2}$ <p>และจะได้สมการในการหาค่าความคล้ายคลึงดังนี้ (18)</p> $S(u_a, u_b) = \frac{1}{1 + Distance(u_a, u_b)}$ <p>เป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างผู้ใช้ u_a กับผู้ใช้ u_b ในการให้อันดับความสนใจของสินค้า i โดยค่าความแตกต่างน้อยจะมีความคล้ายคลึงสูง</p>	x				D
Jaccard (Jacc) ¹⁹	$S(u_a, u_b) = \frac{ I_{u_a} \cap I_{u_b} }{ I_{u_a} \cup I_{u_b} }$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายโดยการกำหนดให้ I_{u_a} คือชุดข้อมูลของสินค้าที่ถูกจัดอันดับความสำคัญโดยผู้ใช้ u_a</p>				x	R
Mean squared difference (MSD)	$S(u_a, u_b) = 1 - \frac{\sum_{k \in \text{set}(r_{u_a, k}, r_{u_b, k})} r_{u_a, k} - r_{u_b, k} ^2}{ n }$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงโดยกำหนดให้ n เป็นชุดของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate) และ $r_{u, i}$ คืออันดับความสนใจของผู้ใช้ u บนสินค้า i</p>	x				S
Proximity-Impact-Popularity (PIP) ¹⁴	$S(u_a, u_b) = \sum_{k \in N} PIP(r_{u_a, k}, r_{u_b, k})$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ u_a และ u_b ซึ่งกำหนดให้ โดยมีการกำหนดให้ $r_{u_a, k}$ และ $r_{u_b, k}$ คืออันดับความสนใจของสินค้าที่ k โดยผู้ใช้ u_a และ u_b และ n คือสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันของผู้ใช้ (co-rate) ของผู้ใช้ u_a และ u_b โดยจะมีการคำนวณการหาค่าความใกล้เคียง ค่าผลกระทบ และค่าความนิยมมาใช้ในการหาค่าความคล้ายคลึง ซึ่ง $PIP(r_{u_a, k}, r_{u_b, k})$ คือค่าคะแนนสำหรับระดับที่ได้จาก $r_{u_a, k}$ และ $r_{u_b, k}$ และนำค่าสำหรับสองระดับที่ได้ r_1 และ r_2 มาดำเนินการ ดังสมการด้านล่าง</p> $PIP(r_1, r_2) = Proximity(r_1, r_2) \times Impact(r_1, r_2) \times Popularity(r_1, r_2)$ <p>โดยจากสมการด้านบนในการทำงานจะมีการแยกออกเป็นสองกรณี ซึ่งได้แก่กรณีที่แท้จริง และกรณีที่เท็จ โดยมีการนำค่ากลางมาใช้ในการพิจารณาเกี่ยวกับค่า r_1, r_2 ว่ามากหรือน้อยกว่าค่ากลางหรือไม่</p>	x	x	x		M
Bhattacharyya coefficient (BC) ¹⁹	$S(u_a, u_b) = Jacc(u_a, u_b) + \sum_{i \in I_{u_a} \cap I_{u_b}} BC(i, j) Loc(r_{u_a}, r_{u_b})$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงโดยผู้ใช้ u_a และผู้ใช้ u_b ซึ่ง $BC(i, j)$ เป็นค่าอันดับความสนใจระหว่างสินค้า i และ j ซึ่งเป็นการตรวจสอบการหาค่า Co-rate ของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจ โดยจะมีค่าเป็น 0 และ 1 หากมีค่าเป็น 0 จะใช้ค่าของ Jaccard เป็นค่าความคล้ายคลึง และ $Loc(r_{u_a}, r_{u_b})$ เป็นค่าความคล้ายคลึงระหว่างอันดับความสนใจของทั้งสองวิธี ได้แก่การใช้การหาค่าความคล้ายคลึงโดยใช้ค่าเฉลี่ย หรือการหาค่าความคล้ายคลึงโดยใช้ค่ามัธยฐาน และ $Jacc(u_a, u_b)$ เป็นการคำนวณค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้แบบ Jaccard</p>	x	x	x	x	M

หมายเหตุการหาค่าความคล้ายคลึงโดยพิจารณาจาก ค่าความสัมพันธ์ (S) ค่าความแตกต่าง (D) ค่าอัตราส่วน (R) แบบผสมผสาน (M) และการนำชุดข้อมูลภายนอกมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ (S+E)

Table 1 The Equations of Similarity of Collaborative Filtering Techniques (Cont.)

การหาค่าความคล้ายคลึง	รายละเอียด	คำปกติ (R)	ค่าเฉลี่ย (AVG)	มัธยฐาน (Med)	การนับจำนวน (C)	ประเภท
Linkelihood Ratio Similarity (LIRa) ²⁰	$S(u_a, u_b) = \log_{10} \frac{p(\text{differences in } u_a \text{ and } u_b \text{same cluster})}{p(\text{differences in } u_a \text{ and } u_b \text{pure chance})}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงจากการคำนวณอัตราส่วนของค่าความน่าจะเป็นของ u_a และ u_b</p>				x	R
Fuses user and item information (FUIR) ¹²	$S(u_a, u_b) = \frac{\sum_{k=1}^{ I } CTRI(u_a, k) \cdot CTRI(u_b, k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{ I } CTRI(u_a, k)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{ I } CTRI(u_b, k)^2}}$ <p>เป็นการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ซึ่งจะมีการดำเนินการลำดับแรก โดยการหาค่า Customer Relative Interest (CTRI) สำหรับผู้ใช้แต่ละคน k โดยคำนวณได้จากสมการ $CTRI(u_a, k) = \frac{I_{a, k} \cdot S_{a, k}}{\sum_{i \in u_a} S_{i, k} \cdot I_{i, k}}$ โดยจากสมการ CTRI เป็นสมการในการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ u_a และ u_b โดยเบื้องต้นจะทำการคำนวณพื้นฐานของสินค้าของผู้ใช้แต่ละคนโดยจะพิจารณาจาก k ที่เป็นคุณลักษณะของสินค้าที่ใช้ในการคำนวณ</p>		x	x		S+E

หมายเหตุการหาค่าความคล้ายคลึงโดยพิจารณาจาก ค่าความสัมพันธ์ (S) ค่าความแตกต่าง (D) ค่าอัตราส่วน (R) แบบผสมผสาน (M) และการนำชุดข้อมูลภายนอกมาใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำ (S+E)

Table 2 Prediction and Recommendation Computation

วิธีการพยากรณ์	รายละเอียด
วิธีผลรวมน้ำหนักของอันดับความสนใจ (Weighted Sum of Others' Ratings : WS)	$P_{u_a, i_a} = \bar{r}_{u_a} + \frac{\sum_{h=1}^n (r_{u_a, i_a} - \bar{r}_{u_a}) \cdot S(u_a, u_h)}{\sum_{h=1}^n S(u_a, u_h)}$ <p>จากสมการด้านบน กำหนดให้ \bar{r}_{u_a} คือค่าเฉลี่ยอันดับความสนใจของผู้ใช้ u_a ในทุกการให้อันดับความสนใจของผู้ใช้ u_a โดยคำนวณทุกสมาชิกที่มีการให้อันดับสินค้า i_a โดยค่า h โดยเป็นการพยากรณ์พื้นฐานของเพื่อนบ้านใกล้เคียงผู้ใช้ที่เข้ามาใหม่</p>
วิธีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแบบง่าย (Simple Weighted Average: SWA)	$P_{u_a, i_a} = \frac{\sum_{h=1}^n r_{u_a, i_a} \cdot S(i_a, i_h)}{\sum_{h=1}^n S(i_a, i_h)}$ <p>เป็นการพยากรณ์สำหรับ Item-based ซึ่งเป็นการหาโดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักแบบง่าย สำหรับ ผู้ใช้ u_a ใน สินค้า i_a โดยจะทำการหาอันดับความสนใจทั้งหมดในแต่ละสินค้าสำหรับผู้ใช้ $S(i_a, i_h)$ คือค่าความคล้ายคลึงระหว่างสินค้า i_a และ i_h ส่วน r_{u_a, i_a} คืออันดับความสนใจของผู้ใช้ u_a กับสินค้า i_a</p>

Table 3 Evaluation of Recommendation System

วิธีการทดสอบ	รายละเอียด
ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นค่าสำหรับใช้ในการวัดค่าความถูกต้องจากผลที่ได้จากการพยากรณ์อันดับความสนใจให้กับผู้ใช้รายใหม่	$Accuracy = \frac{TP + FN}{TP + TN + FP + FN}$ โดยกำหนดให้ TP ค่าใช่ที่ถูกต้อง TN ค่าใช่ที่ผิด FP ค่าไม่ที่ทายถูก FN ค่าไม่ ที่ทายผิด
ค่าความเที่ยงตรงแม่นยำ (Precision) เป็นค่าที่ใช้สำหรับวัดความแม่นยำของการทำนาย กับค่าที่เป็นจริงทั้งหมดของชุดข้อมูลจริง	$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$ โดยกำหนดให้ TP ค่าใช่ที่ถูกต้อง TN ค่าใช่ที่ผิด FP ค่าไม่ที่ทายถูก FN ค่าไม่ ที่ทายผิด
ค่าความระลึก (Recall) เป็นค่าจากการค้นหาข้อมูลที่ใช่เป็นค่าอัตราส่วนของการค้นพบค่าความถูกต้องเชิงบวก (True Positives: TP) เทียบกับค่าที่ทำนายถูกต้องทั้งหมด	$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$ โดยกำหนดให้ TP ค่าใช่ที่ถูกต้อง TN ค่าใช่ที่ผิด FP ค่าไม่ที่ทายถูก FN ค่าไม่ ที่ทายผิด
ค่า (F-measure) คือการนำค่า Precision และค่า Recall มารวมกันเป็นค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุด	$F1 = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall}$
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณการได้จากแบบจำลอง โดย หากค่า MAE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองมีสมการ	$MAE = \frac{1}{S} \sum_{i,j} R_{i,j} - \hat{R}_{i,j} $ โดยกำหนดให้ $R_{i,j}$ คือค่าจากการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง $\hat{R}_{i,j}$ คือค่าที่เกิดขึ้นจริง S คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งมีลักษณะเหมือนรากที่สองของค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งหากมีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมีสมการ	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{i,j} (R_{i,j} - \hat{R}_{i,j})^2}$ โดยกำหนดให้ $R_{i,j}$ คือค่าจากการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง $\hat{R}_{i,j}$ คือค่าที่เกิดขึ้นจริง S คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

Table 4 Memory-based Collaborative Filtering Technique

ปี	เรื่อง	เทคนิคที่ใช้เปรียบ เทียบ	เทคนิคที่งานวิจัยนำ เสนอ	การ พยากรณ์	การทดสอบ	ข้อมูลที่ใช้	ลักษณะเด่นและเทคนิค
2016	FUIR: Fusing user and item information to deal with data sparsity by using side information in recommendation systems ¹²	COS, COR, ACOS	FUIR	SWA	MAE	R	มีการนำ CTRI มาประยุกต์กับการหาค่าความคล้ายคลึงกับ COS ซึ่งเป็นกรณีที่มีข้อมูลของคุณลักษณะของสินค้ามาทำการพิจารณาในการหาค่า CTRI ระหว่างสินค้าแต่ละรายการ
2016	LiRa: A New Likelihood-Based Similarity Score For Collaborative Filtering ²⁰	COS, COR, BC	LiRa	BCF	RMSE	C	นำหลักการ Likelihood โดยมีลักษณะเป็นอัตราส่วน มาใช้ในการสร้างสมการหาค่าความคล้ายคลึง ใช้ LOG ₁₀ ในการหาค่าความคล้ายคลึงซึ่งเข้ามาแก้ปัญหาของการใช้การหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันทำให้ค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงใช้วิธีการนี้ในการหาค่าความคล้ายคลึงซึ่งจะนำจำนวน co-rate ของสินค้ามาใช้ในการพิจารณา
2016	An evolutionary approach for combining results of recommender systems techniques based on collaborative filtering ¹⁶	COR, Euclidean, SRC, TAN, AG	GA _M	SWA	RMSE	R, AVG, C	นำเอาริวกกรรมพันธุวิธี่ซึ่งพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการหาค่าความคล้ายคลึงของเทคนิคในการจัดทำการระบบให้คำแนะนำแบบต่างๆ มาผสมกัน บนพื้นฐานเทคนิคการกรองแบบร่วมมือในการสร้างระบบให้คำแนะนำ
2016	Extended Collaborative Filtering Technique for Mitigating the Sparsity Problem ²¹	COS	USIM, ISIM	WS	Precision, Recall, F1	R	การหาค่าความคล้ายคลึงบนพื้นฐานของการใช้วิธีการแบบ COS ในการดำเนินการซึ่งจะดำเนินการหา USIM จากการทำเอา ISIM มาใช้ในการดำเนินการหา USIM บนสมการ COS

Table 4 Memory-based Collaborative Filtering Technique (Cont.)

ปี	เรื่อง	เทคนิคที่ใช้เปรียบเทียบ	เทคนิคที่งานวิจัยนำเสนอ	การพยากรณ์	การทดสอบ	ข้อมูลที่ใช้	ลักษณะเด่นและเทคนิค
2015	A new similarity measure using Bhattacharyya coefficient for collaborative filtering in sparse data ¹⁹	MJD, PIP, PC, JMDS, NHSM, CPC	BCF (BCF(corr), BCF(med))	BCF	MAE, RMES, F1	R, AVG, Med, C	การหาค่าความคล้ายคลึง โดยมีลักษณะผสมผสานด้วยเทคนิคต่างๆ โดยลำดับแรกจะเป็นการตรวจสอบการหาค่า Co-rate ของสินค้าที่มีการให้อันดับความสนใจ โดยจะมีค่าเป็น 0 และ 1 หากมีค่าเป็น 0 จะใช้ค่าของ Jaccard เป็นค่าความคล้ายคลึง และหากมีค่าเป็น 1 จะพิจารณาโดยใช้ลักษณะของการหาค่าความคล้ายคลึงแบบค่าเฉลี่ยและค่าความคล้ายคลึงจากค่ามัธยฐานเข้ามาใช้ในการดำเนินการ
2013	A new similarity function for selecting neighbors for each target item in collaborative filtering ²²	COR(CF_P), COS(CF_C), Distance(CF_D)	CF_P_P, CF_P_C, CF_P_D, CF_C_P, CF_C_C, CF_C_D, CF_D_P, CF_D_C, CF_D_D	SWA	Precision, Recall, F1, Coverage	R, AVG	การหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของผู้ใช้งานที่ต้องการ ในแต่ละสินค้าที่ต้องการที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งก่อให้เกิดความถูกต้องในการแนะนำและได้สินค้าที่หลากหลายในกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมาย

หมายเหตุ ข้อมูลหรือตัวแปรที่ใส่คำคุณมาใช้ในการหาค่าความคล้ายคลึงได้แก่ อันดับความสนใจ (R) ค่าเฉลี่ยของอันดับความสนใจ (AVG) ค่ามัธยฐานของอันดับความสนใจ (Med) และจำนวน Co-rate ของอันดับความสนใจ (C)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการสร้างระบบให้คำแนะนำโดยใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ

จากกระบวนการจัดทำระบบให้คำแนะนำโดยใช้เทคนิคการกรองแบบร่วมมือที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ได้มีนักวิจัยได้จัดทำระบบให้คำแนะนำโดยใช้เทคนิคต่างๆ มาสร้างระบบให้คำแนะนำซึ่งมีการดำเนินการประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ โดยนำเทคนิคมาทำการเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม ดัง (Table 4) โดยจากลักษณะของระบบให้คำแนะนำที่ใช้เทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงในลักษณะต่างๆ เป็นตารางที่แสดงถึงงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงมาใช้ในการจัดทำการหาค่าความคล้ายคลึงในการสร้างระบบให้คำแนะนำ โดยตารางได้แสดงถึงเทคนิคที่ใช้ การเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบดั้งเดิม และข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งในแต่ละเทคนิคมีการนำข้อดีของแต่ละเทคนิคมาผสมผสานทำงานร่วมกัน ซึ่งจากงานวิจัยในเทคนิคใหม่ๆ ส่วนใหญ่จะมีการนำค่ามัธยฐาน หรือค่าการนับจำนวน (จำนวนการให้อันดับความสนใจเหมือนกัน) มาใช้ในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับมิติข้อมูลชุดนั้นๆ เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ และประสิทธิภาพในการให้คำแนะนำของระบบมีค่ามากขึ้น และลดทรัพยากรที่ใช้ในการประมวลผลลง

จากกระบวนการสร้างระบบให้คำแนะนำที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่าการนำสมการการหาค่าความคล้ายคลึงมาใช้ในการสร้างเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงแบบต่างๆ ซึ่งในแต่ละสมการมีความต้องการลักษณะข้อมูลของมิติข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่นการจัดทำโดยใช้ FUIR¹² เป็นการนำมิติข้อมูลคุณลักษณะของสินค้าเข้ามาช่วยในการหาค่าความคล้ายคลึง LiRa²⁰ การนำ \log_{10} ในการหาค่าความคล้ายคลึงซึ่งเข้ามาแก้ปัญหาของการใช้การหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ที่มีการให้อันดับความสนใจเหมือนกันทำให้ค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 1 Bhattacharyya¹⁹ เป็นการนำสมการการหาค่าความคล้ายคลึงที่เหมาะสมสำหรับมิติข้อมูลมาใช้ในการเลือกใช้ PIP¹⁴ เป็นเทคนิคในการแบ่งลักษณะของข้อมูลออกเป็นกรณี และดำเนินการจัดการกับข้อมูล 3 กิจกรรมหลัก หรือ GA_M ¹⁶ เป็นการนำเอาวิธีการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการเลือกค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการหาค่าความคล้ายคลึงของเทคนิคในการจัดทำระบบให้คำแนะนำแบบต่างๆ มาผสมกัน ซึ่งในแต่ละเทคนิคนั้นเพื่อใช้ในการเข้ามาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากความเบาบางของข้อมูล โดยปัญหาดังกล่าวนี้จะส่งผลโดยตรงต่อการสร้างระบบให้คำแนะนำแบบการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ เนื่องจากต้องมีการนำมิติข้อมูลที่มีการให้อันดับความสนใจในสินค้าเดียวกันมาใช้ในการหาค่าความคล้ายคลึง

สรุป

บทความนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ ซึ่งมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การหาค่าความคล้ายคลึง การหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง และการพยากรณ์และให้คำแนะนำ ในกระบวนการสร้างดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ในขั้นตอนของกระบวนการหาค่าความคล้ายคลึง ของผู้ใช้ หรือของสินค้า มีผู้นิยมจัดทำงานวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงวิธีการหาค่าความคล้ายคลึง โดยการจัดทำระบบให้คำแนะนำดังกล่าวจะมีข้อจำกัดของมิติข้อมูล และค่าความเบาบางของข้อมูล ที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการหาค่าความคล้ายคลึง การพยากรณ์ และประสิทธิภาพในการให้คำแนะนำของระบบ ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดี และข้อเสียในการหาค่าความคล้ายคลึงจากชุดข้อมูลที่มีความเบาบาง จึงมีผู้วิจัยได้นำเทคนิคต่างๆ มาผสมผสานในการใช้หาค่าความคล้ายคลึง และนำเสนอเทคนิคใหม่ โดยจากที่ศึกษาในเทคนิคแบบ LiRa จะมีความเหมาะสมสำหรับการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้เป็นหลักซึ่งจะมีการคำนวณในผู้ให้อันดับความชอบของผู้ใช้ที่เหมือนกัน ส่วน BC จะมีการให้ผลการหาค่าความคล้ายคลึงของสินค้าที่สูง เนื่องจากจะมีการนำค่าน้ำหนักของความชอบผู้ใช้ที่เหมือนกันมาร่วมในการคำนวณค่าความคล้ายคลึง และการประเมินผลการทดลองในการทำนายนิยมใช้ทั้งแบบ MAE และ RMSE โดยการวัดประสิทธิภาพการทำนายแบบ RMSE จะให้ค่าที่สูงกว่าแบบ MAE เนื่องจากนำค่าเฉลี่ยความผิดพลาดมาทำการยกกำลังสอง และ MAE จะเหมาะกับข้อมูลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นวิธีการหาค่าความคล้ายคลึงของผู้ใช้ และสินค้าเพื่อใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการกรองแบบร่วมมือบนพื้นฐานความจำ ยังมีความท้าทายในการจัดทำปรับปรุงการหาค่าความคล้ายคลึง และการทำนายอันดับความชอบให้กับผู้ใช้ในการสร้างระบบให้คำแนะนำเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Bobadilla J, Ortega F, Hernando A, Gutiérrez A. Recommender systems survey. *Knowl-Based Syst.* 2013 Jul;46:109–32.
2. Lu J, Wu D, Mao M, Wang W, Zhang G. Recommender system application developments: A survey. *Decis Support Syst.* 2015 Jun;74:12–32.
3. Su X, Khoshgoftaar TM. A Survey of Collaborative Filtering Techniques. *Adv Artif Intell.* 2009 Jan;4:2–4.

4. Ma H, King I, Lyu MR. Effective missing data prediction for collaborative filtering. In Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval 2007 Jul 23 (pp. 39-46). ACM.
5. Guo J, Guo J. Research on Information Entropy Measure based on Collaborative Filtering Algorithm. International Journal of Hybrid Information Technology. 2016 Mar 31;9(3):1-0.
6. Zhang H, Ni W, Li X, Yang Y. Modeling Idle Customers to Tackle the Sparsity Problem in Time-dependent Recommendation. ICIS 2016.
7. Linden G, Smith B, York J. Amazon. com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. IEEE Internet computing. 2003 Jan;7(1):76-80.
8. Sarwar B, Karypis G, Konstan J, Riedl J. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms. In Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web 2001 Apr 1 (pp. 285-295). ACM.
9. Claypool M, Gokhale A, Miranda T, Murnikov P, Netes D, Sartin M. Combining content-based and collaborative filters in an online newspaper. In Proceedings of ACM SIGIR workshop on recommender systems 1999 Aug 19 (Vol. 60).
10. Mobasher B, Burke R, Bhaumik R, Williams C. Effective attack models for shilling item-based collaborative filtering systems. In Proceedings of the 2005 WebKDD Workshop, held in conjunction with ACM SIGKDD 2005 Aug 21 (Vol. 2005).
11. Zeng C, Xing CX, Zhou LZ. Similarity measure and instance selection for collaborative filtering. In Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web 2003 May 20 (pp. 652-658). ACM.
12. Niu J, Wang L, Liu X, Yu S. FUIR: Fusing user and item information to deal with data sparsity by using side information in recommendation systems. Journal of Network and Computer Applications. 2016 Jul 31;70:41-50.
13. Tatiya RV, Vaidya AS. A survey of recommendation algorithms. IOSR Journal of Computer Engineering. 2014;16(6):16-9.
14. Ahn HJ. A new similarity measure for collaborative filtering to alleviate the new user cold-starting problem. Information Sciences. 2008 Jan 2;178(1):37-51.
15. Herlocker JL, Konstan JA, Terveen LG, Riedl JT. Evaluating collaborative filtering recommender systems. ACM Transactions on Information Systems (TOIS). 2004 Jan 1;22(1):5-3.
16. da Silva EQ, Camilo-Junior CG, Pascoal LM, Rosa TC. An evolutionary approach for combining results of recommender systems techniques based on collaborative filtering. Expert Systems with Applications. 2016 Jul 1;53:204-18.
17. Shimodaira H. Similarity and recommender systems. School of Informatics, The University of Eidenburgh. 2014;21.
18. ชนพล พุกเสิ่ง และ สุนันทา สดสี. การประยุกต์แนวคิดผู้เชี่ยวชาญเพื่อการแนะนำสินค้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2017;25(2):361-75.
19. Patra BK, Launonen R, Ollikainen V, Nandi S. A new similarity measure using Bhattacharyya coefficient for collaborative filtering in sparse data. Knowledge-Based Systems. 2015 Jul 31;82:163-77.
20. Strnadova-Neeley V, Buluc A, Gilbert JR, Olikier L, Ouyang W. LiRa: A New Likelihood-Based Similarity Score for Collaborative Filtering. arXiv preprint arXiv:1608.08646. 2016 Aug 30.
21. Choi K, Suh Y, Yoo D. Extended Collaborative Filtering Technique for Mitigating the Sparsity Problem. International Journal of Computers, Communications & Control. 2016 Oct 1;11(5).
22. Choi K, Suh Y. A new similarity function for selecting neighbors for each target item in collaborative filtering. Knowledge-Based Systems. 2013 Jan 31;37:146-53.

แอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับและป้องกันการโจมตีด้วยการเปลือยเอสเอสแอล

Application to Detect and Protect against SSL Stripping Attacks

สมนึก พวงพรพิทักษ์, ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์

Somnuk Puangpronpitag, Nattavut Sriwiboon

Received: 18 May 2017; Accepted: 8 August 2017

บทคัดย่อ

HTTP Over TLS (HTTPS) เป็นโพรโทคอลที่ใช้เพื่อป้องกันการโจมตีดักจับข้อมูล โดยเข้ารหัสข้อมูลให้เป็นความลับ อย่างไรก็ตามการโจมตีแบบเปลือยเอสเอสแอล (SSL Stripping Attack) สามารถโจมตี HTTPS และดักจับข้อมูลได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประเมินปัญหาและเสนอแนวคิดทางเทคนิคในการแก้ไขปัญหา โดยมีการพัฒนาแอปพลิเคชันตรวจจับและป้องกันการโจมตี HTTPS ผลการทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแอปพลิเคชันแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพรองรับการทำงานทั้งบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและอุปกรณ์ Smartphone รวมถึงมีประสิทธิภาพป้องกันการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack

คำสำคัญ: เอชทีทีพีเอส การโจมตีแบบเปลือยเอสเอสแอล การปลอมแปลงโพรโทคอลเออาร์พี

Abstract

HTTP Over TLS (HTTPS) is a protocol for protection eavesdropping attacks. It has encryption to provide data confidentiality. However, SSL Stripping Attack has been deployed by attackers to bypass the HTTPS and eavesdropping. This research has evaluated the problem and proposed a technique to solve it. After that, a solution has been implemented the application to provide detection and protection against HTTPS attack. The evaluation of our application shows that it effectively supports both the personal computer and smartphone. The experimental results have revealed favorable features regarding our solution.

Keywords: HTTPS SSL Stripping Attack ARP Poisoning

บทนำ

ระบบเว็บไซต์เป็นระบบทางเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีการให้บริการระบบต่าง ๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยเฉพาะระบบเว็บไซต์ที่ให้บริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ต ที่มีการให้บริการอย่างแพร่หลาย โดยระบบเว็บไซต์ส่วนใหญ่ทำงานบน Hyper Text Transfer Protocol (HTTP)¹ ซึ่งข้อมูลที่ส่งผ่านระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์จะอยู่ในรูปของ Clear Text เมื่อเว็บไซต์ถูกโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร (Man In The Middle Attack: MITM)² ผลของการโจมตีคือผู้โจมตีสามารถดักจับข้อมูลที่สื่อสารบน HTTP ซึ่งอาจเป็นข้อมูลสำคัญของผู้ใช้เช่นชื่อบัญชีผู้ใช้และรหัสผ่าน โดย HTTP Over TLS (HTTPS)³ เป็นรูปแบบการสื่อสารข้อมูลบนระบบเว็บไซต์ที่เสนอเพื่อแก้ไขปัญหาการทำงานของ HTTP ที่ไม่มีความมั่นคงในการใช้งาน โดยการนำ Transport Layer Security (TLS)⁴ เป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์ทำให้การสื่อสารมีความมั่นคง

ในการใช้งาน โดยรูปแบบการทำงานของ HTTPS มีการสร้างช่องทางการสื่อสารที่ปลอดภัยและเปลี่ยนข้อมูลต้นฉบับ (Clear Text) ให้เป็นข้อมูลที่ถูกรหัส (Cipher Text) เพื่อป้องกันการโจมตีดักจับและเปลี่ยนแปลงข้อมูล

อย่างไรก็ตามการใช้งานเว็บไซต์บนโพรโทคอล HTTPS สามารถถูกโจมตีด้วยเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ที่มีพื้นฐานมาจากการโจมตีแบบ MITM โดยในปี ค.ศ.2009 Marlinspike และคณะ⁵ ได้เสนอการโจมตีด้วยวิธีเปลือยเอสเอสแอล (SSL Stripping Attack) โดยใช้เครื่องมือ SSL Strip เป็นวิธีที่ใช้โจมตีเว็บไซต์ที่ทำงานบน HTTPS โดยผลการโจมตีบนเบราว์เซอร์ของเหยื่อไม่แสดงข้อความแจ้งเตือนเนื่องจากการทำงานบนเบราว์เซอร์ส่งข้อมูลบน HTTP ทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบเว็บไซต์ว่าดำเนินบน HTTPS ที่ปลอดภัยหรือไม่

จากปัญหาการโจมตี SSL Stripping Attack ซึ่งเป็นปัญหาการโจมตี HTTPS ที่ส่งผลกระทบต่อระบบเว็บไซต์เนื่อง

จากเบราว์เซอร์ไม่สามารถตรวจสอบและแสดงผลเมื่อมีการโจมตี มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่เสนอวิธีการป้องกันแต่ประสบปัญหาเช่นความสับสนในการใช้งานและประสิทธิภาพในการป้องกัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอระบบป้องกันการโจมตีเว็บไซต์ที่ทำงานบน HTTPS จากการโจมตีแบบ MITM และการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack มีการประเมินวิธีการของงานวิจัยก่อนหน้านี้และเสนอวิธีการป้องกันโดยการออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบที่สามารถตรวจจับและป้องกันการโจมตีโพรโทคอล HTTPS ในรูปของแอปพลิเคชันที่สามารถติดตั้งบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Personal Computer: PC) และอุปกรณ์ Smartphone โดยมีการพัฒนาต้นแบบและทดสอบระบบที่เสนอในงานวิจัยนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้งาน ประสิทธิภาพในการป้องกันการโจมตีเว็บไซต์จากการโจมตีแบบ MITM และการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Secure Socket Layer (SSL)

Secure Socket Layer (SSL) ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทเน็ตสเคป (Netscape Communications) ในปี ค.ศ. 1994 เพื่อเป็นโพรโทคอลที่ให้บริการสำหรับการเข้ารหัสข้อมูลและการพิสูจน์ตัวตนในการสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์ (Server) และไคลเอนท์ (Client) ทำให้การสื่อสารมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งปกติแล้วข้อมูลที่ส่งไปมาระหว่างกันจะไม่มีการเข้ารหัสข้อมูลทำให้การดักจับข้อมูลเป็นไปได้โดยง่ายต่อมา SSL เวอร์ชัน 3.0 ในปี ค.ศ. 1997 ได้ถูกทำการทดสอบแล้วพบว่าไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน จึงมีการพัฒนา SSL ให้เกิดเป็นมาตรฐานกลางของโพรโทคอลบนอินเทอร์เน็ตที่นำไปสู่การออกแบบ Transport Layer Security (TLS) ที่ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานอย่างเป็นทางการ ตามเอกสาร RFC 2246⁶ ในปี ค.ศ.1999 โดยเป็นมาตรฐานการสื่อสารของ Internet Engineering Task Force (IETF) แต่โพรโทคอล TLS นั้นจะมีความแตกต่างจาก SSL เพียงเล็กน้อย โดยส่วนที่ต่างกันก็คือ Version, Cipher Suite, Alert Protocol, Handshake Protocol และ Record Protocol เป็นต้น ปัจจุบัน TLS ถูกพัฒนามาถึงเวอร์ชัน 1.2 ซึ่งเริ่มมีการใช้งานมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 เอกสาร RFC 5246⁷

2. HTTP Over TLS (HTTPS)

จากการเสนอ Transport Layer Security (TLS) ที่เป็นโพรโทคอลที่ทำงานในระดับของ Transport Layer ดังนั้นในการนำใช้งานจึงนำมาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลระดับ

แอปพลิเคชัน เช่น IMAP, POP3, LDAP, SSH และ FTP ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการนำ TLS มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมประยุกต์เว็บ ซึ่งปกติใช้โพรโทคอล HTTP ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างกัน โดยข้อมูลที่รับส่งนี้จะอยู่ในรูปแบบของข้อความปกติ (Clear Text) ที่มีความเสี่ยงต่อการถูกโจมตีด้วยการดักจับข้อมูล (Sniffing) จึงมีการเสนอให้นำ SSL มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ HTTP สร้างเป็นการสื่อสารรูปแบบใหม่ขึ้นเรียกว่า HTTP Over TLS (HTTPS) เกิดจากแนวความคิดในการสร้างช่องทางการสื่อสารข้อมูลบนเว็บไซต์ที่มีการเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยในระหว่างการใช้งานเว็บไซต์ ซึ่งบนโพรโทคอล HTTPS นี้ เว็บเบราว์เซอร์จะแสดง URL ของเว็บไซต์เป็น <https://www.sitename.com> แทนซึ่งเดิมในโพรโทคอล HTTP ที่เคยใช้งานนั้น URL ดังกล่าวคือ <http://www.sitename.com>

3. ภัยคุกคามการใช้งาน HTTPS

ในปี ค.ศ. 2009 Marlinspike⁸ ได้เสนอวิธีการโจมตี SSL ด้วยวิธี SSL Stripping Attack ในงาน Blackhat Conference โดยใช้ PYTHON scripts ซึ่งต่อมาเป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งในระบบปฏิบัติการ Kali Linux ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ถูกนำไปใช้งานด้านการทดสอบเจาะและประเมินความปลอดภัยของระบบเครือข่าย รวมถึงการถูกนำไปใช้โดยผู้ที่ไม่ประสงค์ดีเช่นเดียวกัน

การเปลือยเอสเอสแอล หรือ SSL Stripping Attack มีรูปแบบการโจมตีโดยอาศัยวิธีโจมตีแบบแทรกกลาง การสื่อสารร่วมกับวิธีการโจมตีแบบ SSL Stripping Attack ความคู่กันโดยการโจมตีเว็บไซต์ที่มีทำงานบนโพรโทคอล HTTPS ที่ถูกเข้ารหัสในระหว่างการสื่อสารนั้น เมื่อเหยื่อถูกโจมตีเว็บเบราว์เซอร์ก็จะถูกบังคับให้ใช้โพรโทคอล HTTP ไม่ปลอดภัยในการสื่อสารโดยข้อมูลต่างๆ ที่เหยื่อส่งไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์จะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องของผู้โจมตีก่อน ซึ่งผู้โจมตีสามารถดักจับข้อมูลของเหยื่อได้ เนื่องจากข้อมูลที่สื่อสารกันบน HTTP จะอยู่ในรูปของ Clear Text ที่สามารถเข้าใจได้จากนั้นการทำงานในขั้นตอนต่อไปของ SSL Stripping Attack ก็จะนำข้อมูลของเหยื่อมาเข้ารหัสด้วยโพรโทคอล HTTPS แล้วส่งต่อไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เว็บเซิร์ฟเวอร์ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าการสื่อสารที่เกิดขึ้นระหว่างเซิร์ฟเวอร์และไคลเอนท์มีการสื่อสารบนโพรโทคอล HTTP หรือ HTTPS รวมถึงผลของการโจมตีที่เว็บเบราว์เซอร์ของเครื่องเหยื่อก็คือไม่สามารถตรวจสอบหรือแสดงข้อความแจ้งเตือนความผิดพลาดได้ อันมาเนื่องจากเครื่องของเหยื่อสามารถสื่อสารกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้ตามปกติ เพียงแต่เป็นการสื่อสารที่ถูกบังคับให้อยู่บนโพรโทคอล HTTP แทนที่จะเป็นโพรโทคอล HTTPS ซึ่งมีความปลอดภัยดัง Figure 1

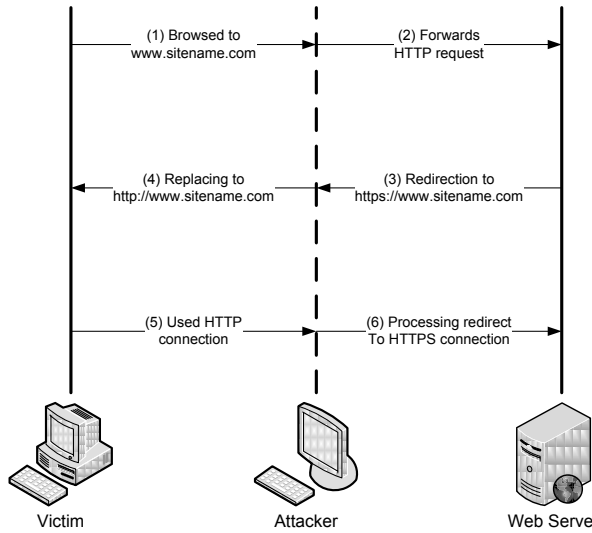


Figure 1 SSL Stripping Attack

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fung และคณะ⁹ ได้เสนอ SSLock เมื่อปี ค.ศ. 2010 เป็นวิธีบังคับใช้โพรโทคอล SSL กับเว็บไซต์ โดยใช้กระบวนการสำหรับพิจารณาแบ่ง Domain Name เพื่อกำหนดรายชื่อเว็บไซต์ที่บังคับใช้โพรโทคอล SSL ซึ่งการใช้งานผู้พัฒนาเว็บไซต์ต้องติดตั้ง API ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย SSL Lock เสนอเพื่อตอบกลับ HTTP Header ชื่อ SSLock-Candidates ซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บค่าของ Domain Name เช่น gmail.com พร้อมด้วย Javascript ที่ใช้อ่านค่า HTTP Header จากนั้นในการทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ของโคลเอนท์จะประมวลผล Script บนเว็บเบราว์เซอร์แล้วส่งคำขอไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย URL ที่ถูกเปลี่ยนแปลงโพรโทคอลเป็น HTTPS แล้วเช่น https://secure.gmail.com

Cheng และคณะ¹⁰ ได้เสนองานวิจัยเมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยวิเคราะห์การทำงานของ HTTPS ในกระบวนการ SSL Handshake เพื่อนำผลการวิเคราะห์ใช้สำหรับกำหนดเกณฑ์การประเมินการทำงานของโพรโทคอล HTTPS โดยประเมินการโจมตี HTTPS ด้วยวิธี SSL Sniff และ SSL Strip ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สรุปปัญหาความมั่นคงของ HTTPS ได้ดังนี้

- 1) User's habits คือพฤติกรรมการใช้งานเว็บไซต์ของผู้ใช้โดยปกติจะเรียกผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยระบุชื่อเว็บไซต์เช่น www.test.com ซึ่งพฤติกรรมของผู้ใช้จะไม่ระบุโพรโทคอลดังนั้นในกรณีนี้เว็บเบราว์เซอร์สื่อสารไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTP ทำให้ผู้โจมตีใช้วิธี SSL Strip โจมตีเหยื่อได้สำเร็จ
- 2) Application in practice คือในขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์มีการกำหนดคำสั่ง Link หรือปุ่มกดเพื่อเชื่อมโยงไปยัง Link ต่างๆ ด้วยโพรโทคอล HTTP ซึ่งในกรณีนี้คล้ายกับกรณี User's habits

ที่เว็บเบราว์เซอร์สื่อสารไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTP ทำให้ผู้โจมตีใช้วิธี SSL Strip โจมตีเหยื่อได้สำเร็จ เมื่อได้ผลวิเคราะห์ปัญหาความมั่นคงของ HTTPS แล้วงานวิจัยนี้เสนอให้ใช้วิธีป้องกัน 3 วิธีคือ 1) Static ARP วิธีนี้เป็นการกำหนด Static ARP บนเครื่องผู้ใช้ผ่านคำสั่งในระบบปฏิบัติการซึ่งวิธีการนี้สามารถป้องกันการโจมตีด้วยวิธี ARP Spoof ได้ 2) การสังเกต EVSSL certificate ซึ่ง EVSSL certificate คือแถบที่แสดงการใช้งานโพรโทคอล HTTPS บนเว็บเบราว์เซอร์ในกรณีที่ EVSSL certificate ไม่ปรากฏบนเว็บเบราว์เซอร์แสดงว่าเว็บไซต์ที่กำลังเข้าใช้งานสื่อสารด้วยโพรโทคอล HTTP ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการถูกโจมตีด้วยวิธี SSL Strip 3) Two-way authentication วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถพิสูจน์ตัวจริงระหว่างเซิร์ฟเวอร์และโคลเอนท์ได้ โดยปกติการใช้งาน SSL มีเพียงโคลเอนท์เท่านั้นที่สามารถพิสูจน์ตัวจริงได้ว่ากำลังสื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์จริงหรือไม่ สำหรับวิธีการ Two-way authentication เป็นวิธีที่เซิร์ฟเวอร์สามารถใช้เพื่อพิสูจน์ตัวจริงได้ว่ากำลังสื่อสารข้อมูลกับโคลเอนท์จริงหรือไม่

Fung และคณะ¹¹ ได้เสนอ HTTPSLock เมื่อปี ค.ศ. 2010 เป็นกลไกบังคับใช้โพรโทคอล HTTPS รองรับการ ทำงานกับเว็บไซต์ที่ใช้ Valid Certificate เท่านั้นพัฒนาเครื่องมือโดยใช้ภาษา JavaScript ของรับการตรวจเว็บไซต์ 2 กรณีประกอบด้วย 1) สำหรับตรวจสอบตรวจสอบ Certificate ที่ถูกใช้งานกับเว็บไซต์นั้นๆ ในกรณีที่เว็บไซต์ใช้งาน Invalid Certificate ระบบจะไม่อนุญาตให้ใช้งานเว็บไซต์และแสดงข้อความแจ้งเตือนความมั่นคงบนเว็บเบราว์เซอร์และ 2) สำหรับเว็บไซต์ที่มีการใช้งาน Valid Certificate โดยปกติการสื่อสารข้อมูลบนโพรโทคอล HTTPS การแสดงผลชื่อ URL ที่ช่อง Address Bar บนเว็บเบราว์เซอร์จะแสดงผลเป็น HTTPS อย่างไรก็ตามในกรณีที่เว็บไซต์แสดงโพรโทคอลเป็น HTTP อาจเนื่องมาจากการถูกโจมตีด้วยวิธี SSL Strip กลไกของ HTTPSLock จะแสดงผลแจ้งเตือนความมั่นคงบนเว็บเบราว์เซอร์

Puangpronpitag และ Sriwiboon¹² ได้เสนอ ISAN-HTTPS Enforcer ในปี ค.ศ. 2012 โดยพัฒนาให้อยู่ในรูปของ API สำหรับติดตั้งบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วยภาษา JavaScript รองรับการ ทำงานกับทุกเว็บเบราว์เซอร์ที่รองรับการใช้งานภาษา JavaScript โดยรายละเอียดของขั้นตอนกลไกการทำงานมีดังนี้

1. โคลเอนท์ส่งคำขอไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์โดยปกติแล้วผู้ใช้จะไม่ระบุโพรโทคอลใน URL ซึ่งการประมวลผลของเว็บเบราว์เซอร์จะคำขอด้วยโพรโทคอล HTTP
2. เว็บเซิร์ฟเวอร์ประมวลผลแล้วตอบกลับข้อมูลบนโพรโทคอล HTTPS

3. เมื่อโคลเอนท์ได้รับข้อความตอบกลับจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ประกอบด้วยเนื้อหาของเว็บไซต์และ ISAN-HTTPS Enforcer API ซึ่งเป็น File พัฒนาด้วยภาษา JavaScript ชื่อ ISAN-HTTPSEnforcer.js โดยการทำงานของ API จะตรวจสอบว่าโปรโตคอลที่ใช้สื่อสารข้อมูลกับระหว่างโคลเอนท์กับเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น HTTPS หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ ISAN-HTTPS Enforcer จะประมวลผลอัตโนมัติให้เว็บเบราว์เซอร์ส่งคำขอไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์อีกครั้งโดยการระบุโปรโตคอล HTTPS บน URL

4. เว็บเซิร์ฟเวอร์ประมวลผลแล้วตอบกลับข้อมูลบนโปรโตคอล HTTPS

5. เมื่อ ISAN-HTTPS Enforcer API ตรวจสอบโปรโตคอลที่ใช้สื่อสารข้อมูลกับระหว่างโคลเอนท์กับเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น HTTPS ระบบจึงเริ่มขั้นตอน SSL Handshake โดยรายละเอียดการทำงานแสดงดัง Figure 2

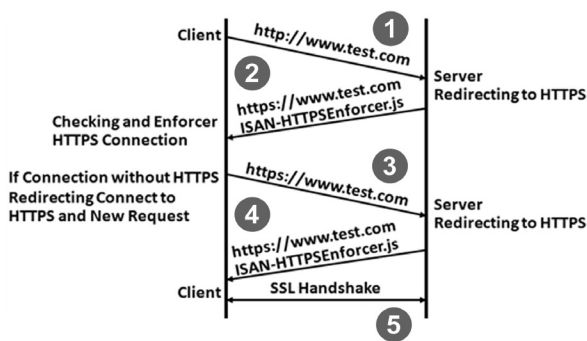


Figure 2 How ISAN-HTTPS Enforcer work

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของสมนึก พงษ์พรพิทักษ์ และอภิรักษ์ ทูลธรรม¹³ ได้ประเมินวิธีที่ถูกใช้ในการป้องกันการโจมตีจากเทคนิค SSL Stripping Attack แสดงให้เห็นว่าระบบ ISAN-HTTP Enforcer ถึงแม้จะสามารถป้องกันการโจมตีได้บนทุกแพลตฟอร์ม และมีความเป็นมิตรกับผู้ใช้สูง แต่กลับถูกทำลายการป้องกันได้ด้วยการแก้ไขโค้ดที่ใช้ในการโจมตีเพียงไม่กี่บรรทัด ด้วยการอาศัยความสามารถพื้นฐานในการค้นหาและแทนที่ค่าของ Regular Expression บน Python ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่า ISAN-HTTP Enforcer ไม่สามารถบรรลุผลในด้านประสิทธิภาพของการป้องกัน

Hodges และคณะ¹⁴ ได้เสนอ HTTP Strict Transport Security (HSTS) ถูกประกาศเป็นมาตรฐานเมื่อ เดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2012 โดยได้รับแนวคิดจาก Force-HTTPS¹⁵ โดย HSTS เป็นกลไกสำหรับป้องกันการโจมตี HTTPS เช่นการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack เป็นต้น โดยมีหลักการทำงาน คือส่งคำขอ ไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย

โปรโตคอล HTTPS สำหรับเว็บไซต์ที่มีรายชื่ออยู่ใน HSTS List¹⁶ และสำหรับเว็บไซต์ที่ไม่มีรายชื่อใน HSTS List ในกรณีที่เว็บเซิร์ฟเวอร์รองรับการทำงานโปรโตคอล HTTPS ผู้ใช้สามารถกำหนดชื่อเว็บไซต์ในเครื่องมือที่ติดตั้งบนเว็บเบราว์เซอร์เช่นใน Google Chrome เป็นต้น หรือสามารถพัฒนาระบบเว็บไซต์ให้รองรับการทำงาน HSTS ได้โดยการกำหนดคำสั่งในขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์หรือกำหนดคำสั่งบนเว็บเซิร์ฟเวอร์¹⁷ เพื่อเพิ่ม HTTP Header ชื่อ Strict-Transport-Security ที่ประกอบด้วยสอง Parameter หลักคือ max-age และ IncludeSubdomains โดย max-age จะแสดงจำนวนเวลาหน่วยเป็นวินาทีที่เว็บเบราว์เซอร์ควรส่งคำขอไปที่เซิร์ฟเวอร์ด้วย HTTPS ตัวอย่างเช่นเว็บไซต์ A.com มีการกำหนด max-age=1000 หมายถึงใน 1000 วินาทีเว็บเซิร์ฟเวอร์จะคำขอไปที่เซิร์ฟเวอร์ด้วย HTTPS ส่วน IncludeSubdomains คือการกำหนดให้ subdomains รองรับการทำงาน HSTS เมื่อ HTTP Header ตอบกลับถึงเครื่องโคลเอนท์แล้วเว็บเบราว์เซอร์จะอ่านค่า HTTP Header ชื่อ Strict-Transport-Security แล้วบันทึก Domain Name ในเครื่องโคลเอนท์เมื่อผู้ใช้เข้าใช้เว็บไซต์ในภายหลังขั้นตอนการส่งคำขอไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์จะถูกบังคับใช้โปรโตคอล HTTPS โดยการทำงานของ HSTS รองรับการทำงานกับเว็บเซิร์ฟเวอร์

Selvi¹⁸ ได้เสนอวิธีการโจมตี HSTS ใน Blackhat Conference 2014 โดยมีการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของ HSTS แล้วเสนอวิธีการโจมตีโดยอาศัยการโจมตีที่ Network Time Protocol (NTP)¹⁹ ของเครื่องเหยื่อเพื่อเปลี่ยนแปลงเวลาบนเครื่องเหยื่อให้เพิ่มมากขึ้นทำให้การทำงานของ HSTS มองว่าค่าใน Parameter ที่ชื่อ max-age หมดอายุ ดังนั้นเมื่อเว็บเบราว์เซอร์เปรียบเทียบเวลาที่ระบุใน max-age กับเวลาปัจจุบันบนเครื่องเหยื่อแล้วได้ผลว่าเวลาใน max-age หมดอายุการประมวลผลของเว็บเบราว์เซอร์ก็จะไม่ทำตามเงื่อนไขของ HSTS แล้วผู้โจมตีสามารถใช้วิธีโจมตีแบบ SSL Stripping Attack ได้สำเร็จ โดยในงานวิจัยได้พัฒนาเครื่องมือชื่อ Delorean แล้วทดสอบโจมตีทั้งในระบบปฏิบัติการ Ubuntu Linux, Fedora Linux, Mac OS X Lion, Mac OS X Mavericks และ Microsoft Windows และกับเว็บเบราว์เซอร์ได้แก่ Safari, Firefox และ Google Chrome

อภิรักษ์ ทูลธรรมและสมนึก พงษ์พรพิทักษ์²⁰ ได้ดำเนินการประเมินปัญหาของการโจมตีด้วย SSL Stripping Attack ในมิติที่เป็นเชิงลึก บนแพลตฟอร์มของฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ และโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ที่หลากหลาย ซึ่งพบว่าการโจมตีด้วยเทคนิคดังกล่าวเป็นปัญหาที่น่ากลัวของเว็บไซต์ที่ยังเป็นประเด็นปัญหาซึ่งต้องการการแก้ไข ในการ

ทดลองพบว่า แม้เว็บไซต์จะได้รับการปกป้องด้วย SSL และใช้เทคนิคการป้องกันรูปแบบอื่นเข้าร่วมก็อาจเกิดปัญหาการโจมตีขึ้น แม้แต่รูปแบบของการใช้งาน SSL ในลักษณะต่างๆ อย่างเช่นการใช้ SSL เพื่อปกป้องระบบในตลอดขบวนการของการให้บริการ การใช้ SSL ปกป้องเฉพาะหน้า Login หรือการใช้ SSL ปกป้องกระบวนการส่งข้อมูลอยู่เบื้องหลังรวมถึงความแตกต่างทางด้านแพลตฟอร์มของฮาร์ดแวร์ อย่างเว็บเบราว์เซอร์และระบบปฏิบัติการก็ไม้อาจหลีกเลี่ยงจากการโจมตีของเทคนิคการเปลี่ยนเอสเอสแอลนี้ได้ ซึ่งจากการทดลองเพื่อประเมินปัญหาบน Test-bed ที่หลากหลายครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงพฤติกรรมและผลลัพธ์ของการโจมตีที่ละเอียดกว่าที่ผ่านมามีเป็นแนวทางในการออกแบบวิธีรับมือกับ SSL Stripping Attack ที่มีประสิทธิภาพและครอบคลุมทุกแพลตฟอร์มในอนาคต ซึ่งการศึกษานี้เป็นเพียงการประเมินปัญหาการโจมตี SSL ในเชิงลึกและนำเสนอเพียงแนวคิดในการโจมตีวิธีป้องกันปัญหาเท่านั้น ยังไม่ได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินวิธีการป้องกันการโจมตีจริง

ACIS Professional Center²¹ ได้เสนอ SSL Strip Guard ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้จากการถูกโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack บน Tablet และ Smartphone บนระบบปฏิบัติการ Android และ Apple iOS ทำการป้องกันผู้ใช้งานในระหว่างการเชื่อมต่อเข้ากับ Rogue Wi-Fi, HOT-SPOT และ Access Point สาธารณะโดยลักษณะของการทำงานก็คือ ในขณะที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายใดๆ SSL Strip Guard จะทำการติดต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ถูกกำหนดเอาไว้ ซึ่งมีการป้องกันโดยใช้งานโพรโทคอล SSL จากนั้นจึงทำการตรวจสอบการติดต่อสื่อสารไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์ว่ายังคงใช้โพรโทคอล HTTPS อยู่หรือไม่ ด้วย JavaScript ถ้าหากไม่ได้ใช้งานโพรโทคอล HTTPS นั้นหมายความว่าเครือข่ายไร้สายดังกล่าวไม่มีความมั่นคงปลอดภัยเนื่องจากถูกโจมตีจาก SSL Stripping Attack แต่ถ้าโพรโทคอลที่ตอบกลับมาเป็น HTTPS แสดงว่าเครือข่ายไร้สายดังกล่าวไม่ได้ถูกโจมตีจาก SSL Stripping Attack ซึ่งผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ดังแสดงใน Figure 3 แต่วิธีการป้องกันการโจมตีของ SSL Strip Guard

นี้ยังมีข้อเสียคือสามารถทำได้เพียงการตรวจสอบการโจมตีเท่านั้น แต่ไม่สามารถป้องกันการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack ได้ และจะต้องมีการเรียกใช้งานโปรแกรม SSL Strip Guard เพื่อทำการตรวจสอบเครือข่ายไร้สายที่เชื่อมต่อก่อนการใช้งาน รวมถึงลักษณะการทำงานของโปรแกรมเป็นแบบเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งมีการใช้งานไฟล์ HTML ที่ถูกกำหนดเอาไว้แล้ว โดยให้ติดต่อไปยัง <https://www.acisonline.net/iPhone/acis.html> จากนั้นจึงทำการ Redirection ไปเรียกใช้งาน JavaScript ในไฟล์ check.html เพื่อตรวจสอบสถานะ ซึ่งการทำงานลักษณะดังกล่าวสามารถปลด Tag ที่ใช้ในการป้องกันออกได้ หรือลอกโดยการ Strip ทุก site ยกเว้น site ที่ SSL Strip Guard กำหนดไว้ ดังเปิดเผยโดย สมนึก พ่วงพรพิทักษ์ และอภิรักษ์ ภูธรธรรม¹³

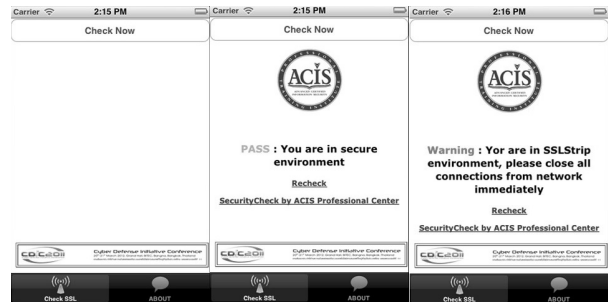


Figure 3 ACIS SSL Strip Guard

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย (1) การวิเคราะห์ปัญหาความมั่นคงของงานวิจัยก่อนหน้านี้ (2) การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน (3) การประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันตรวจจับและป้องกันการโจมตี SSL Stripping Attack

1. การวิเคราะห์ปัญหาความมั่นคงของงานวิจัยก่อนหน้านี้

ผลการประเมินวิธีแก้ไขการโจมตี HTTPS จากเทคนิค SSL Stripping Attack สามารถสรุปได้ดังใน Table 1

Table 1 Previous Solution Discussion

Solution	Experimental Results
HSTS	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันการโจมตีเว็บไซต์ที่อยู่ใน List ถ้านอกเหนือจาก List นั้นต้อง add เพิ่มหรือผู้ดูแลระบบต้องกำหนดการใช้งาน HSTS หรือผู้พัฒนาเว็บไซต์ต้องกำหนดการใช้งาน HSTS ในขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์ - ป้องกันแอสคิเจอร์ได้ทั้งระดับ Script Kiddies และแอสคิเจอร์ที่มีความเชี่ยวชาญ ซึ่งสามารถแก้ไขโค้ด Python เพื่อโจมตีได้ - มีงานวิจัยของ Selvi¹⁸ ที่เสนอเพื่อโจมตี HSTS
ISAN-HTTPS Enforcer	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันเว็บไซต์จากการโจมตี SSL - มีความเป็นมิตรสูง เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องทำอะไรเลยระบบจะจัดการป้องกันให้โดยอัตโนมัติ - ป้องกันได้เพียง Script Kiddies เนื่องจากแอสคิเจอร์ที่มีความเชี่ยวชาญสามารถแก้ไขโค้ด Python เพื่อโจมตีได้ - รองรับการทำงานได้ทุกแพลตฟอร์ม
SSL Strip Guard	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถทำได้เพียงตรวจสอบการโจมตี SSL เท่านั้น ไม่สามารถป้องกันการโจมตีได้ - มีความเป็นมิตรกับผู้ใช้ที่ต่ำ เนื่องจากต้องติดตั้งโปรแกรมและผู้ใช้ต้องให้ความร่วมมือในการตรวจสอบ - ป้องกันได้เพียง Script Kiddies เนื่องจากแอสคิเจอร์ที่มีความเชี่ยวชาญสามารถแก้ไขโค้ด Python เพื่อโจมตีได้ - ถูกพัฒนาให้รองรับเพียงแพลตฟอร์มที่เป็น Mobile Device

2. ออกแบบและพัฒนาระบบ

ในงานวิจัยนี้เสนอการออกแบบระบบแอปพลิเคชันตรวจจับและป้องกันการโจมตี SSL Stripping Attack และเสนอแนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบให้รองรับการทำงานทั้ง PC Desktop และอุปกรณ์ Smartphone โดยมีรายละเอียดการออกแบบระบบดังนี้

1) แอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack แอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดชื่อแอปพลิเคชันคือ ISAN - Detect SSL Strip มีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของเครื่องผู้ใช้งานกำลังใช้งานอินเทอร์เน็ตปลอดภัยจากการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสารและวิธี SSL Stripping Attack หรือไม่โดยการออกแบบแอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack มีรายละเอียดดังนี้

Public Key Server	คือ กุญแจสาธารณะของเซิร์ฟเวอร์
Private Key Server	คือ กุญแจลับของเซิร์ฟเวอร์
Session Key	คือ กุญแจที่ถูกสุ่มขึ้นโดยไคลเอนต์
Local User List	คือ รายชื่อเว็บไซต์ที่ถูกเก็บบนเครื่องมือตรวจจับการโจมตีโพรโทคอล HTTPS
Server URL List	คือ รายชื่อเว็บไซต์ที่ถูกส่งมาจากเซิร์ฟเวอร์โดยผ่านการเข้ารหัสด้วย Session Key
User URL	คือ ชื่อเว็บไซต์ที่ผู้ใช้กำหนด
Log	คือ ข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสด้วย Session Key เพื่อรายงาน ไปที่เซิร์ฟเวอร์ในกรณีถูกโจมตี

โดยหลักการทำงานของแอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack มีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อแอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack ทำงานจะตรวจสอบว่าตอนนี้การใช้งานอินเทอร์เน็ตปลอดภัยจากการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร ถ้าไม่ปลอดภัยก็จะแสดงข้อความเตือนผู้ใช้ แต่ถ้าระบบปลอดภัยจากการแทรกกลางการสื่อสาร ระบบตรวจจับการโจมตีโพรโทคอล HTTPS มีกระบวนการทำงานดังต่อไปนี้
2. ไคลเอนต์สมัครสมาชิกและเข้าสู่ระบบโดยกระบวนการส่งข้อมูลไปที่เซิร์ฟเวอร์ในขั้นตอน Login ไคลเอนต์จะสร้าง Session Key แล้วเข้ารหัสข้อมูล Username, Password และ Session Key ด้วย Public Key Server
3. เซิร์ฟเวอร์ถอดรหัสข้อมูลด้วย Private Key Server จะได้เป็น Username และ Password เพื่อใช้ในกระบวนการพิสูจน์ตัวตนเข้าใช้งานระบบและ Session Key เพื่อใช้ในการเข้ารหัสข้อมูล
4. เซิร์ฟเวอร์เข้ารหัส Server URL List ด้วย Session Key แล้วตอบกลับไปที่ไคลเอนต์
5. ไคลเอนต์ถอดรหัส ข้อมูลได้ผลลัพธ์จากการถอดรหัสเป็น Server URL List
6. ไคลเอนต์ร้องขอไปที่ชื่อเว็บไซต์ที่ถูกสุ่มมาจาก Server URL List และ User URL ที่เป็นชื่อเว็บไซต์ที่กำหนดโดยผู้ใช้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ หากระบบไม่สามารถติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ได้ ระบบจะไปอ่านค่า Local User List แล้วสุ่มชื่อเว็บไซต์เพื่อใช้ในการตรวจสอบโพรโทคอล
7. เมื่อแอปพลิเคชันตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack ได้รับคำตอบกลับแล้วตรวจสอบว่า Local

User List, Server URL List และ User URL ทำงานบนโพรโทคอล HTTPS ก็จะมีรายงานผลว่าการใช้งานอินเทอร์เน็ตปลอดภัยจากการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสารและวิธี SSL Stripping Attack แต่หากมี URL ที่ส่งเพื่อตรวจสอบรายงานผลว่าเว็บไซต์ไม่ได้ทำงานบนโพรโทคอล HTTPS ระบบก็จะส่ง Log ไปที่เซิร์ฟเวอร์ประกอบด้วย IP Address ของเครื่องที่ถูกโจมตี วันเวลา ชื่อเว็บไซต์ที่ถูกโจมตีและชื่อผู้ใช้

2) แอปพลิเคชันป้องกันการโจมตี SSL Stripping Attack

จากการศึกษาการทำงานของโพรโทคอล HTTPS เมื่อผู้ใช้เข้าใช้งานเว็บไซต์จะร้องขอด้วยโพรโทคอล HTTP เมื่อเซิร์ฟเวอร์ได้รับการร้องขอจากไคลเอนต์จึงเริ่มขั้นตอน SSL Handshake แล้วเปลี่ยนโพรโทคอลในการสื่อสารเป็น HTTPS จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของโพรโทคอล HTTPS และวิธีการโจมตีแบบ SSL Stripping Attack พบว่าหลักการการทำงานของ SSL Strip จะโจมตีสำเร็จเมื่อผู้ใช้ร้องขอข้อมูลไปที่เซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTP

ดังนั้นแนวคิดในการออกแบบแอปพลิเคชันป้องกันการโจมตี SSL Stripping Attack โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดชื่อแอปพลิเคชันคือ ISAN - Secure Browsing HTTPS มีหน้าที่ทำให้การใช้งานเว็บไซต์ปลอดภัยจากการโจมตีเว็บไซต์ที่ทำงานบนโพรโทคอล HTTPS โดยหลักการการทำงานของระบบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้กำหนดชื่อเว็บไซต์
2. การทำงานของระบบจะกำหนดโพรโทคอล HTTPS ให้เว็บไซต์ที่ผู้ใช้กำหนดแล้วระบบจะเรียกใช้งานเว็บเบราว์เซอร์เพื่อเข้าใช้งานเว็บไซต์

3. การกำหนดเกณฑ์สำหรับประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบป้องกันการโจมตี HTTPS ด้วยวิธี SSL Stripping Attack รูปแบบใหม่มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพในการป้องกันการโจมตี SSL Stripping Attack ทดสอบโดยใช้เครื่องมือ SSL Strip ที่ติดตั้งในระบบปฏิบัติการ Kali Linux
- 2) ความเป็นมิตรต่อผู้ใช้ (User Friendliness) ระบบการป้องกันมีความยุ่งยากหรือซับซ้อนในการใช้งานหรือไม่
- 3) ระบบสามารถป้องกันการโจมตี HTTPS จากผู้โจมตีระดับ Script Kiddies ที่ใช้เครื่องมือ SSL Strip หรือระบบสามารถป้องกันการโจมตีจากผู้โจมตีที่มีทักษะในการ

ปรับปรุงโค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการโจมตีที่เรียกว่า Bypass HTTPS

- 4) ความครอบคลุมในแพลตฟอร์ม (Platform Coverage) ระบบรองรับทำงานบนแพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ และเว็บเบราว์เซอร์ที่มีความหลากหลายได้หรือไม่

เครื่องมือและสภาพแวดล้อมที่ถูกกำหนดให้เป็น Test-bed ประกอบด้วย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer : PC) หรือ PC Desktop ที่ใช้ทดสอบระบบต้นแบบคือ Intel ® Core ™ 2 Duo 2.66 GHz RAM 4 GB ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Kali Linux 64 bit และ Windows โดยทดสอบในระบบปฏิบัติการ Windows 8
- 2) Macbook Air คือ Intel Core i5 1.6 GHz RAM 4 GB ติดตั้งระบบปฏิบัติการ OS X
- 3) Samsung Galaxy Tab 10.1 ติดตั้งระบบปฏิบัติการ ANDROID 4.4
- 4) Web Browser ใช้ Google Chrome ที่สามารถรองรับทั้งระบบปฏิบัติการ Windows, Linux, OS X, iOS และ ANDROID

ผลการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่พัฒนาเครื่องมือ SSL Strip Guard โดยได้วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบโจมตี SSL Strip Guard ว่ามีปัญหาในกระบวนการตรวจสอบโพรโทคอลในการสื่อสาร ที่มีการกำหนดชื่อเว็บไซต์ของเซิร์ฟเวอร์เพียง 1 ชื่อเว็บไซต์เท่านั้นในการตรวจสอบ เมื่อผู้โจมตีแก้ไขคำสั่งในเครื่องมือ SSL Strip เพื่อไม่โจมตีชื่อเว็บไซต์ที่กำหนดใน SSL Strip Guard เครื่องมือดังกล่าวก็จะรายงานผลว่า การใช้งานอินเทอร์เน็ตปลอดภัย

โดยผลการพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้ พัฒนาให้รองรับทั้งระบบปฏิบัติการที่ทำงานบน PC Desktop อย่างเช่น ระบบปฏิบัติการ Windows และระบบปฏิบัติการ Linux และรองรับการทำงานระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนอุปกรณ์ Tablet และ Smartphone อย่างเช่นระบบปฏิบัติการ Android

1. ผลการพัฒนา ISAN - Detect SSL Strip

จากปัญหาของ SSL Strip Guard ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบระบบตรวจจับการโจมตีโพรโทคอล HTTPS โดยมีแนวคิดในการส่งชื่อเว็บไซต์ในลักษณะ Dynamic เพื่อตรวจสอบโพรโทคอลในการสื่อสาร โดยผลการพัฒนา ISAN - Detect SSL Strip แบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ

- 1) ส่วนการตรวจสอบการแทรกกลางการสื่อสาร
- 2) ส่วนสมัครสมาชิก ส่วนเข้าใช้งานระบบและกำหนด Session Key
- 3) ส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ในการเข้ารหัส URL ที่เก็บอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ก่อนส่งไปที่ไคลเอนต์
- 4) ส่วนของไคลเอนต์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบโปรโตคอลในการสื่อสาร
- 5) ส่วนของเว็บไซต์แสดงสถิติ URL และหมายเลข IP Address ของเหยื่อที่ ถูกโจมตีรวมถึงเป็นส่วนของการใช้งานเพื่อให้ผู้ดูแลระบบกำหนดชื่อเว็บไซต์ที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบโปรโตคอลในการสื่อสาร

โดยแสดงตัวอย่างส่วนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ทดสอบบน PC Desktop ดัง Figure 4 (a) และบนอุปกรณ์อุปกรณ์ Smartphone ที่รองรับระบบปฏิบัติการ ANDROID ดัง Figure 4 (b)

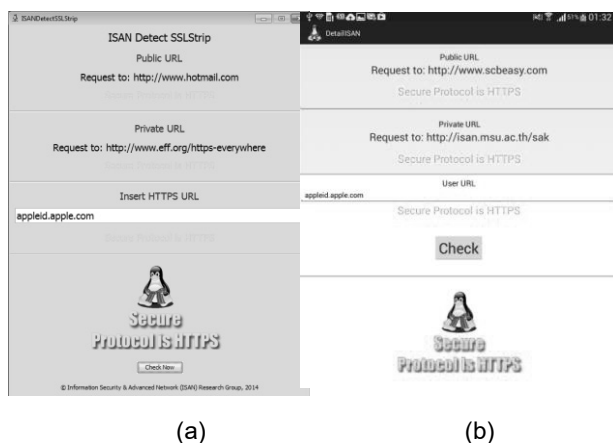


Figure 4 (a) ISAN - Detecting SSL Strip on a PC (b) ISAN - Detecting SSL Strip on a Smartphone

2. ผลการพัฒนา ISAN - Secure Browsing HTTPS

การพัฒนาแอปพลิเคชัน ISAN - Secure Browsing HTTPS บนระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนอุปกรณ์ PC Desktop และ Smartphone ในงานวิจัยนี้ มีการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบโดยกับระบบปฏิบัติการ Android โดยใช้หลักการพัฒนาจากระบบที่ต้นแบบที่พัฒนาบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เนื่องจากการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android ใช้ใช้หลักการพัฒนามาจากภาษา Java โดยแสดงตัวอย่างส่วนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ทดสอบบน PC Desktop ดัง Figure 5 และบนอุปกรณ์อุปกรณ์ Smartphone ที่รองรับระบบปฏิบัติการ Android ดัง Figure 6



Figure 5 ISAN-Secure Browsing on a PC

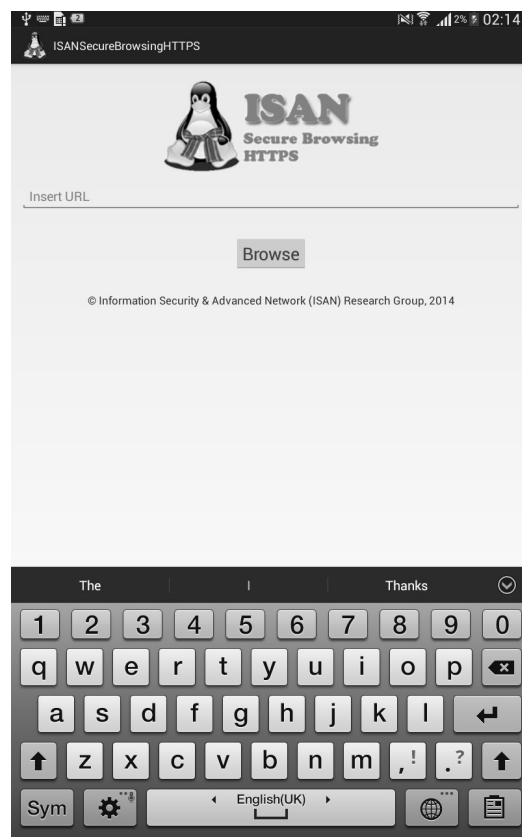


Figure 6 ISAN-Secure Browsing on a Smartphone

ผลการประเมินประสิทธิภาพ

1. ผลการทดสอบ ISAN - Detect SSL Strip

ผลการทดสอบ ISAN-Detect SSL Strip เปรียบเทียบกับ SSL Strip Guard เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack แสดงดัง Table 2 และการทดสอบส่งข้อมูลในขั้นตอนการตรวจสอบการโจมตี HTTPS เพื่อแสดงประสิทธิผลการใช้งานแอปพลิเคชันทั้งบน PC Desktop และ Smartphone โดยทดสอบส่งข้อมูลจำนวน 30 ครั้ง ต่อ 1 การทดสอบ ผลการทดสอบแสดงค่าเฉลี่ยของเวลาหน่วยเป็น millisecond (ms) แสดงดัง Figure 7

Table 2 Performance of ISAN - Detect SSL Strip

วิธีการโจมตี	ISAN - Detect SSL Strip		SSL Strip Guard
	ระบบปฏิบัติการ		
	Windows	Android	Android
SSL Strip	✓	✓	✗
Bypass HTTPS	✓	✓	✓

✓ ป้องกันการโจมตีได้ ✗ ไม่สามารถป้องกันการโจมตี

จากการโจมตีเครื่องมือที่ใช้ตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack ที่ถูกเสนอในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับ SSL Strip Guard พบว่าเมื่อผู้โจมตีใช้วิธี Bypass HTTPS เพื่อไม่โจมตีด้วยวิธี SSL Strip กับเว็บไซต์ที่ใช้ตรวจสอบการทำงานโพรโทคอล HTTPS ของเครื่องมือ SSL Strip Guard ระบบก็จะรายงานว่าเป็นเครือข่ายปลอดภัย ซึ่งสำหรับ ISAN - Detect SSL Strip ทั้งวิธี SSL Strip และวิธี Bypass HTTPS ไม่สามารถโจมตีได้เนื่องจากเว็บไซต์ที่ใช้ตรวจสอบการทำงานโพรโทคอล HTTPS ถูกสุ่มขึ้นมาเพื่อตรวจสอบและถูกกำหนดรายชื่อเว็บไซต์โดยเซิร์ฟเวอร์ รวมถึง ISAN - Detect SSL Strip สามารถตรวจสอบการโจมตีด้วยวิธี ARP Spoof ได้ และเครื่องมือสามารถรองรับการทำงานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Android และ Windows

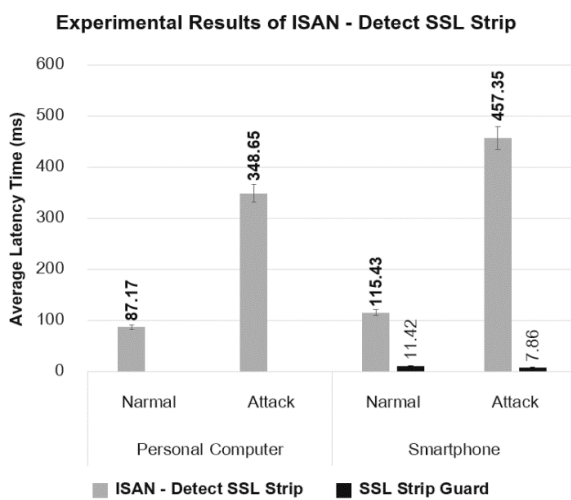


Figure 7 Experimental Results

การรับส่งข้อมูลรหัสผ่านของ ISAN - Detect SSL Strip ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลในการตรวจจับการโจมตีโพรโทคอล HTTPS มากกว่า SSL Strip Guard เนื่องจาก ISAN - Detect SSL Strip มีการส่งข้อมูลไปตรวจสอบจำนวน 3 เซิร์ฟเวอร์ และ ISAN - Detect SSL Strip มีส่วนของการ

ทำงานในระบบตรวจสอบการโจมตีด้วยวิธี ARP Spoof อย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขปัญหาของ SSL Strip Guard ที่สามารถถูกโจมตีโดยการเพิ่มโค้ดที่ใช้ในการ Bypass การตรวจจับการโจมตี SSL Stripping Attack และสามารถตรวจสอบการโจมตีด้วยวิธี ARP Spoof

2. ผลการทดสอบ ISAN - Secure Browsing HTTPS

ผลการทดสอบโจมตี ISAN - Secure Browsing HTTPS เปรียบเทียบกับ HSTS และ SSL Strip Guard โดยทดสอบโจมตี Stripping Attack และ Bypass HTTPS ด้วยเครื่องมือ SSL Strip ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ISAN - Secure Browsing HTTPS สามารถป้องกันการโจมตีเว็บไซต์ที่สื่อสารบน HTTPS จากการโจมตีด้วยวิธี SSL Strip และ Bypass HTTPS เนื่องจากมีการกำหนดให้สื่อสารบนโพรโทคอล HTTPS ตั้งแต่ขั้นตอนการร้องขอของไคลเอนต์ และสามารถนำไปใช้ได้กับทุกเว็บเบราว์เซอร์แก้ปัญหาคำการใช้งาน HSTS ที่รองรับเฉพาะกับเว็บเบราว์เซอร์ Chrome, Firefox และ Opera เท่านั้น โดยการใช้งาน ISAN - Secure Browsing มีความปลอดภัยทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows และระบบปฏิบัติการ Android รายละเอียดแสดงดัง Table 3

Table 3 Solution Comparison

ระบบที่ใช้ทดสอบ	วิธีการโจมตี	
	SSL Strip	Bypass HTTPS
ISAN Secure Browsing	✓	✓
ISAN-HTTPS Enforcer Javascript API	✓	✗
HSTS	✓*	✓*

✓ ป้องกันการโจมตีได้ ✗ ไม่สามารถป้องกันการโจมตี

* ป้องกันการโจมตีได้บางกรณี

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ระบบเว็บไซต์ใช้ช่องทางการสื่อสารที่มีความมั่นคงบนโพรโทคอล HTTPS อย่างไรก็ตามจากที่ได้กล่าวมาแล้ว HTTPS ถูกโจมตีเพื่อดักจับข้อมูลสำคัญที่สื่อสารระหว่างผู้ใช้กับเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยผู้โจมตีอาศัยวิธีการโจมตีแบบ MITM และการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการเพื่อป้องกันการโจมตี HTTPS จากการโจมตีแบบ MITM และการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack โดยผลการออกแบบระบบ

แอปพลิเคชัน ISAN - Detect SSL Strip และ ISAN - Secure Browsing HTTPS แสดงให้เห็นว่าสามารถตรวจจับและป้องกันการโจมตีเว็บไซต์ที่สื่อสารบน HTTPS และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการใช้งานรองรับการทำงานทั้ง PC Desktop และ Smartphone รวมถึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการโจมตีเว็บไซต์จากการโจมตีแบบ MITM และการโจมตีด้วยวิธี SSL Stripping Attack

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย งบประมาณรายได้คณะวิทยาการสารสนเทศ ประจำปีงบประมาณ 2559 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมสอบสวนคดีพิเศษ สำหรับข้อมูลคดีด้านการโจมตี HTTPS

เอกสารอ้างอิง

- Fielding R, Gettys J, Mogul J, et al. Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1: RFC 2616, IETF June 1999.
- Burkholder P. SSL Man-in-the-Middle Attacks.
- Rescorla E. HTTP Over TLS: RFC 2818, IETF May 2000.
- Dierks T, Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2: RFC 5246, IETF August 2008.
- SSLsplit - transparent and scalable SSL/TLS interception.
- Dierks T, Allen C. The TLS Protocol Version 1.0: IETF, January 1999.
- Dierks T, Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2: IETF, August 2008.
- Marlinspike M. New Tricks For Defeating SSL In Practice.
- Fung A, Cheung K. SSLock: sustaining the trust on entities brought by SSL. Proceedings of the 5th ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security;pp. 204-213.
- Cheng K, Gao M, Guo R. Analysis and Research on HTTPS Hijacking Attacks. Proceedings of the 2010 Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing; pp. 223 - 226.
- Fung A, Cheung K. HTTPSLock: Enforcing HTTPS in Unmodified Browsers with Cached Javascript. Proceedings of the 4th Network and System Security;pp. 269-274.
- Puangpronpitag S, Sriwiboon N. Simple and Lightweight HTTPS Enforcement to Protect Against SSL Stripping Attack. Proceedings of 4th International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks;pp. 229-234.
- สมนึก พวงพรพิทักษ์ และ อภิรักษ์ ฑูลธรรม. Experimental Evaluation of SSL Stripping Attack Solutions. Information Technologies Journal;10:pp. 37-47.
- Hodges J, Jackson C, Barth A. HTTP Strict Transport Security (HSTS): RFC 6797, IETF November 2012.
- Jackson C, Barth A. ForceHTTPS: Protecting High-Security Web Sites from Network Attacks. Proceedings of the 17th International World Wide Web Conference;pp. 525-534.
- Domain to include in HSTS list.
- HTTP Strict Transport Security.
- Selvi J. Bypassing HTTP Strict Transport Security. Proceedings of Black Hat Europe 2014.
- Mills D, Delaware U, Burbank J, et al. Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification: RFC 5905, IETF June 2010.
- อภิรักษ์ ฑูลธรรม และ สมนึก พวงพรพิทักษ์. The Evaluation of the SSL Stripping Attack Problem. Proceedings of The National Conference on Computer Information Technologies;pp. 43-48
- SSLSTRIPGuard: ACIS Professional Center.

การประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า

Assessing the Value of E-learning Systems by Value Measuring Methodology

จตุรรัตน์ รุ่งวารินทร์¹, ธรา อังสกุล², จิติมนต์ อังสกุล²

Jutarat Rungwarin, Thara Angskun, Jitimon Angskun

Received: 25 July 2017; Accepted: 19 October 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัย ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า โดยการพัฒนารอบการประเมินความคุ้มค่าที่คำนึงถึง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ผลประโยชน์ ต้นทุน และความเสี่ยง และการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูล 3 กลุ่มตามองค์ประกอบของการประเมินความคุ้มค่า ได้แก่ 1) แหล่งข้อมูลด้านผลประโยชน์ ได้จากแบบสอบถาม บุคคลที่เกี่ยวข้องกับระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์ และผู้บริหารมหาวิทยาลัย 2) แหล่งข้อมูลของต้นทุน คือ งบประมาณประจำปี 2555-2558 และ 3) แหล่งข้อมูลด้านความเสี่ยง ได้จากแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ผลการประเมินความคุ้มค่าแบบการวัดมูลค่าก่อนเกิดความเสี่ยงมีค่าเท่ากับ 18.37 ส่วนผลการประเมินความคุ้มค่าแบบการวัดมูลค่าหลังเกิดความเสี่ยงมีค่าเท่ากับ 16.79 ซึ่งมีค่าความคุ้มค่าต่ำกว่าก่อนเกิดความเสี่ยงเล็กน้อย โดยคะแนนด้านผลประโยชน์ก่อนเกิดความเสี่ยงมีค่าเป็นร้อยละ 73.04 และต้นทุนก่อนเกิดความเสี่ยงจำนวน 3,976,045.40 บาท ส่วนคะแนนด้านผลประโยชน์หลังเกิดความเสี่ยงมีค่าร้อยละ 69.75 และต้นทุนหลังเกิดความเสี่ยงจำนวน 4,154,967.44 บาท โดยการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้มีโอกาสในการเกิดความเสี่ยงและผลกระทบอยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ: การประเมินความคุ้มค่า ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ การประเมินแบบการวัดมูลค่า

Abstract

This research aims to assess the value of e-learning systems used for teaching in a university using value measuring methodology (VMM). The VMM approach is started by developing a framework of value taking into account three elements: the values, costs and risks. Data is collected from three sources according to the VMM elements, such as 1) sources of the value data obtained from asking questions to people involved in e-learning, including students, faculties and administrators, 2) sources of the cost data which are the annual budget reports between 2012 and 2015, and 3) sources of the risk data obtained from asking questions to experts on e-learning systems. The experimental results reveal that the VMM result before the risk is 18.37, while the VMM result after the risk is 16.79 which is slightly lower than that before the risk. The score of e-learning value and costs before the risk are 73.04% and 3,976,045.40 Baht, respectively. While the score of e-learning value and costs after the risk are 69.75% and 4,154,967.44 Baht, respectively. Finally, the e-learning deployment has risk probability and impact at a moderate level.

Keywords: Assessing the Value, E-learning Systems, Value Measuring Methodology, VMM

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹ Bachelor degree student, ² Assist. Prof., Information Technology, Suranaree University of Technology, Thailand.

* Corresponding author, Jutarat Rungwarin, Information Technology, Suranaree University of Technology, Thailand.

บทนำ

จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 หมวด 9 เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา¹ มีการกำหนดสาระเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีเข้ามาส่งเสริมการศึกษา เพื่อให้เกิดการใช้ที่คุ้มค่าและเหมาะสมกับกระบวนการเรียนรู้ของคนไทย รวมถึงมีการระดมทุนเพื่อจัดตั้งกองทุนพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการศึกษาจากเงินอุดหนุนของรัฐ ค่าสัมปทาน และผลกำไรที่ได้จากการดำเนินกิจการด้านสื่อสารมวลชน เทคโนโลยีสารสนเทศ และโทรคมนาคมจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์กรประชาชน รวมทั้งให้มีการลดอัตราค่าบริการเป็นพิเศษในการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อการพัฒนาคนและสังคม (มาตรา 68) นอกจากนี้ในมาตรา 66 กล่าวว่า ผู้เรียนมีสิทธิได้รับการพัฒนาความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ในโอกาสแรกๆ ที่ทำได้ เพื่อให้มีความรู้และทักษะเพียงพอในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา สำหรับแสวงหาความรู้ด้วยตนเองได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต รวมถึงในมาตรา 65 ยังเน้นให้มีการพัฒนาด้านบุคลากร ทั้งด้านผู้ผลิต และผู้ใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา เพื่อให้มีความรู้ ความสามารถ และทักษะในการผลิต รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม มีคุณภาพ และประสิทธิภาพ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีบทบาทสำคัญในด้านต่าง ๆ อาทิ ด้านการทหาร ด้านการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการศึกษา โดยได้ปรับรูปแบบการเรียนรู้ไปตามแนวคิดใหม่ที่นำเทคโนโลยีเข้ามาสนับสนุนทางการศึกษา ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์ และระบบเครือข่ายทางอินเทอร์เน็ตเข้ามาใช้เป็นเครื่องมือในการผลิตสื่อ และถ่ายทอดเนื้อหาการเรียนการสอน² หรือที่เรียกว่า การเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ (E-learning) โดยจัดเป็นการเรียนอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ระบบอินเทอร์เน็ตเข้ามาช่วยในการติดต่อสื่อสาร ถ่ายทอดเนื้อหาผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์³ ซึ่งปัจจุบันมีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของด้านต่าง ๆ รวมถึงมีการอำนวยความสะดวกได้อย่างหลากหลาย เช่น การอำนวยความสะดวกการเรียนทางไกล ความประหยัดเวลาในการเรียนรู้ ประหยัดค่าใช้จ่าย รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ฯลฯ ซึ่งการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มีระบบการจัดการเรียนรู้ (Learning Management System: LMS) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่บริหารจัดการการเรียนการสอนผ่านเว็บ ประกอบด้วยเครื่องมืออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สอน ผู้เรียน และผู้ดูแลระบบ จึงทำให้ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญในการเรียนรู้ทั้งในด้านตัวบุคคลและองค์กรต่าง ๆ

ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทเรียนออนไลน์ เพื่อการส่งเสริมหรือสนับสนุนการศึกษา โดยส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาสื่อออนไลน์เพื่อวัตถุประสงค์ทางการเรียน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าบทเรียนออนไลน์ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น^{4,5} หรืองานวิจัยที่กล่าวถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การดำเนินงานการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ประสบความสำเร็จ⁶ การทำเนื้อหาในการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคโนโลยีการจัดการความรู้⁷ รวมทั้งการศึกษากรอบการประเมินผลการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์⁸ ซึ่งจะเห็นว่ามีส่วนที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับเรื่องระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมากแต่ยังไม่มียานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์โดยตรง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า การศึกษาของประเทศไทยได้นำการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้กับการเรียนการสอนตามแนวทางของพระราชบัญญัติที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้กับการศึกษาและแม้ว่าการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในมหาวิทยาลัยจะเป็นซอฟต์แวร์ที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย เช่น ซอฟต์แวร์มูเดิ้ล แต่ยังคงมีต้นทุนสำหรับการใช้งานและการดูแลรักษา ซึ่งจากการสำรวจต้นทุนในการนำระบบมูเดิ้ลเข้ามาใช้ภายในมหาวิทยาลัย พบว่า มีงบประมาณที่ใช้ไปกับการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้เป็นจำนวนมาก ได้แก่ งบประมาณด้านอุปกรณ์ งบประมาณด้านทรัพยากรบุคคล งบประมาณด้านทรัพยากรในการดำเนินงาน งบประมาณด้านการดูแลระบบ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้ระบบมูเดิ้ลเป็นไปตามวิสัยทัศน์/พันธกิจของมหาวิทยาลัย ซึ่งโครงการที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้กับหน่วยงาน ควรคำนึงถึงประโยชน์และความจำเป็นสำหรับหน่วยงานนั้น ๆ แต่โครงการดังกล่าวมักขาดการวิเคราะห์ในเชิงของความคุ้มค่าของการลงทุน ไม่ว่าจะอยู่ในระยะสั้นหรือระยะยาว⁹ ดังนั้นควรมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่แสดงให้เห็นว่าได้รับประโยชน์ด้านใดด้านหนึ่งอย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม เช่น ข้อมูลผลตอบแทนที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งการได้มาซึ่งข้อมูลนี้จะทำให้ทราบข้อมูลอื่นๆ อาทิ ค่าใช้จ่ายในการจัดหา ระบบ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมการ การปรับระบบงาน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ รวมถึงค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรและสาธารณูปโภค และการปรับปรุงระบบงานให้ทันสมัย แต่ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้สำรวจความสัมพันธ์ของผลการเรียนกับการใช้ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับการเรียนภายในชั้นเรียนจากฐานข้อมูลการใช้ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มูเดิ้ลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีพบว่า ภาคการเรียนที่ 2 ของปีการศึกษา 2555 และ 2556 จากทั้งหมด 14 รายวิชา มีจำนวนรายวิชาที่

มีผลการเรียนดีขึ้นทั้งสิ้น 5 รายวิชา แต่มีจำนวนรายวิชาที่มีผลการเรียนต่ำลง 9 รายวิชา ส่วนในภาคการเรียนที่ 3 ของปีการศึกษา 2555 และ 2556 พบว่า จากทั้งหมด 26 รายวิชา มีจำนวนรายวิชาที่มีผลการเรียนดีขึ้นทั้งสิ้น 15 รายวิชา และมีจำนวนรายวิชาที่มีผลการเรียนต่ำลง 11 รายวิชา จะเห็นว่าการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้กับการเรียนการสอนไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับการเรียนของนักศึกษา เนื่องจากรายวิชาส่วนใหญ่ที่นำระบบมูเดิลมาใช้ไม่ได้มุ่งเน้นการสร้างบทเรียนออนไลน์ แต่ใช้เพียงบางฟังก์ชันของมูเดิล และใช้มูเดิลเพื่อเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการเรียนการสอนเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงไม่สามารถนำผลการเรียนมาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ได้

ทั้งนี้ในการลงทุนหรือการดำเนินงานต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงเหตุการณ์ในอนาคตร่วมด้วย เนื่องจากอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเสี่ยงและผลกระทบจากความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต¹⁰ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยด้านความเสี่ยงร่วมด้วย และได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินความคุ้มค่า โดยมีวิธีการประเมินความคุ้มค่าที่แตกต่างกันตามชนิดของโครงการ อาทิ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินโครงการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์^{11,12} หรือโครงการที่เกี่ยวกับการประเมินทางด้านการเงินที่คำนึงถึงผลกำไรหรือขาดทุน จะใช้วิธีการประเมินความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์ ส่วนงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินความคุ้มค่าของโครงการเทคโนโลยีสารสนเทศ^{13,15} จะใช้วิธีการประเมินความคุ้มค่าแบบการวัดมูลค่า (Value Measuring Methodology: VMM) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า^{14,15} มาใช้ในการประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่าของโครงการทางเทคโนโลยีสารสนเทศที่ถูกคิดค้นโดยสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 2002 โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประเมินความคุ้มค่าโครงการของรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัย ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การระบุปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลจากกรอบทวน

วรรณกรรมต่าง ๆ พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความคุ้มค่าส่วนใหญ่ได้ศึกษาเพียงทฤษฎีเกี่ยวกับความคุ้มค่าของปัจจัยด้านต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น ๆ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความคุ้มค่าของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมีเพียงการนำวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่ามาวิเคราะห์ร่วมกับระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นเอง และนำมาเปรียบเทียบกับระบบการเรียนการสอนผ่านระบบวิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ซึ่งมีอยู่ก่อนแล้ว¹⁵ แต่ยังไม่มีการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ของซอฟต์แวร์มูเดิลมาประเมินความคุ้มค่าในการนำมาใช้ ซึ่งมูเดิลจัดเป็นซอฟต์แวร์ที่นิยมนำมาใช้ในมหาวิทยาลัย¹⁶ งานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการประเมินแบบความคุ้มค่าของระบบการประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาโดยใช้ซอฟต์แวร์มูเดิล (Moodle)

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนากรอบการประเมินความคุ้มค่า การประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ (มูเดิล) ประกอบด้วยโครงสร้าง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ผลประโยชน์ ต้นทุน และความเสี่ยง โดยในการวิจัยนี้ได้พัฒนากรอบการประเมินทั้งหมด 7 ขั้นตอนตามวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า ดังนี้

1) กำหนดโครงสร้างผลประโยชน์ หมายถึง การระบุปัจจัยหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการที่ต้องการประเมินความคุ้มค่า ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ นักศึกษา คณาจารย์ และผู้บริหารของมหาวิทยาลัย และระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลประโยชน์ในการนำมาใช้กับผู้ที่เกี่ยวข้องแยกตามกลุ่ม

2) กำหนดความสำคัญหรือค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลค่าน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญด้านระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เที่ยงตรงมากที่สุด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP)¹⁷ ซึ่งค่าน้ำหนักของปัจจัยช่วยให้ทราบว่ามีอิทธิพลต่อความคุ้มค่าด้านผลประโยชน์ของการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้

3) กำหนดตัวชี้วัด เมื่อกำหนดความสำคัญหรือค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระบุรายละเอียดของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ด้านที่ต้องการวัด รายละเอียดตัวชี้วัด และเป้าหมาย เช่น หากต้องการวัดด้านปฏิสัมพันธ์ของระบบมูเดิล รายละเอียดและตัวชี้วัด คือ ระบบเป็นตัวกลางเพื่อการเรียนรู้ ศึกษา ค้นคว้า และเป้าหมาย คือ ระบบสนับสนุนรูปแบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ๆ

4) กำหนดความสำคัญหรือค่าน้ำหนักของแต่ละตัวชี้วัด ในงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลค่าน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญด้านระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เที่ยงตรง

มากที่สุด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น จากนั้นนำไปคูณกับค่าคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามความพึงพอใจ ดังตารางที่ 3 - 5 เพื่อหาคะแนนด้านผลประโยชน์ของแต่ละด้าน และนำไปสู่การคำนวณหาความคุ้มค่าแบบแบบการวัดมูลค่า

5) กำหนดต้นทุน ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการระบุต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ตั้งแต่เริ่มวางแผน การดำเนินงาน และการปฏิบัติการ จนถึงการบำรุงรักษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดต้นทุนของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ซึ่งมีข้อมูลย้อนหลังทั้งหมด 4 ปี คือในปี 2555 ถึง 2558

6) กำหนดโครงสร้างความเสี่ยง ประกอบด้วย ความเสี่ยงที่มีอยู่ และความเสี่ยงและผลกระทบที่จะเกิดในอนาคตของการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้

7) บันทึกและสรุปกรอบการประเมินลงเอกสาร

ขั้นตอนที่ 3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความคุ้มค่า วิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า แบ่งเป็นการประเมิน 3 โครงสร้าง ได้แก่ ผลประโยชน์ ต้นทุน และความเสี่ยง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผล โดยในขั้นตอนนี้สามารถแบ่งการรวบรวมข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนตามโครงสร้างการประเมิน ดังนี้


ส่วนที่ 1) รวบรวมข้อมูลผลประโยชน์ด้วยแบบสอบถามจากนักศึกษา อาจารย์ และผู้บริหารมหาวิทยาลัยจากแบบสอบถามโดยจำแนกกลุ่มตัวอย่างของนักศึกษาเป็นนักศึกษาชั้นปริญญาตรี ซึ่งเป็นผู้ใช้หลักของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างของยามานะ¹⁸ จำนวน 387 คน โดยมีความเชื่อมั่น 95% สำหรับจำนวนกลุ่มตัวอย่างของอาจารย์ ซึ่งถือว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเนลเซน¹⁹ จำนวน 16 คน โดยมีความเชื่อมั่น 100% และจำนวนกลุ่มตัวอย่างของผู้บริหาร ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 5 คน ซึ่งแบ่งแบบสอบถามเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1.1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ ชั้นปี ความถี่ในการเข้าใช้ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์/วัน และความถี่ในการเข้าใช้ระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์/สัปดาห์ และ 1.2) แบบสอบถามวัดความพึงพอใจ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ความพึงพอใจด้านปฏิสัมพันธ์ของระบบ ความพึงพอใจด้านกระบวนการให้บริการของระบบ และความพึงพอใจด้านเนื้อหา ซึ่งเกณฑ์ค่าเฉลี่ยใน  ระดับความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 5 ระดับ²⁰ ดังตารางที่ 1

Table 1 Average Criteria for Measuring Satisfaction Levels

Average	Meaning
1.00 – 1.79	Least satisfied
1.80 – 2.59	Less satisfied
2.60 – 3.39	Moderately satisfied
3.40 – 4.19	Very satisfied
4.20 – 5.00	Most satisfied

โดยแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ด้านผลประโยชน์ของการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ถูกนำไปคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item – Objective Congruence: IOC)²¹ พบว่า ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ส่วนที่ 2) รวบรวมข้อมูลต้นทุนจากรายงานงบประมาณ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านฮาร์ดแวร์ ค่าใช้จ่ายด้านซอฟต์แวร์ และค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร

ส่วนที่ 3) รวบรวมข้อมูลด้านความเสี่ยงจากแบบประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย 8 ด้าน ได้แก่ 1) ความเสี่ยงด้านเหตุการณ์ภายนอก ภายนอก และสิ่งแวดล้อม 2) ความเสี่ยงด้านบุคลากร 3) ความเสี่ยงด้านอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ 4) ความเสี่ยงด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ 5) ความเสี่ยงด้านระบบเครือข่าย 6) ความเสี่ยงด้านข้อมูล/เนื้อหา รายวิชา 7) ความเสี่ยงด้านกฎระเบียบ/กฎหมาย และ 8) ความเสี่ยงด้านการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานจริง โดยแบบประเมินความเสี่ยงที่ถูกพัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปคำนวณดัชนีความสอดคล้อง พบว่า ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ในหัวข้อนี้ นำข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าความคุ้มค่าก่อนเกิดความเสี่ยง และค่าความคุ้มค่าหลังเกิดความเสี่ยง

1) วิเคราะห์ข้อมูลผลประโยชน์จากแบบสอบถาม โดยคำนวณจากคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามเป็นค่าน้ำหนัก ซึ่งค่าน้ำหนักของผลประโยชน์มี 2 แบบ ได้แก่ ผลประโยชน์ก่อนเกิดความเสี่ยง และผลประโยชน์หลังเกิดความเสี่ยง ซึ่งเมื่อได้ผลประโยชน์ก่อนเกิดความเสี่ยงแล้ว การวิเคราะห์ผลประโยชน์หลังเกิดความเสี่ยงสามารถวิเคราะห์ได้จากมาตราความเสี่ยงใน Table 2 ซึ่งสูตรคำนวณเป็นไปตามสมการที่ 1

$$Value\ Score\ (Risk) = Value\ Score - (Value\ Score \times Value\ Impact\ (\%) \times Probability\ (\%))(1)$$

โดยที่ Value Score (Risk) คือ ผลประโยชน์หลังเกิดความเสียหาย

Value Score คือ ผลประโยชน์ก่อนเกิดความเสียหาย

Value Impact คือ ผลกระทบต่อผลประโยชน์

Probability คือ โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย

Table 2 Risk Scale²²

Risk	Probability	Cost Impact	Value Impact
High	50%	25%	-25%
Medium	30%	15%	-15%
Low	25%	5%	-5%

2) วิเคราะห์ต้นทุนจากรายงานงบประมาณ ต้นทุนในการประเมินวิธีนี้ประกอบด้วย 2 แบบ ได้แก่ ต้นทุนก่อนเกิดความเสียหาย หรือต้นทุนปัจจุบัน (Cost) และต้นทุนหลังเกิดความเสียหาย หรือต้นทุนที่จะเกิดขึ้นเมื่อพบความเสียหาย (Cost (Risk)) ซึ่งการวิเคราะห์ต้นทุนหลังเกิดความเสียหายสามารถวิเคราะห์โดยใช้มาตราความเสี่ยงในตารางที่ 2 สูตรคำนวณเป็นไปตามสมการที่ 2

$$Cost\ (Risk) = Cost + (Cost \times Cost\ Impact\ (\%) \times Probability\ (\%))\ (2)$$

โดยที่ Cost (Risk) คือ ต้นทุนหลังเกิดความเสียหาย

Cost คือ ต้นทุนปัจจุบัน

Cost Impact คือ ผลกระทบต่อต้นทุน

Probability คือ โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย

3) วิเคราะห์ระดับความเสี่ยงจากแบบประเมินความเสี่ยงในแบบประเมินจะประเมินความเสี่ยง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านบุคลากร ด้านความปลอดภัยของระบบ ด้านอุปกรณ์ ด้านกฎระเบียบ และด้านความผิดพลาดของเนื้อหา เมื่อได้ผลความเสี่ยงในด้านต่าง ๆ จากแบบประเมินความเสี่ยง ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้มาตราความเสี่ยงใน Table 2 ร่วมกับสมการที่ (1) และ (2)

ในแบบประเมินความเสี่ยง ได้แบ่งระดับความเสี่ยงเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 คือ โอกาสเกิดความเสียหาย โดยมี 3 ระดับ คือ

H หมายถึง มีโอกาสเกิดความเสียหายในระดับสูง (High)

M หมายถึง มีโอกาสเกิดความเสียหายในระดับปานกลาง (Medium)

L หมายถึง มีโอกาสเกิดความเสียหายในระดับต่ำ (Low)

ประเภทที่ 2 คือ ผลกระทบจากการเกิดความเสียหาย ซึ่งผลกระทบจากการเกิดความเสียหาย จะแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ ผลกระทบต่อต้นทุน และผลกระทบต่อผลประโยชน์ มี 3 ระดับ คือ

H หมายถึง มีผลกระทบในระดับสูง (High)

M หมายถึง มีผลกระทบในระดับปานกลาง (Medium)

L หมายถึง มีผลกระทบในระดับต่ำ (Low)

เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าต่าง ๆ แล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปแปลงเป็นค่ามาตรฐาน หรือค่าน้ำหนัก แล้วนำไปเปรียบเทียบร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท (Value per 1 Million) ระหว่างความคุ้มค่าก่อนเกิดความเสียหาย และความคุ้มค่าหลังเกิดความเสียหายในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 ผลการประเมินความคุ้มค่า เมื่อได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าแล้ว จะนำข้อมูลมาคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทเพื่อหาความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้หรืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท ประกอบด้วย การคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทก่อนเกิดความเสียหาย และการคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทหลังเกิดความเสียหาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) การคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท ก่อนเกิดความเสียหาย มีสูตรดังสมการที่ (3)

$$Value\ per\ 1\ Million = Value\ Score / Cost\ (3)$$

โดยที่ Value per 1 Million คือ ร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท

Value Score คือ ค่าคะแนนของ ผลประโยชน์

Cost คือ ต้นทุนของระบบการเรียนรู้หรืออิเล็กทรอนิกส์

- 2) การคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท หลังเกิดความเสียหาย มีสูตรดังสมการที่ (4)

$$Value\ per\ 1\ Million\ (Risk) = Value\ Score\ (Risk) / Cost\ (Risk)\ (4)$$

โดยที่

Value Score (Risk) คือ ค่าคะแนนของผลประโยชน์ หลังเกิดความเสียหาย เกิดจาก Value Score × Probability (%) × Value Impact (%) สามารถดูค่าได้ใน Table 2

Cost (Risk) คือ ต้นทุนของระบบการเรียนรู้หรืออิเล็กทรอนิกส์ หลังเกิดความเสียหาย เกิดจาก Cost × Probability (%) × Cost Impact (%) สามารถดูค่าได้ในตารางที่ 2

Value per 1 Million (Risk) คือ ร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทหลังเกิดความเสียหาย

ผลการประเมินความคุ้มค่า

การประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า คำนึงถึง 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ผลประโยชน์ ต้นทุน และความเสี่ยง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับรวบรวมข้อมูล และคำนวณความคุ้มค่าตามสูตรที่กล่าวมาในหัวข้อก่อนหน้านี สามารถแบ่งผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านผลประโยชน์

งานวิจัยนี้ได้รับปัจจัยหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์ และผู้บริหารมหาวิทยาลัย ซึ่งมีค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย คือ 0.56 0.30 และ 0.14 ตามลำดับและได้ผลการวิเคราะห์ Table 3 – 5 แยกตามปัจจัยหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง

Table 3 The results of value analysis from student's perspective

Satisfaction	Weight of Metric	Average Score	Interpretation	Satisfaction Score Based on Weight of Metric
Interaction of the system				
1) The system is an intermediary for learning and research.	6.60	3.65	Very satisfied	$(6.60 \times 3.65) / 5 = 4.82$
2) The system has tools for students to communicate among learners.	1.50	3.33	Moderately satisfied	$(1.50 \times 3.33) / 5 = 1.00$
3) The system has tools for instructors to advise the learners.	1.00	3.18	Moderately satisfied	$(1.00 \times 3.18) / 5 = 0.64$
4) Learners can interact with the content.	0.90	3.07	Moderately satisfied	$(0.90 \times 3.07) / 5 = 0.55$
Total	10.00	3.31	Moderately satisfied	7.01
Processes of system services				
1) The system has full functionality that is enough to support learning.	10.35	3.45	Very satisfied	$(10.35 \times 3.45) / 5 = 7.14$

Table 3 The results of value analysis from student's perspective (con.)

Satisfaction	Weight of Metric	Average Score	Interpretation	Satisfaction Score Based on Weight of Metric
2) System functionality is accurate and reliable to use.	13.50	3.60	Very satisfied	$(13.50 \times 3.60) / 5 = 9.72$
3) The system is secure.	3.15	3.57	Very satisfied	$(3.15 \times 3.57) / 5 = 2.25$
4) The system is easy to access (anywhere, anytime).	6.75	3.58	Very satisfied	$(6.75 \times 3.58) / 5 = 4.83$
5) The system is stable in service and it can be used continuously and quickly.	11.25	3.23	Moderately satisfied	$(11.25 \times 3.23) / 5 = 7.27$
Total	45.00	3.49	Very satisfied	31.21
Content				
1) Content is trustworthy because learners and teachers frequently ask questions. As a result, the content is consistently verified.	4.50	3.50	Very satisfied	$(4.50 \times 3.50) / 5 = 3.15$
2) Learners have more understanding in classroom because they can study in the e-learning system at any time.	27.45	3.55	Very satisfied	$(27.45 \times 3.55) / 5 = 19.49$

Satisfaction	Weight of Metric	Average Score	Interpretation	Satisfaction Score Based on Weight of Metric
3) Learners can easily access or search for course content.	7.20	3.67	Very satisfied	$(7.20 \times 3.67) / 5 = 5.28$
4) Content is up-to-date because there is frequently interaction among learners.	5.85	3.46	Very satisfied	$(5.85 \times 3.46) / 5 = 4.05$
Total	45.00	3.48	Very satisfied	31.97
Average Satisfaction	100.00	3.43	Very satisfied	70.19

Table 4 The results of value analysis from teacher's perspective

Satisfaction	Weight of Metric	Average Score	Interpretation	Satisfaction Score Based on Weight of Metric
Interaction of the system				
1) The system is an intermediary for learning and research.	37.50	3.38	Moderately satisfied	$(37.50 \times 3.38) / 5 = 25.35$
2) The system has tools for teachers to advise the learners.	6.00	3.50	Very satisfied	$(6.00 \times 3.50) / 5 = 4.20$
3) Teachers can create content that interacts with learners, such as creating exercises or quizzes.	6.50	3.19	Moderately satisfied	$(6.50 \times 3.19) / 5 = 4.15$
Total	50.00	3.35	Moderately satisfied	33.70
Processes of system services				
1) The system is easy to use and not complicated due to the classification of system functionality.	5.50	3.13	Moderately satisfied	$(5.00 \times 3.13) / 5 = 3.44$
2) The system has full functionality that is enough to support teaching and correspond to the courses.	11.00	3.44	Very satisfied	$(11.00 \times 3.44) / 5 = 7.57$
3) System functionality is accurate and reliable to use.	13.00	3.88	Very satisfied	$(13.00 \times 3.88) / 5 = 10.09$
4) The system is secure.	3.00	3.56	Very satisfied	$(3.00 \times 3.56) / 5 = 2.14$
5) The system is easy to access (anywhere, anytime).	6.50	3.81	Very satisfied	$(6.50 \times 3.81) / 5 = 4.95$
6) The system is stable in service and it can be used continuously and quickly.	11.00	3.63	Very satisfied	$(11.00 \times 3.63) / 5 = 7.99$
Total	50.00	3.57	Very satisfied	36.17
Average Satisfaction	100	3.46	Very satisfied	69.87

Table 5 The results of value analysis from university administrator's perspective

Satisfaction	Weight of Metric	Average Score	Interpretation	Satisfaction Score Based on Weight of Metric
The system is a tool to support and increase the potential of learning, teaching and academic activities.	57.00	4.80	Most satisfied	$(57.00 \times 4.80) / 5 = 53.76$
The system has published a social learning model.	23.00	3.80	Very satisfied	$(23.00 \times 3.80) / 5 = 18.24$
The system is an academic resource for learners.	10.00	5.00	Most satisfied	$(10.00 \times 5.00) / 5 = 10.00$
The system is an academic resource for teachers.	10.00	4.60	Most satisfied	$(10.00 \times 4.60) / 5 = 9.20$
Average Satisfaction	100	4.55	Most satisfied	91.20

จาก Table 3 จากผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านผลประโยชน์จากนักศึกษาจะเห็นว่า มีปัจจัยด้านความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านปฏิสัมพันธ์ของระบบ เฉลี่ยมีค่า 3.31 มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ด้านที่ 2 ด้านกระบวนการให้บริการของระบบ เฉลี่ยมีค่า 3.49 มีความพึงพอใจในระดับมาก และด้านที่ 3 ด้านเนื้อหา เฉลี่ยมีค่า 3.48 มีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งผลคะแนนความพึงพอใจทุกด้านโดยเฉลี่ยมีค่า 3.43 มีความพึงพอใจในระดับมาก

โดยคะแนนผลประโยชน์ของนักศึกษาคำนวณจากผลรวมคะแนนความพึงพอใจของทั้ง 3ด้าน ตามค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดแต่ละค่าดังนี้ $7.01 + 31.21 + 31.97 = 70.19$

จาก Table 4 จะเห็นว่า มีปัจจัยด้านความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านปฏิสัมพันธ์ของระบบ เฉลี่ยมีค่า 3.35 มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ด้านที่ 2 ด้านกระบวนการให้บริการของระบบ เฉลี่ยมีค่า 3.57 มีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งผลคะแนนความพึงพอใจทุกด้านโดยเฉลี่ยมีค่า 3.46 มีความพึงพอใจในระดับมาก

โดยคะแนนผลประโยชน์ของอาจารย์คำนวณจากผลรวมคะแนนความพึงพอใจของทั้ง 2 ด้าน ตามค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดแต่ละค่าดังนี้ $33.70 + 36.17 = 69.87$

จาก Table 5 จะเห็นว่ามีความพึงพอใจ 4 ด้าน ได้แก่ 1) ระบบเป็นเครื่องมือสนับสนุนและเพิ่มศักยภาพในการจัดการเรียนการสอน และกิจกรรมทางวิชาการ 2) ระบบมีการเผยแพร่รูปแบบความเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ 3) ระบบเป็นแหล่งบริการทางวิชาการแก่นักศึกษา และ 4) ระบบเป็นแหล่งบริการทางวิชาการแก่คณาจารย์ ซึ่งผลคะแนนความพึงพอใจทุกด้านโดยเฉลี่ยมีค่า 4.55 มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

โดยคะแนนผลประโยชน์ของผู้บริหารมหาวิทยาลัยคำนวณจากผลรวมคะแนนความพึงพอใจของทั้ง 4 ด้าน ตามค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดแต่ละค่าดังนี้ $53.76 + 18.24 + 10.00 + 9.20 = 91.20$

นอกจากนี้ จะเห็นว่าค่าน้ำหนักของปัจจัยและตัวชี้วัดในตารางที่ 3 4 และ 5 ช่วยให้ทราบว่า ปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อความคุ้มค่าด้านผลประโยชน์ของการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ อาทิ ปัจจัยความพึงพอใจด้านผลประโยชน์ของผู้บริหารในรายการที่ 1) ระบบเป็นเครื่องมือสนับสนุนและเพิ่มศักยภาพในการจัดการเรียนการสอน และกิจกรรมทางวิชาการ มีค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดสูงสุด สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยนี้มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความคุ้มค่าในการนำระบบฯ มาใช้เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นในมุมมองของผู้บริหาร

2) ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านต้นทุน งานวิจัยนี้ได้ไปสำรวจจากรายงานงบประมาณจากหน่วยงานศูนย์นวัตกรรมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นหน่วยงานกลางในการดูแลระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ของทุกคณะในมหาวิทยาลัยฯ เป็นการรวมบริการประชาสัมพันธ์ ไม่ได้แบ่งแยกงบประมาณตามคณะ ซึ่งมีเอกสารงบประมาณต้นทุนของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ย้อนหลังทั้งหมดที่สามารถสืบค้นได้ตั้งแต่ปี 2555 ถึง 2558 ผลการสืบค้นพบว่า ต้นทุนในแต่ละปีประกอบด้วย ค่าอุปกรณ์ ค่าครุภัณฑ์ ค่าจ้างระบบบริหารจัดการวิดิทัศน์การเรียนการสอนผ่านเครือข่าย งบประมาณสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ค่าเช่าเครื่องบริการ และค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ต้นทุนในปี 2555 มีจำนวน 837,900 บาท ปี 2556 มีจำนวน 1,338,145.40 บาท ปี 2557 มีจำนวน 940,000 บาท และปี 2558 มีจำนวน 860,000 บาท รวมทั้งสิ้นจำนวน 3,976,045.40 บาท ดัง Table 6

Table 6 Details of the cost for e-learning system

Year	Cost Structure	Amount
2012	Equipment (Video Conference)	9,900.00
	Cost for learning object media production including student wages	450,000.00
	Server rental	18,000.00
	Personnel costs	360,000.00
	Total	837,900.00
2013	Equipment (Computers for instructional media production)	228,145.40
	Wages for the video management system	300,000.00
	Cost for learning object media production including student wages	432,000.00
	Server rental	18,000.00
	Personnel costs	360,000.00
	Total	1,338,145.40

Year	Cost Structure	Amount
2014	Compensation for the development of curriculum quality assessment system	30,000.00
	Compensation for the improvement of video repository systems	100,000.00
	Cost for learning object media production including student wages	432,000.00
	Server rental	18,000.00
	Personnel costs	360,000.00
	Total	940,000.00
	Compensation for materials expenses for the improvement of e-learning tools	50,000.00
	Cost for learning object media production including student wages	432,000.00
	Server rental	18,000.00
	Personnel costs	360,000.00
	Total	860,000.00
	Total	3,976,045.40

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านความเสี่ยง งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ได้แก่ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้เก็บ

ข้อมูลโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงและผลกระทบที่จะเกิดขึ้น โดยนำตัวเลขที่ได้จากแบบสอบถามมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย แล้วบัตเศษตามหลักคณิตศาสตร์ดัง Table 7

Table 7 The results of the risk assessment of the e-learning system

Risk Factors	Opportunity		Impact	
	Score	Levels	Score	Levels
External, physical and environmental risks.				
1.1 Risks caused by natural threats	2	L	4	H
1.2 Risks caused by power failure	3	M	4	H
1.3 Risks caused by lacking the security of server room access control.	2	L	3	M
1.4 Risks caused by the uncertainty of state policy and related agencies	2	L	2	L
1.5 Risks caused by lacking emergency plans.	3	M	3	M
Human Resources risk				
2.1 Risks caused by lacking personnel management.	3	M	3	M
2.2 Risks caused by lacking knowledge and skills in information systems of staffs.	3	M	4	H
2.3 Risks caused by personnel corruption or misconduct such as the removal of confidential information outside the organization.	2	L	4	H
2.4 Risks caused by human errors.	3	M	4	H
Information Technology Equipment risk				
3.1 Risks caused by lacking resource management.	3	M	3	M
3.2 Risks caused by equipment maintenance	3	M	4	H
3.3 Risks caused by the performance of devices.	3	M	4	H
Computer software risks.				
4.1 Risks caused by compromised software.	3	M	4	H

Table 7 The results of the risk assessment of the e-learning system (con.)

Risk Factors	Opportunity		Impact	
	Score	Levels	คะแนน	Score
Risks caused by lacking the management standards of database management system (DBMS).	3	M	4	H
Network risks.				
5.1 Risks caused by network failure and lacking data instability and efficiency.	3	M	4	H
5.2 Risks caused by lacking network tracking, the internal network maintenance, Internet access, and firewall creation.	3	M	4	H
5.3 Risks caused by lacking network security plans.	3	M	3	M
Data / Course Risk				
6.1 Risks caused by incomplete course content produced by teachers.	3	M	3	M
Risks caused by the inaccuracy of the course content.	3	M	3	M
Risks caused by outdated course content.	3	M	3	M
Regulatory / Law Enforcement				
7.1 Risks caused by student fraud.	4	H	3	M
7.2 Risks caused by software copyright of e-learning systems.	2	L	3	M
7.3 Risks caused by copyright of programs/documents download that the teachers allow learners to download on electronic learning systems.	3	M	3	M
Risk of E-learning Implementation				
8.1 Risks caused by lacking e-learning policies.	3	M	2	L
Risks caused by lacking knowledge and understanding of the use of e-learning systems.	3	M	3	M
8.3 Risks caused by users who do not realize the importance of the use of e-learning systems for teaching and learning.	3	M	3	M
8.4 Risks caused by system administrators who lack system testing before implementation.	2	L	3	L
Mean	2.72 ~ 3	M	3.35 ~ 3	M

จาก Table 7 จะเห็นว่า มีปัจจัยความเสี่ยง 8 ด้าน ได้แก่ 1) ความเสี่ยงด้านเหตุการณ์ภายนอก ภายนอก และสิ่งแวดล้อม 2) ความเสี่ยงด้านบุคลากร 3) ความเสี่ยงด้านอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ 4) ความเสี่ยงด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ 5) ความเสี่ยงด้านระบบเครือข่าย 6) ความเสี่ยงด้านข้อมูล/เนื้อหาวิชา 7) ความเสี่ยงด้านกฎระเบียบ/กฎหมาย และ 8) ความเสี่ยงด้านการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์(E-learning) ไปใช้งานจริง ซึ่งผลสรุปพบว่า ความเสี่ยงของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ มีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงและผลกระทบในระดับปานกลาง (M)

4) ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 องค์ประกอบ สามารถนำผลที่ได้มาหาความคุ้มค่าได้ 2 ส่วน ดังนี้

4.1 การหาร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท (ก่อนเกิดความเสี่ยง) โดยคะแนนผลประโยชน์ (Value Score) คำนวณจากผลคะแนนแบบสอบถามด้านความพึงพอใจของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ นักศึกษา อาจารย์ และผู้บริหารมหาวิทยาลัย ซึ่งผลคะแนนจากแบบสอบถามมีค่า 70.19, 69.87 และ 91.20 ตามลำดับ และนำมาคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยคือ 0.56, 0.30 และ 0.14 จะได้คะแนนเท่ากับ 39.31, 20.96 และ 12.77 ตามลำดับ ซึ่งผลรวมเท่ากับ 73.04 ส่วนต้นทุนของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มีค่าเท่ากับ 3,976,045.40 บาท (~3.98 ล้านบาท) ดังนั้นสามารถคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท ก่อนเกิดความเสี่ยง ตามสมการที่ 3 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Value per 1 Million} &= \text{Value Score} / \text{Cost} \\ &= (70.19 \times 0.56) + (69.87 \times 0.30) + \\ &(91.20 \times 0.14) / 3.98 \\ &= 18.37 \end{aligned}$$

จากสูตรการคำนวณพบว่า จำนวนร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทมีค่าเท่ากับ 18.37

4.2 การหาร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท (หลังเกิดความเสี่ยง) โดยคะแนนผลประโยชน์หลังเกิดความเสี่ยง (Value Score (Risk)) คำนวณจากคะแนนผลประโยชน์ก่อนเกิดความเสี่ยง ร้อยละของผลกระทบ (M) และร้อยละของโอกาสที่จะเกิด (M) ตามสมการที่ 1 จะได้ค่าเท่ากับ 67.56 สำหรับต้นทุนของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์หลังเกิดความเสี่ยง คำนวณจากต้นทุนปัจจุบัน ร้อยละของผลกระทบ (M) และร้อยละของโอกาสที่จะเกิด (M) ตามสมการที่ 2 ได้ค่าเท่ากับ 4,154,967.44 บาท หรือประมาณ 4.15 ล้านบาท ดังนั้นสามารถคำนวณร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท หลังเกิดความเสี่ยงตามสมการที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Value Score (Risk)} &= \text{Value Score} - (\text{Value Score} \\ &\times \text{Value Impact (\%)} \times \text{Probability (\%)}) \\ &= 73.04 - (73.04 \times 0.15 \times 0.30) \\ &= 69.75 \\ \text{Cost (Risk)} &= \text{Cost} + (\text{Cost} \times \text{Cost Impact (\%)} \times \\ &\text{Probability (\%)}) \\ &= 3.98 + (3.98 \times 0.15 \times 0.30) \\ &= 4.15 \\ \text{Value per 1 Million (Risk)} &= \text{Value Score (Risk)} \\ &/ \text{Cost (Risk)} \\ &= 69.75 / 4.15 = 16.79 \end{aligned}$$

จากสูตรการคำนวณพบว่า จำนวนร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทหลังเกิดความเสี่ยงมีค่าเท่ากับ 16.79

ในรูปที่ 1 เป็นแผนภูมิสรุปผลเปรียบเทียบความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ก่อน และหลังเกิดความเสี่ยง

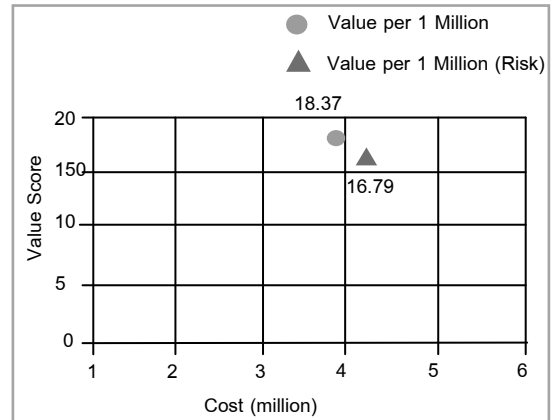


Figure 1 A chart of assessment value

จาก Figure 1 แสดงถึงความคุ้มค่าของระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทเท่ากับ 18.37 และร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทหลังเกิดความเสี่ยง มีค่าความคุ้มค่าลดลงเหลือ 16.79 ซึ่งเกิดจากค่าคะแนนของผลประโยชน์ต่อต้นทุนล้านบาท ก่อนและหลังเกิดความเสี่ยง ซึ่งสามารถนำค่าความคุ้มค่าที่ได้นี้ไปใช้เปรียบเทียบกับระบบตั้งแต่ 2 ระบบขึ้นไป จึงจะทราบว่าระบบใดมีความคุ้มค่ามากกว่ากัน

บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ ด้วยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า ซึ่งวิธีการประเมินความคุ้มค่านี้จะคำนึงถึง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ผลประโยชน์ ต้นทุน และความเสี่ยง โดยในการวิจัยได้พัฒนากรอบการประเมิน 7 ขั้นตอนตามวิธีการวัดมูลค่า ได้แก่ การกำหนดโครงสร้างผลประโยชน์ การกำหนดค่านำหนักของแต่ละปัจจัย การกำหนดตัวชี้วัด การกำหนดค่านำหนักของแต่ละตัวชี้วัด การกำหนดต้นทุน การกำหนดโครงสร้างความเสี่ยง และการสรุปกรอบการประเมินความคุ้มค่า โดยวิธีการประเมินแบบการวัดมูลค่า จะหาร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท ก่อนเกิดความเสี่ยง และหลังเกิดความเสี่ยง ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การนำระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้มีจำนวนร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทก่อนเกิดความเสี่ยงเท่ากับ 18.37 ส่วนจำนวนร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาทหลังเกิดความเสี่ยงมีค่าเท่ากับ 16.79 ซึ่งมีค่าความคุ้มค่าต่ำกว่าก่อนเกิดความเสี่ยงเล็กน้อย

สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจจะมี การนำวิธีการประเมินนี้ไปใช้กับระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยอื่นๆ หากในอนาคตมีระบบการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์แบบอื่น สามารถนำงานนี้ไปใช้ประกอบ เพื่อเปรียบเทียบ

ความคุ้มค่าได้ โดยดูจากความแตกต่างของค่าร้อยละความคุ้มค่าต่อ 1 ล้านบาท

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา [อินเทอร์เน็ต]. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542; 2542. เข้าถึงเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2560 เข้าถึงได้จาก: <http://web.krisdika.go.th/data/law/law2/%a198/%a198-20-9999-update.pdf>
2. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ [อินเทอร์เน็ต]. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542; 2542. เข้าถึงเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2560 เข้าถึงได้จาก: <https://www.mwit.ac.th/~person/01-Statutes/NationalEducation.pdf>
3. ถนอมพร เลหาจรัสแสง. แนวโน้มและบทบาทของเทคโนโลยีการศึกษาในอนาคต. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 2540;2(3): 31-57.
4. ฐาปกรณ์ ศศิวิมลลักษณ์. รูปแบบการเรียนรู้เสริมในบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์สัมพันธวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเบื้องต้นในระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วท.บ. (เทคโนโลยีสารสนเทศ). เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่; 2554.
5. ศักดิ์สิทธิ์ คงสุขศรี. การสร้างสื่ออบรมออนไลน์ของมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทย เรื่อง ระบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรมมูเดิล. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (ครุศาสตรเทคโนโลยี). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553.
6. Laily N, Puspita IA & Kurniawati A. Critical success factor for e-learning implementation in Institut Teknologi Telkom Bandung using Structural Equation Modeling. Information and Communication Technology (ICoICT). IEEE 2013;427-432
7. Shehabat I & Berrish M. E-learning content enhanced by active knowledge management techniques. International Council for Educational Media (ICEM). IEEE 2013;1-8.
8. Yunus Y & Salim J. Framework for the Evaluation of E-learning in Malaysian Public Sector from the pedagogical perspective. Information Technology International Symposium (ITSim). IEEE 2008;4:1-8.
9. ธรรมวิทย์ เทอดอุดมธรรม และคณะ. โครงการศึกษาผลตอบแทนจากการลงทุนด้านไอทีของภาครัฐ : รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2547.
10. สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ [อินเทอร์เน็ต]. แผนบริหารความเสี่ยง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560 ของสำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ; 2560. เข้าถึงเมื่อ 26 สิงหาคม 2560 เข้าถึงได้จาก: <http://www.moe.go.th/moe/upload/news20/FileUpload/48220-8153.pdf>
11. นันทพงศ์ พันทวีศักดิ์. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการ โครงการก่อสร้างโรงงานผลิตสารฟีนอลแห่งที่ 2 ของบริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด.ภาคนิพนธ์ คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2558.
12. วุฒิกมล จันทะพันธ์. การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โครงการก่อสร้างอาคารพักอาศัยรวมข้าราชการและพนักงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2557.
13. Foley, K. and Hamilton, B.A. USING THE VALUE MEASURING METHODOLOGY TO EVALUATE GOVERNMENT INITIATIVES.In Proceedings of the 2006 Crystal Ball User Conference. Mclean, VA, USA: Harvard University; 2006. p.1-9.
14. Kancijan D and Vrek N. Proposing Methodology Pattern for Measuring Public Value of IT Projects. Journal of Information and Organizational Sciences (JIOS) 2011;35(1):31-59.
15. จีรพัชร หนูมงกุฎ. การประเมินความคุ้มค่าระบบเผยแพร่ความรู้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ด้วยวิธีการ Value Measuring Methodology (VMM). วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์; 2553.
16. Moodle. Moodle Statistics [Internet]. 2015 [cited 2015 Sep 5]. Available from: <https://moodle.net/stats/>
17. Saaty TL. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill;1980.
18. Yamane T. Statistics, An Introductory Analysis. 2nd Ed. New York: Harper and Row;1967.
19. Nielsen J & Landauer TK. A mathematical model of the finding of usability problems. Interchi 1993; 206-213.
20. ชัชวาลย์ เรื่องประพันธ์. สถิติพื้นฐาน. ขอนแก่น: โรงพิมพ์

คลังนานาวิทยา;2539.

21. Rovinelli R J & Hambleton R K. On the Use of Content Specialists in the Assessment of Criterion-Referenced Test Item Validity. *Dutch Journal for Educational Research* 1977;2(2):49-60.
22. Rachlin S & Mashall J. *Value Measuring Methodology: How-To-Guide*. Washington, DC: Federal CIO Council; 2002.

การออกแบบและพัฒนากลไกปรับปรุงเส้นทางสำหรับเครือข่ายเนมดาต้า

A Design and Development of Path-convergence Mechanisms for Named Data Networking

ธงชัย เจือจันทร์¹, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์², นพรัตน์ โพธิ์สิงห์¹, สุวัฒน์ กล้วยทอง³, อภิชาติ สมรัตน์¹
Thongchai Chuachan¹, Somnuk Puangpronpitag², Nopparat Posing¹, Suwat Gluaythong³,
Apichart Somrat¹

Received: 19 May 2017; Accepted: 16 October 2017

บทคัดย่อ

เครือข่ายเนมดาต้าเป็นสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีแนวโน้มจะถูกนำไปใช้ กับการเชื่อมต่อสื่อสารที่มีความซับซ้อนในปัจจุบัน ด้วยการชี้แจงให้เกิดประเภทอินเทอร์เน็ตเรสในการค้นหาข้อมูลจากการใช้ชื่อของข้อมูล และตัวข้อมูลสามารถถูกสำรองไว้บนอุปกรณ์เครือข่ายได้ จึงทำให้การชี้แจงให้เกิดประเภทอินเทอร์เน็ตเรสมีความสำคัญสูงต่อการได้รับข้อมูลในเครือข่ายเนมดาต้า โดยในปัจจุบัน อัลกอริทึมเบสรูท ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งบนระบบทดสอบของกลุ่มวิจัยเนมดาต้า อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมเบสรูทยังมี ปัญหาหลายประการ เช่น การเลือกเส้นทางจากค่าที่ต่ำที่สุด ทำให้เปลี่ยนเส้นทางได้ไม่ทันเหตุการณ์ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึง พัฒนาการเลือกเส้นทางโดยออกแบบอัลกอริทึม Longest Prefix Reduction (LPR) ที่ช่วยให้การส่งต่อแพ็กเก็ตอินเทอร์เน็ตเรส มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แล้วพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบต่อยอดจาก Named Forwarding Daemon ผลการทดสอบพบว่า LPR ช่วยให้เครือข่ายเนมดาต้าใช้เวลาปรับปรุงเส้นทางและมีสัดส่วนการสูญหายของแพ็กเก็ตลดลงได้มากกว่าร้อยละ 90

คำสำคัญ: เครือข่ายเนมดาต้า การทดลองบนเครือข่ายจริง การปรับปรุงเส้นทาง

Abstract

Named Data Networking (NDN) is a promising candidate for future network architecture, and is well suited to today's complex networks. A named prefix of the NDN Interest-packet has been used for searching a desire data. Furthermore, such NDN data can be temporarily stored in intermediate devices without concerning for locations. So, the Interest-packet plays an important role for NDN network communication. Currently, A Best-Route algorithm has been widely used in the major NDN's network Testbed. However, the Best-Route always selects a lowest routing cost, which is unreliable in disruptive networks. In this paper, we have developed a Longest Prefix Reduction (LPR) algorithm to handle NDN path-convergence. LPR actively updates routing paths to the data, and improves several aspects to multi-path connection. We have implemented our LPR in Named Forwarding Daemon (NFD). LPR experimental results show that a network loss has been reduced approximately 90%.

Keywords: Named Data Networking, Test-bed, Path convergence

¹ อาจารย์, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. E-mail: thongchai.c@srru.ac.th, n_posing@hotmail.com, apichart@comsci.srru.ac.th

² อาจารย์, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาการสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. E-mail: {somnuk.p@msu.ac.th}

³ อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. E-mail: suwat_gl@srru.ac.th

¹ Lecturer, Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University. E-mail: thongchai.c@srru.ac.th, n_posing@hotmail.com, apichart@comsci.srru.ac.th

² Lecturer, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University. E-mail: somnuk.p@msu.ac.th

³ Lecturer, Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University. E-mail: suwat_gl@srru.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการเชื่อมต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายจะใช้โพรโทคอล TCP/IP¹ ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point และการใช้เพียงโพรโทคอล TCP/IP จะไม่สัมฤทธิ์ผลเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวนมาก จึงทำให้มีบริการกระจายเนื้อหา (Content) ไปยังแหล่งต่าง ๆ เหมาะกับการบริการแบบ Best Effort Service เช่น การใช้ Content Distribution Network (CDN)² เป็นส่วนเสริมให้การเชื่อมต่อโดยใช้โพรโทคอล TCP/IP ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ CDN ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและยังมีประเด็นปัญหาด้านความมั่นคงดัง Liang และคณะ² ได้กล่าวไว้

Named Data Networking (NDN)³ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงสถาปัตยกรรมเครือข่ายให้เหมาะกับลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายในปัจจุบัน ซึ่งเป็นแบบ Content-Distribution ที่มีการกำหนดให้แพ็กเก็ตข้อมูล (Data) มีชื่อหน้า (Prefix) กำกับ และผู้รับ Data ใช้แพ็กเก็ต Interest ส่งไปยังเครือข่ายเพื่อหา Data ที่ต้องการโดยไม่ต้องกังวลถึงแหล่งที่มา และสามารถสำรอง (Cache) ข้อมูลไว้ตามอุปกรณ์เราเตอร์ได้

ถึงแม้เครือข่าย NDN จะมีวิธีทำให้ข้อมูลมี ชื่อหน้า (Prefix) กำกับและถูกสำรองข้อมูลได้ แต่สถาปัตยกรรมเครือข่าย NDN ยังคงมีปัญหาหลายประการ และหนึ่งในปัญหาที่สำคัญคือ การปรับปรุงเส้นทางการเชื่อมต่อ ที่ต้องมีการตอบสนอง (Responsiveness) ที่ยังไม่รวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของเครือข่าย ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบและพัฒนาระบบการปรับปรุงเส้นทางและการเลือกเส้นทาง Longest Prefix Reduction (LPR) สำหรับเครือข่าย NDN ด้วยการปรับปรุง Routing Cost ของเส้นทางการเชื่อมต่อ ให้ตอบสนองต่อเส้นทางเชื่อมต่อล้มเหลวได้รวดเร็วขึ้น

ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับพัฒนาต้นแบบจากแนวคิดของงานวิจัยนี้ มีหลายกลุ่มซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการส่งต่อแพ็กเก็ตในเครือข่าย NDN เช่น Named Forwarding Daemon (NFD)⁴ และ Content Centric Network (CCN)⁵ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ NFD เป็นเครื่องมือพัฒนาต่อ ยอด เพราะ NFD เป็นซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส และเป็นต้นแบบจากกลุ่มนักวิจัยเครือข่าย NDN แล้วทำการทดลองซอฟต์แวร์ต้นแบบบนระบบเครือข่าย Testbed จากผลการทดลองพบว่า NFD จากงานวิจัยนี้ช่วยปรับปรุงเส้นทางได้รวดเร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ช่วยเพิ่มอัตราการส่งได้รับข้อมูลสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้การเชื่อมต่อในเครือข่าย NDN มีประสิทธิภาพดีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทางสำหรับเครือข่าย NDN

2. พัฒนาต่อ ยอดซอฟต์แวร์ NFD สำหรับการเลือกเส้นทางส่งต่อแพ็กเก็ตในเครือข่าย NDN

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครือข่ายเนมดาต้า

เครือข่าย Named Data Networking (NDN)³ เป็นสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่เกิดจากแนวคิดของ Jacobson⁶ หลังจากเล็งเห็นถึงรูปแบบการเชื่อมต่อสื่อสารบนอินเทอร์เน็ตที่มีปริมาณ (Volume) สูงขึ้น และรูปแบบการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงจาก Point-to-point เป็น Content Distribution หน่วยงาน National Science Foundation (NSF)⁷ จึงเสนอที่จะกำหนดสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่สนับสนุนการใช้งานในอนาคตมากขึ้น NDN เป็นหนึ่งในสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่เป็นที่ยอมรับในกลุ่มนักวิจัย

การปรับปรุงเครือข่าย NDN ดัง Figure 1 ด้านซ้ายเป็นสถาปัตยกรรม TCP/IP ซึ่งมี IP เป็นเอว (Waist) ของระบบเครือข่าย ซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างโพรโทคอลใน Layer 2 ที่ทำงานกับฮาร์ดแวร์เครือข่ายและประสิทธิภาพสูงขึ้น และชั้น TCP, UDP และแอปพลิเคชัน ที่ควบคุมการส่งแพ็กเก็ตและขยายตัวอย่างมากในระดับแอปพลิเคชัน การใช้ IP จำเป็นต้องระบุต้นทางและปลายทาง จึงทำให้ IP เป็นการส่งข้อมูลแบบ Stateless ที่ประกอบด้วยต้นทาง (Source) และปลายทาง (Destination) ในสถาปัตยกรรมเครือข่าย NDN จะให้ความสำคัญกับข้อมูล มากกว่าแหล่งของข้อมูล เช่น ต้นทาง (Source) และปลายทาง (Destination) โดยข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นก้อน Content-Chunk ซึ่ง Content-Chunk สามารถถูกกระจายนำไปเก็บสำรองไว้ได้บนอุปกรณ์เครือข่ายต่างๆ และเป็นส่วน Waist ของระบบเครือข่าย NDN ในชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปจะมีชั้น Security ซึ่งใช้สำหรับจัดการความมั่นคงให้กับข้อมูล ด้วยวิธีเข้ารหัสและชั้น Strategy เครือข่าย NDN ใช้สำหรับการวางแผนการส่งต่อแพ็กเก็ต โดย NDN ยังคงสนับสนุนฟังก์ชันของเครือข่ายหลายประเภท เช่น TCP/IP, Ethernet และอื่น ๆ เป็นต้น ทำให้ NDN ถูกนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย

ชั้น Strategy เป็นหนึ่งในส่วนสำคัญของเครือข่าย NDN ซึ่งปัจจุบันในชั้นนี้ใช้อัลกอริทึม Best-Route (BR)⁸ ในการปรับปรุงเส้นทางเพื่อค้นหา Content โดยใช้ค่า Routing Cost ด้วยการใช้อัลกอริทึม Dijkstra และการกำหนดเอง จึงทำให้การปรับปรุงเส้นทางทำได้ช้า เป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะพัฒนากลไกการปรับปรุงเส้นทางที่ช่วยให้ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของเครือข่าย NDN สูงขึ้น

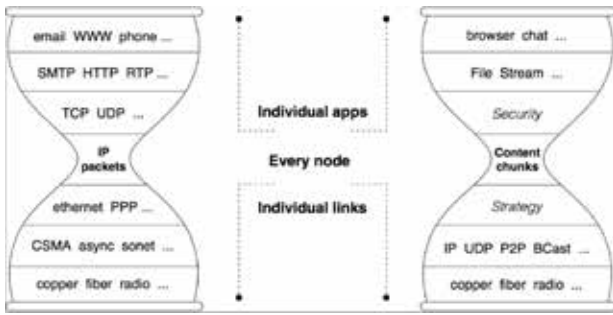


Figure 1 NDN Architecture³

การส่งต่อแพ็กเก็ตในเครือข่าย NDN

ในเครือข่าย NDN มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย เช่น CCN⁵, NFD⁴ และการพัฒนาเป็นระบบปฏิบัติการ เช่น RIOS เป็นต้น โดยทุกซอฟต์แวร์จะมีกลไกการทำงานตามกลไกใน Figure 2 ซึ่งในเครือข่าย NDN จะมีแพ็กเก็ต 2 ประเภท คือ Interest และ Data ในแพ็กเก็ต Interest ทำหน้าที่ค้นหา Data ที่ต้องการและเราเตอร์มีขั้นตอนการทำงานตามลำดับต่อไปนี้

1. เมื่อได้รับแพ็กเก็ต Interest ที่เราเตอร์จะค้นหาแพ็กเก็ต Data ที่ถูกสำรองไว้ก่อนหน้านี้ใน Content Store (CS) และถ้าหากพบ Data อยู่ใน CS ก็จะตอบกลับไปยังผู้ส่ง Interest และสิ้นสุดการทำงาน
2. หากไม่พบแพ็กเก็ต Data ใน CS ระบบจะนำ Interest ไปตรวจสอบในตาราง Pending Interest Table (PIT) ซึ่งเป็นตารางในการตรวจสอบสถานะการส่ง Interest ภายใต้ Data เดียวกันก่อนหน้านี้ ซึ่งถ้าหากมี Interest ถูกส่งออกไปก่อนหน้านี้แล้ว เราเตอร์จะเก็บ Face (Network Interface ในสถาปัตยกรรมเครือข่าย TCP/IP) ไว้ใช้ส่งแพ็กเก็ต Data กลับทาง Face ต่าง ๆ ที่มีการร้องขอ จึงทำให้เราเตอร์ไม่ส่งแพ็กเก็ต Interest ในเส้นทาง Upstream ซ้ำซ้อน
3. ในกรณีที่แพ็กเก็ต Interest ถูกนำไปตรวจสอบใน PIT แล้วไม่พบการส่ง Interest ก่อนหน้า ระบบจะตรวจสอบตาราง Forwarding Information Base (FIB) โดยค้นหา Face ที่จะส่ง Interest ออกไปยังปลายทางด้วยอัลกอริทึม Longest Prefix Match (LPM)⁸ และส่งต่อแพ็กเก็ตออกจากเราเตอร์เพื่อหา Data ต่อไป แต่ถ้าหากใช้ LPM ค้นหา Face ที่จะส่งแพ็กเก็ตไม่ได้ เราเตอร์จะแจ้งผู้ส่ง Interest ในเส้นทาง Downstream โดยใช้แพ็กเก็ต Negative ACK (NACK) เพื่อแจ้งเราเตอร์ก่อนหน้า ไม่มีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังปลายทางได้

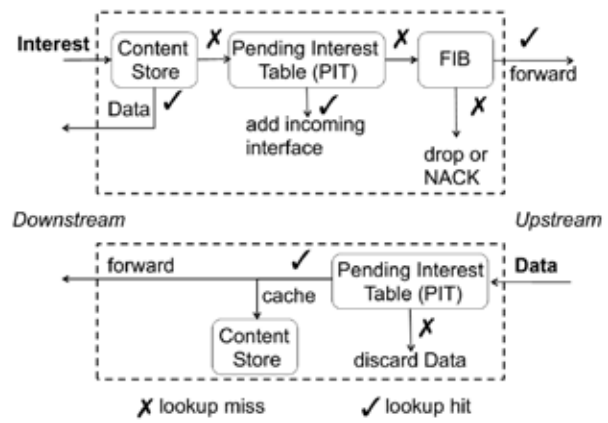


Figure 2 NDN Forwarding³

เราเตอร์ที่ได้รับแพ็กเก็ต Data แล้ว เราเตอร์จะเริ่มตรวจสอบชื่อของข้อมูล (Prefix) ที่อยู่ในแพ็กเก็ตประเภท Data ซึ่งถ้าหากยังคงมีอยู่ใน PIT ก็จะส่งแพ็กเก็ต Data ออกทางรายการ Face ที่มีการร้องขอก่อนหน้านี้ และทำการสำรอง (Cache) แพ็กเก็ต Data นั้นไว้เพื่อใช้กับร้องขอในครั้งถัดไป แต่ถ้าหากไม่พบ Prefix ของ Data ในตาราง PIT เราเตอร์จะละทิ้ง (Drop) แพ็กเก็ต Data ดังกล่าว เพราะเป็น Data แปลกปลอมในระบบ กลไกการปรับปรุงเส้นทางในเครือข่าย NDN ก่อนหน้า

อัลกอริทึมที่ใช้จัดการเส้นทางในการส่งแพ็กเก็ต Interest มีหลายอัลกอริทึม เช่น BR⁹, NCC, Broadcast และ Client Control โดย BR คือ อัลกอริทึมที่ถูกนำมาใช้ใน NFD สำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ต Interest ซึ่ง BR ทำงานหลังจากได้รับแพ็กเก็ต Interest แล้วใช้ Prefix ของ Interest ตรวจสอบใน PIT และถ้าหากพบ Prefix ใน PIT เราเตอร์จะส่งแพ็กเก็ตออกไปยัง Face ที่มีค่า Routing Cost ต่ำที่สุด แต่ถ้าหากไม่พบ แพ็กเก็ตจะถูกนำไปประมวลผลกับ Face ที่แพ็กเก็ตถูกส่งครั้งล่าสุดไม่เกิน 100 ms และมี Prefix คล้ายกันมากที่สุด

จากการใช้ BR จะเห็นว่า Routing Cost ถูกกำหนดโดยการใช้อัลกอริทึม Dijkstra คำนวณระยะทางไปยังปลายทางแบบ Multipath ตามกลไกของโพรโทคอล Named Link-State Routing (NLSR)¹⁰ แต่การกำหนด Routing Cost ด้วยวิธีดังกล่าวถูกกำหนดแบบถาวร ทำให้การใช้อัลกอริทึม BR เลือกส่งแพ็กเก็ตผ่านทาง Face ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น เส้นทางที่เชื่อมต่อล้มเหลว เป็นต้น อัลกอริทึม BR จึงยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้กับเครือข่าย NDN ที่หลากหลาย จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะออกแบบและพัฒนาการปรับปรุงการปรับปรุงเส้นทางแบบอัตโนมัติ และทันต่อสถานการณ์การเปลี่ยนทางเครือข่ายได้ ซอฟต์แวร์ Named Forwarding Daemon

ซอฟต์แวร์ Named Forwarding Daemon (NFD)⁴

ถูกพัฒนาเป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลแพ็กเก็ต Interest และ Data บนอุปกรณ์เราเตอร์ในเครือข่าย NDN โดย NFD มีโครงสร้างดัง Figure 3 ทำหน้าที่เป็น Multiplexer ระหว่างเราเตอร์ ประกอบด้วยส่วน Forwarder ทำหน้าที่จัดการวางแผนการส่งต่อแพ็กเก็ต โดยใช้โมดูล Strategies และเป็นส่วนติดต่อกับระหว่างระบบ Face (Face System) ระบบ CS, PIT และ FIB เป็นต้น ในส่วนของ Face System นั้น จะจัดการวิธีการ Multiplex ซึ่งปัจจุบันสามารถทำงานได้บนเครือข่าย Ethernet และการวางซ้อน (Overlay) อยู่บน TCP และ UDP ได้ เมื่อ Forwarder ได้รับ Prefix ของแพ็กเก็ตที่จะส่งไปยังปลายทางแล้ว Forwarder จะส่งแพ็กเก็ตที่มี Prefix ดังกล่าวสู่ระบบ Face System และส่งไปยังปลายทางผ่านช่องทางต่าง ๆ ต่อไป ใน Forwarder ยังเชื่อมกับระบบ CS, PIT และ FIB ตามสถาปัตยกรรมเครือข่าย NDN ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งจัดการโดยใช้ไลบรารี ndn-cxx และเป็นไลบรารีสำคัญสำหรับ NFD ในการประมวลผลแพ็กเก็ต Interest และ Data

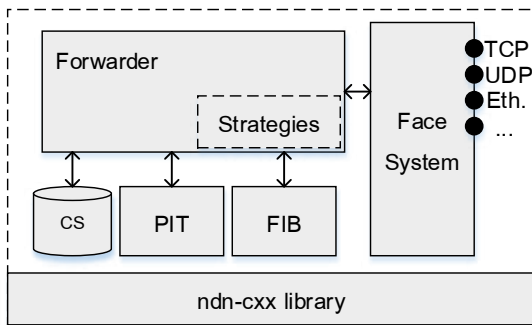


Figure 3 NFD Components

การออกแบบและพัฒนา LPR

อัลกอริทึม Longest Prefix Reduction

อัลกอริทึม Longest Prefix Reduction (LPR) ของงานวิจัยนี้ มีแนวคิดที่จะปรับปรุงวิธีการจัดการ Routing Cost ร่วมกับการจัดการ Prefix ของแพ็กเก็ต Interest ในการเลือกเส้นทางการเชื่อมต่อในเครือข่าย NDN โดยได้เพิ่มขั้นตอนการประมวลผลแพ็กเก็ต Interest ในเราเตอร์ดังนี้

1. เมื่อ LPR ได้รับแพ็กเก็ต Interest จะเลือก Face ที่ใช้ส่งต่อแพ็กเก็ตไปที่ Upstream จาก Face (F_{out}) ที่มี C ต่ำที่สุด และ Prefix ตรงกันยาวที่สุด ด้วยการใช้อัลกอริทึม Longest PrefixMatch ที่อยู่ใน NFD
2. เมื่อ F_{out} เกิด Timeout LPR จะเลือก Face ถัดไปที่มี C ต่ำสุดรองลงมาจนครบทุก Face ที่ใช้งานอยู่
3. หากทุก Face ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ LPR จะลด Prefix ของชื่อ Data ในตาราง FIB ลดลงครั้งละ 1 เช่น

Prefix ในแพ็กเก็ต Interest ชื่อ /ndn/th/ac/srru/data/01 และใน FIB ของเราเตอร์มี Prefix ชื่อ /ndn/th/ac/srru/data ซึ่งตรงกันใน Face ที่ i (F_i) และเชื่อมต่อไม่ได้ LPR จะลดชื่อ Prefix ในแพ็กเก็ต Interest ให้เหลือ /ndn/th/ac/srru/data แล้วค้นหา Face ที่สนับสนุนการส่ง Interest ใหม่ตามขั้นตอนที่ 1 และ 2

การพัฒนาและทดลองโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนาส่วนประมวลผลแพ็กเก็ต Interest

การพัฒนาต้นแบบจากแนวคิดของ LPR ได้พัฒนาและนำมารวมกับซอฟต์แวร์ NFD โดยเพิ่มฟังก์ชันการประมวลผลแพ็กเก็ต Interest ดังแสดงใน Figure 4 ตามขั้นตอนดังนี้

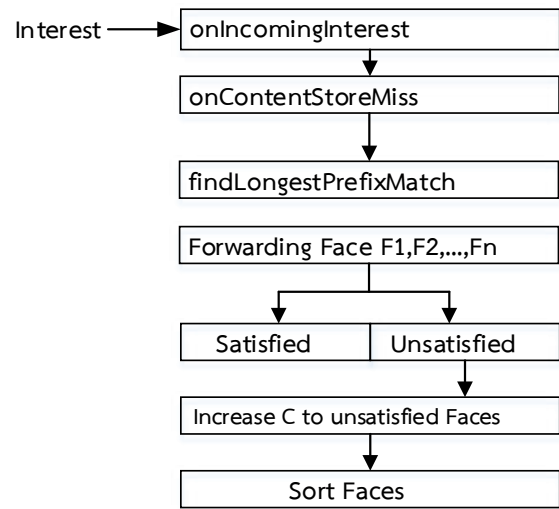


Figure 4 Interest processing for LPR algorithm

1. เมื่อเราเตอร์ได้รับแพ็กเก็ต Interest ผ่านทาง Face ที่ $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ หลังจาก De-multiplex แล้วแพ็กเก็ตถูกส่งเข้าไปยังฟังก์ชัน onIncomingInterest ซึ่งภายใน onIncomingInterest จะมีการตรวจสอบตามขั้นตอนของสถาปัตยกรรม NDN แต่ถ้าหากไม่ได้รับ Data ระบบจะแจ้งเตือนไปยังฟังก์ชัน onContentStoreMiss จากนั้นจะเข้าสู่การเลือกเส้นทางเลือก Face ที่จะส่งแพ็กเก็ต Interest สู่อุปกรณ์ Upstream
2. ค้นหา Face ที่สามารถส่งแพ็กเก็ต Interest ได้จาก Face ที่มี Prefix ตรงกับ Prefix ในแพ็กเก็ต Interest มากที่สุดด้วยฟังก์ชัน findLongestPrefixMatch หลังจากได้รายการ $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ ที่สนับสนุน การส่งแพ็กเก็ตแล้ว จากนั้นเลือก Face ที่มี Routing Cost (C) ต่ำที่สุด (F_{low}) แล้วส่งแพ็กเก็ต Interest ผ่าน F_{low} ดังกล่าว
3. เมื่อเกิด Timeout ทาง F_{low} ที่มีการส่ง Interest ออกไปแล้ว NFD จะแจ้งผลไปยังส่วนของ Unsatisfied และ

เพิ่ม C ขึ้นครั้งละ 1 ทาง F_{low} ก่อนที่จะทำการเรียง Face ทั้งหมดใหม่ โดยให้เรียงจากน้อยไปหามาก แล้วลด Prefix สดุดท้ายลงทีละ 1 ตามอัลกอริทึม LPR ก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตเกิด Interest ใหม่ (Retransmission) ทาง Face ใหม่ที่มี C ต่ำที่สุด การพัฒนาส่วนประมวลผลแพ็กเก็ตเกิด Data

เมื่อเราเตอร์ได้รับแพ็กเก็ตเกิด Data หมายถึง Face ดังกล่าวสามารถเชื่อมต่อได้ ดังนั้นใน Face ที่มีสัดส่วนการส่ง Data จาก Downstream สูงจึงมีโอกาที่การส่ง Interest จะได้รับ Data สูง ในอัลกอริทึม LPR จึงมีการปรับปรุง Routing Cost (C) ตามขั้นตอนใน Figure 5

เมื่อเราเตอร์ได้รับแพ็กเก็ตเกิด Data ระบบจะนำเข้าสู่ฟังก์ชัน onIncomingData แล้วจึงลด C ให้กับ Face ที่ได้รับ Data จากนั้นใช้ฟังก์ชัน getNextHops จะได้รับ Face $F_1, F_2, F_3, \dots, F_i$ ที่มี Prefix เดียวกับ Data ที่ได้รับก่อนที่ลด C ตั้งแต่ $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ ให้กับทุก Face ที่มี Prefix เดียวกัน เพื่อบำรุงระยะห่างของ C ในแต่ละ Face ไม่ให้มีความต่างกันสูงเกินไป และไม่ทำให้ C สูงขึ้นแบบไม่สิ้นสุดจากขั้นตอนการจัดการ C ในส่วนของการประมวลผลแพ็กเก็ตเกิด Interest

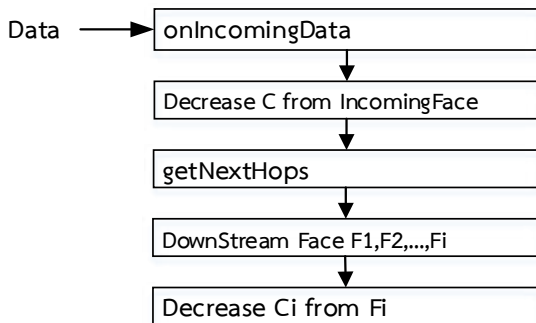


Figure 5 Data processing for LPR algorithm

วิธีการทดลอง

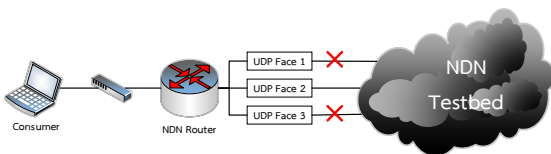


Figure 6 an evaluation scenario

Figure 6 คือ แผนผังการทดลองเพื่อทดสอบอัลกอริทึม BR กับ LPR โดยที่การทดลองครั้งนี้ติดตั้ง NFD รุ่น 0.4.1 เชื่อมต่อกันโดยใช้สับเน็ต 192.168.6.0/24 และใช้ Face ประเภท UDP ทั้งหมด และใช้ซอฟต์แวร์ VirtualBox สร้าง Virtual Machine (VM) ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ CentOS รุ่น 7 มีหน่วยประมวลผล 1 แกน RAM 1024Gb ฮาร์ดดิสก์ 20Gb และกำหนดเครือข่ายแบบ Bridge

เครื่อง Consumer กำหนดให้เชื่อมต่อไปยัง NDN Router ผ่านทาง UDP Face โดยกำหนด Prefix ชื่อ /ndn ให้กับ FIB ซึ่งจะทำให้ทุกแพ็กเก็ตถูกส่งไปยัง NDN Router ขณะเดียวกันเครื่อง NDN Router ก็ใช้ UDP Face เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ NDN Testbed ตาม Figure 7 ผ่านทางโหนด SRRU และทั้ง 3 Face ของ NDN Router มีค่า Routing Cost เท่ากับ 0 และกำหนด Prefix ที่เชื่อมเข้าสู่โหนด SRRU คือ /ndn เมื่อเชื่อมเข้าสู่โหนด SRRU แล้ว ทำการตัดการเชื่อมต่อของ Face ที่ 1 และ Face ที่ 3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ Convergence Time เมื่อมีเส้นทางการเชื่อมต่อมีความขัดข้อง



Figure 7 NDN Testbed

ที่เครื่อง Consumer ใช้ซอฟต์แวร์ ndnping ทดสอบเชื่อมต่อไปยังโหนดต่างๆ ตาม Prefix ใน Table 1 แล้วประเมินค่า Convergence Time และ Lost Rate ของการใช้อัลกอริทึม BR และ LPR ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ผล โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดให้การประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลใช้ช่วงความเชื่อมั่น 95%

แต่ละ Prefix จาก Table 1 ในการทดสอบ Convergence Time แต่ละโหนดถูกส่งแพ็กเก็ตจำนวน 30 ครั้ง สำหรับการตรวจสอบ Loss Rate การเชื่อมต่อไปยังปลายทางจะใช้จำนวนครั้งต่างกัน 3 แบบ คือ 10, 50 และ 100 ครั้งตามลำดับ เพื่อสังเกตประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของเครื่องทดสอบ และการส่งแพ็กเก็ตแต่ละครั้งจะมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์ในระดับเครือข่ายท้องถิ่น ที่ประกอบด้วย ช่องแบนด์วิดท์ 100Mbps และไม่ให้เกิดภายนอกระบบ Testbed ในเครือข่ายท้องถิ่นของงานวิจัยนี้

Table 1 Testbed Prefixes

/ndn/br/ufpa	/ndn/ch/unibas
/ndn/de/uni-goettingen	/ndn/edu/arizona
/ndn/edu/byu	/ndn/edu/colostate
/ndn/edu/illinois	/ndn/edu/memphis
/ndn/edu/neu	/ndn/edu/uci
/ndn/edu/ucla	/ndn/edu/ucla/remap
/ndn/edu/wustl	/ndn/es/urjc
/ndn/fr/lip6	/ndn/gov/nist
/ndn/it/unipd	/ndn/jp/ac/osaka-u
/ndn/kr/anyang	/ndn/kr/re/kisti
/ndn/no/ntnu	/ndn/pt/ulusofona/copelabs
/ndn/pt/uminho	/ndn/cn/edu/tongji
/ndn/id/ac/ui	/ndn/nl/tno
/ndn/org/caida	/ndn/com/orange
/ndn/edu/umich	/ndn/th/ac/srru

ผลการประเมิน NFD

ผลการประเมิน Convergence Time

ในการประเมินผลค่า Convergence Time ระหว่างการใช้อัลกอริทึม BR และ LPR โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ LPR ที่ช่วยให้ Convergence Time ต่ำกว่าการใช้ BR ซึ่งผลการทดลองใน Figure 8 เป็น Convergence Time ของอัลกอริทึม LPR โดยในแกน x คือ โหนดทดสอบมีทั้งสิ้น 30 โหนด และแกน y คือ Convergence Time

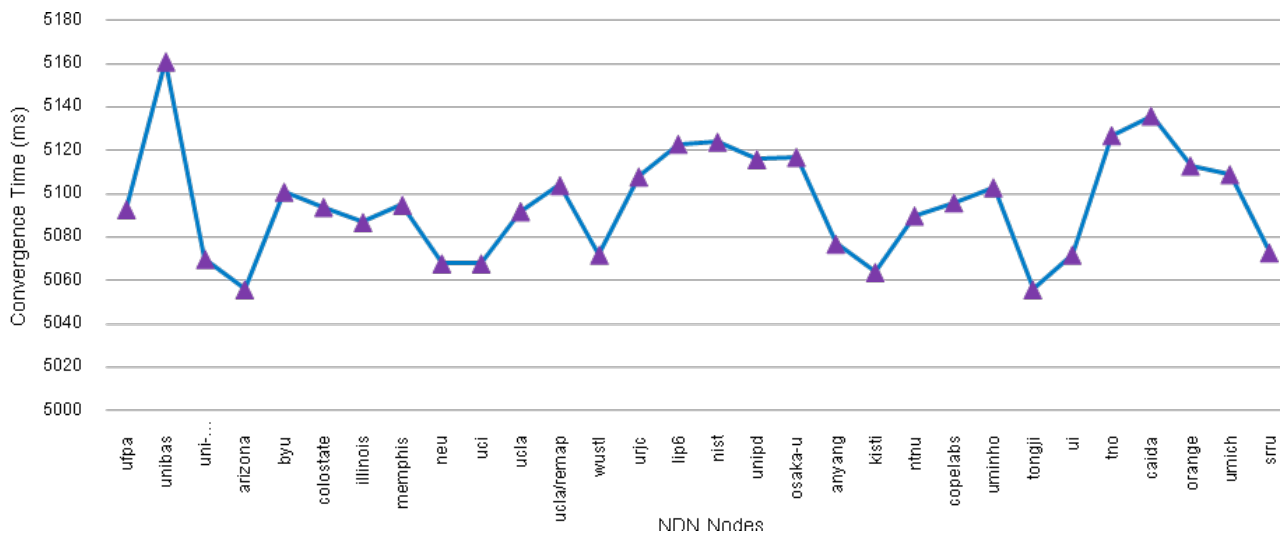


Figure 8 LPR Convergence Time

ที่เกิดขึ้นหลังจากมีการปรับปรุงเส้นทางในหน่วยมิลลิวินาที ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากซอฟต์แวร์ ndnping และ LPR มี Convergence Time โดยรวมอยู่ระหว่าง 5095.5±9.04 ms แตกต่างจากการใช้ BR ซึ่งไม่สามารถเชื่อมต่อกับปลายทางได้ จึงเกิด Timeout และไม่มีผลการปรับปรุงเส้นทางแต่อย่างใด

ผลการประเมิน Loss Rate

Loss Rate เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประสิทธิภาพและประสิทธิภาพผลให้การส่งต่อแพ็กเก็ตได้ในปริมาณที่สูงขึ้น ผลที่เกิดจากการประเมินระหว่างการใช้อัลกอริทึม BR และ LPR แสดงใน Figure 9 ในแกน x คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งไปยังปลายทาง และแกน y คือสัดส่วนร้อยละของ Loss Rate จากผลการทดลองพบว่าการใช้อัลกอริทึม BR เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตร้อยละ 100 เพราะการตอบสนองต่อปัญหาการเชื่อมต่อมีความล่าช้า และอัลกอริทึม BR ไม่เลือกเส้นทางใหม่ จนกว่าจะได้รับแพ็กเก็ตประเภท NACK และลบเส้นทางดังกล่าวออกจาก FIB แต่ในการทดลองบนระบบ Testbed ในงานวิจัยนี้ 1) แพ็กเก็ต NACK ไม่ถูกส่งกลับมายัง Consumer เพราะ NDN Router มีตาราง FIB และตาราง PIT ซึ่งรอการเกิด Timeout และถูกอัปเดตด้วยแพ็กเก็ต Interest อย่างต่อเนื่อง 2) การปรับค่า Cost ของอัลกอริทึม BR ถูกกำหนดเองโดยผู้ดูแลระบบทำให้ BR ต้องเลือกเส้นทางเดิมอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้จะไม่สามารถเชื่อมต่อได้ จึงทำให้การส่งแพ็กเก็ตจำนวน 10, 50 และ 100 ไปยัง Testbed ไม่สามารถทำได้ แต่เมื่อปรับเปลี่ยนมาใช้อัลกอริทึม LPR จะเห็นว่าเมื่อส่งแพ็กเก็ตจำนวน 10 แพ็กเก็ตจะมี Loss Rate อยู่ที่ร้อยละ 2.08±4.0 เมื่อ

เพิ่มจำนวนแพ็กเก็ตเป็น 50 แพ็กเก็ต Loss Rate มีสัดส่วนลดลงเหลือร้อยละ 1.67 ± 1.78 และในกรณีที่ส่งแพ็กเก็ตจำนวน 100 แพ็กเก็ต Loss Rate ต่ำลงเหลือร้อยละ 0.9 ± 1.10 จากผลการทดลองนี้แสดงถึงอัลกอริทึม LPR สามารถที่จะปรับปรุง Routing Cost และช่วยให้ NFD สามารถเลือกเส้นทางส่งแพ็กเก็ต Interest ทาง Face ที่ใช้งานได้จริงได้อย่างรวดเร็ว และช่วยเพิ่มทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลการเชื่อมต่อสื่อสารในเครือข่าย NDN ได้

ผลการประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรจากงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการใช้ CPU และ RAM โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีระหว่างการทดลอง จำนวน 30 ครั้ง พบว่า อัตราการจัดการ Memory ใน

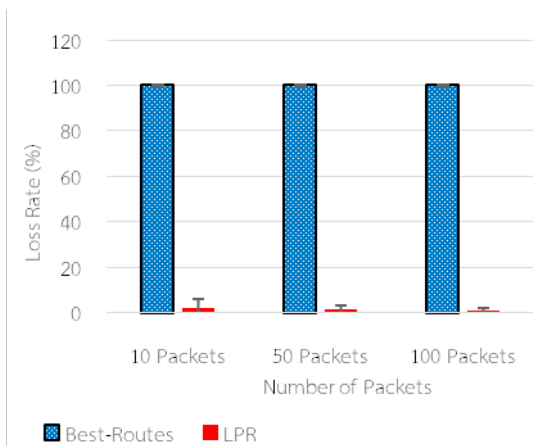


Figure 9 Loss Rate of Best-Route and LPR

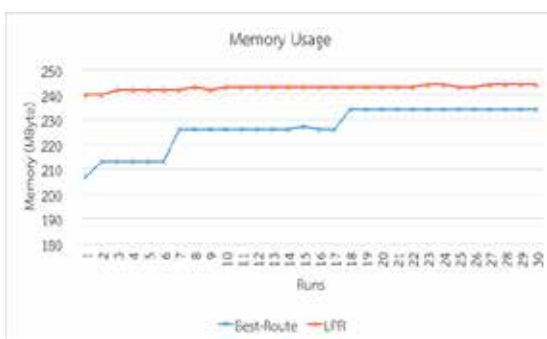


Figure 10 Memory Load

Figure 10 จะเห็นว่าอัลกอริทึม LPR มีอัตราการใช้ Memory สูงกว่าการใช้อัลกอริทึม BR ซึ่งเกิดจากการเพิ่มฟังก์ชันการปรับปรุง Routing Cost และการลด Prefix เพื่อค้นหาเส้นทางในเครือข่าย NDN แต่การใช้ Memory ของอัลกอริทึม LPR ค่อนข้างอยู่ในระดับคงที่ และสูงกว่าการใช้อัลกอริทึม BR เพียงเล็กน้อย

สำหรับในเป็นร้อยละ CPU คงเหลือหลังจากใช้ NFD ที่เปิดใช้งานอัลกอริทึม BR และ LPR ซึ่งในแกน x แสดงอัลกอริทึมที่ใช้ และในแกน y คือ ร้อยละของ CPU คงเหลือ โดยผลจากการทดลองเห็นได้ชัดว่าการใช้ NFD ที่มีอัลกอริทึม BR และ LPR มีอัตรา CPU คงเหลืออยู่ในระดับเดียวกันคือมากกว่าร้อยละ 99 ดังนั้น BR และ LPR ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของการใช้ CPU

สรุปและอภิปรายผล

สถาปัตยกรรมเครือข่าย NDN ถูกสร้างเพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้ในยุคที่ Content สำคัญสำหรับแอปพลิเคชันในเครือข่าย NDN จึงใช้ Named Prefix เป็นเครื่องมือในการรับ Content โดยใช้แพ็กเก็ต Interest และ Data การใช้ Named Prefix เป็นเครื่องมือในการรับแพ็กเก็ตช่วยให้ NDN เชื่อมต่อเครือข่ายได้แบบ Multipath โดยในปัจจุบัน NDN ใช้อัลกอริทึม BR และมีการตัดสินใจด้วยการใช้ Routing Cost ซึ่งยังมีปัญหาหลายด้าน เช่น ตอบสนองต่อการเลือกเส้นทางที่เชื่อมต่อล้มเหลวล่าช้า งานวิจัยนี้จึงพัฒนาอัลกอริทึม LPR ช่วยปรับปรุงเส้นทางเลือกเส้นทางส่งแพ็กเก็ตให้สนับสนุนการส่งแพ็กเก็ตแบบ Multipath ได้ดีขึ้น โดยได้จัดการวิธีส่งแพ็กเก็ต Interest จากการปรับปรุงวิธีกำหนด Routing Cost แบบยืดหยุ่น

งานวิจัยนี้ได้้นำแนวคิดพัฒนาต่อยอดในซอฟต์แวร์ NFD ทดสอบบนระบบ NDN Testbed และผลการทดลองแสดงถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลการปรับปรุงเส้นทางส่งแพ็กเก็ต Interest ซึ่งช่วยให้ LPR มี Lost Rate ต่ำว่าการใช้ BR มากกว่าร้อยละ 90 ได้

เอกสารอ้างอิง

- Socolofsky T, Kale C. A TCP/IP Tutorial. IETF; 1991 Jan. Report No.: 1991.
- Liang J, Jiang J, Duan H, Li K, Wan T, Wu J. When HTTPS Meets CDN: A Case of Authentication in Delegated Service. In Washington, DC, USA; 2014. p. 67–82.
- Zhang L, Afanasyev A, Burke J, Jacobson V, claffy kc, Crowley P, et al. Named Data Networking. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2014 Jul;44(3):66–73.
- Afanasyev A, Shi J. Named Data Networking Forwarding Daemon [Internet]. 2016 [cited 2016 Apr 9]. Available from: <http://redmine.named-data.net/projects/nfd>

5. Jacobson V, Smetters D, Thornton J, Plass M, Briggs N, Braynard R. Networking Named Content. *Communication of the ACM*. 2012 Jan;55(1):117–24.
6. Jacobson V. A New Way to look at Networking [Internet]. 2006 [cited 2014 May 1]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=8Z685OF-PS8>
7. Cruikshank D. NSF Future Internet Architecture Project [Internet]. 2010 [cited 2015 Jun 30]. Available from: <http://www.nets-fia.net/>
8. Afanasyev et al A. NFD Developer's Guide. University of California, Los Angeles; 2014 Aug. Report No.: NDN-0021. p. 1-60.
9. Shi J. Best Route Strategy version 2: recognize consumer retransmission [Internet]. 2014 [cited 2015 Aug 1]. Available from: <https://redmine.named-data.net/issues/1871>
10. Hoque M, Syed A, Alyyan A, Zhang B, Zhang L, Wang L. NLSR: Named-data Link State Routing Protocol. In Hong Kong, China; 2013. p. 15–20.

การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยพิจารณาถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยว Semantic Web Services Selection by Considering the Quality of Service for tourism

เอกชัย แน่นอุดร¹, ศุภกฤษฎี นีวัฒนากุล²

Ekkachai Naenudorn¹, Suphakit Niwattanakul²

Received: 12 July 2017; Accepted: 16 October 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยคำนึงถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยว และเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคนิคในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาถึงคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิส ได้แก่ เวลาตอบสนอง สภาพความพร้อม ความเสถียรภาพ ค่าบริการ และความสำเร็จในการนำส่งข้อมูล กระบวนการในการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย การสร้างฐานความรู้ออนโทโลยีของเว็บเซอร์วิสในโดเมนด้านการท่องเที่ยว การจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสโดยใช้หลักการทำให้เหมือน ข้อมูลและเปรียบเทียบเทคนิคในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส การวัดความคล้ายคลึงกันของเว็บเซอร์วิส การคำนวณหาค่าคะแนนคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิส การสืบค้นเว็บเซอร์วิสโดยใช้วิธีการถ่วงค่าน้ำหนักของคำ และการค้นหาเว็บเซอร์วิสที่ผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขและค่าน้ำหนักให้กับปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ ได้ วิธีการทั้งหมดนี้จะทำให้การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายมีประสิทธิภาพ และผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาเว็บเซอร์วิสผู้ใช้จะได้รับเว็บเซอร์วิสที่มีคุณภาพและตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด

ผลการประเมินผลและวัดประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการทำให้เหมือนข้อมูลในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส พบว่าเทคนิควิธีที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงที่สุดคือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 96.07% รองลงมาคือเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าเท่ากับ 84.46% เทคนิควิธีเคเนียร์เรสต์เนเบอร์ มีค่าเท่ากับ 84.29% เทคนิควิธีเอนีฟเบย์ มีค่าเท่ากับ 75.18% และเทคนิควิธีเคมีนัส มีค่าเท่ากับ 64.47% ตามลำดับ

ผลการประเมินผลและวัดประสิทธิภาพของระบบสืบค้นข้อมูลเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายตามคุณภาพการให้บริการสำหรับการท่องเที่ยว พบว่าผลการประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบสืบค้น ให้ค่าความแม่นยำ (Precision) เท่ากับ 0.84 ค่าความระลึก (Recall) เท่ากับ 0.80 ค่าเอฟเมเชอร์ (F-measure) เท่ากับ 0.82 และค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 0.93 และผลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ไดนามิกเกณฑ์ ให้ค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.57 ค่าความระลึกเท่ากับ 1.00 ค่าเอฟเมเชอร์เท่ากับ 0.67 และค่าความถูกต้องเท่ากับ 0.93

คำสำคัญ: การคัดเลือกเว็บเซอร์วิส การค้นหาข้อมูลเชิงความหมาย คุณภาพการบริการ การจำแนกหมวดหมู่

Abstract

This research aims to design and develop a QoS-aware semantic web services selection model for tourism as well as to compare the techniques used to classify web services related to tourism services. The factors used to determine service quality of web services are: response time, availability, reliability, cost, and throughput. The research processes include creating an ontology knowledge base for web services in the tourism domain, web services

¹ นักศึกษาปริญญาเอกหลักสูตรวิทยาการสารสนเทศศษญีบัณฑิต สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹ Doctoral Student, Doctor of Information Science in Information Technology, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology.

² Assistant professor, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology.

* Corresponding author: e-mail address : ekkachai.n@mbs.msu.ac.th

classification using data mining principles and techniques, measuring the similarity of web services, calculating web services quality scores, using the term weighting method and searching web services where users can define terms and weight values for various quality factors. All of these methods will make the selection of semantic web services effective and the results of web service searches will enable users to get the best quality of the web service that truly meets their needs.

Evaluation results and performance measurements using data mining methods for web services classification found that the best technique was Decision Tree which achieved 96.07% accuracy, followed by 84.46% Support Vector Machine technique, 84.29% k-Nearest Neighbor technique, 75.18% Naive Bayes technique and 64.47% K-means technique, respectively.

The results of the evaluation and measurement of the effectiveness of the search systems for semantic web services according to the quality of service for tourism were that, by comparing between expert and search systems, precision was 0.84, recall was 0.80, F-measure was 0.82, and Accuracy was 0.93. The performance evaluation using dynamic criteria for precision was 0.57, recall was 1.00, F-measure was 0.67 and Accuracy was 0.93.

Keywords: Web services selection, Semantic search, Quality of Service (QoS), Classification.

บทนำ

องค์การการท่องเที่ยวโลกแห่งสหประชาชาติหรือ UNWTO (United Nations World Tourism Organization) ได้คาดการณ์ว่าอนาคตการท่องเที่ยวโลกไปจนถึงปี ค.ศ. 2030 จะเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 เป็นต้นมา จำนวนนักท่องเที่ยวทั่วโลกที่คาดการณ์ไว้ค่อนข้างเป็นไปตามเป้าหมายและในอนาคตจำนวนนักท่องเที่ยวระหว่างประเทศจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยปีละ 43 ล้านคน²⁴ เมื่อการท่องเที่ยวโลกมีแนวโน้มเติบโตมากขึ้นในอนาคต ทำให้มีความต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวมากขึ้นตามไปด้วย เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ตำแหน่งที่ตั้ง ที่พัก และข้อมูลเกี่ยวกับระบบคมนาคม เป็นต้น ดังนั้นการนำเสนอข้อมูลด้านการท่องเที่ยวที่มีความถูกต้อง ทันสมัย และรวดเร็วจึงมีความสำคัญ ส่งผลทำให้บุคคลทั่วไปสนใจการท่องเที่ยวมากขึ้นและทำให้เศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยวของโลกเติบโตขึ้น

การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวบนเว็บไซต์สามารถแบ่งตามยุคของเว็บได้เป็น 4 ยุค¹⁹ ดังนี้

เว็บในยุคที่ 1 เป็นยุคที่เรียกว่าสแตติกเว็บ (Static Web) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเทคโนโลยีเว็บเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1994 โดยผู้เริ่มต้นคือ ทิม เบอร์เนิร์ส-ลี (Tim Berners-Lee) ได้ก่อตั้งองค์กรเว็บไซต์สากลขึ้น (World Wide Web Consortium: W3C) เพื่อสร้างมาตรฐานและข้อเสนอแนะสำหรับใช้เป็นหลักในการพัฒนาคุณภาพของเว็บไซต์ การนำเสนอข้อมูลบนเว็บไซต์ในยุคนี้ใช้ภาษาหลักในการพัฒนาเว็บไซต์คือภาษาเอชทีเอ็มแอล (Hyper Text Markup Language: HTML) เป็นการออกแบบเว็บไซต์ที่มีการนำเสนอข้อมูลแบบตายตัวเหมาะกับการนำเสนอข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยนัก

การจัดการเนื้อหาทำได้ไม่ค่อยสะดวก

เว็บในยุคที่ 2 เป็นยุคที่เรียกว่าไดนามิกเว็บ (Dynamic Web) ยุคที่สร้างเว็บแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอข้อมูลด้านการท่องเที่ยว ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับเว็บไซต์ได้ เช่น การโพสต์ข้อความ ในยุคนี้ข้อมูลมักถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลทำให้การจัดการข้อมูลทำได้สะดวก มีระบบจัดการข้อมูลหลังร้าน (Back Office) แต่ผู้ดูแลระบบจะต้องเตรียมข้อมูลเองและปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวบนเว็บไซต์ในยุคนี้ใช้ภาษาสคริปต์ในการพัฒนา เช่น PHP, ASP, JSP, Javascript เป็นต้น ส่วนฐานข้อมูลที่นิยมใช้ เช่น Oracle, Microsoft SQL Server, MySQL, PostgreSQL เป็นต้น

เว็บในยุคที่ 3 เป็นยุคที่เรียกว่าเว็บเซอร์วิส (Web Service)²⁸ เป็นการพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเรียกใช้บริการเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการข้อมูลด้านการท่องเที่ยว เว็บเซอร์วิสเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้โปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานทางด้านภาษาและสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน สามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้โดยใช้ภาษาเอ็กซ์เอ็มแอล (Extensible Markup Language: XML) เป็นภาษากลางในการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยอาศัยโพรโทคอลเอชทีทีพี (Hypertext Transfer Protocol: HTTP) และใช้ร่วมกับมาตรฐานเกี่ยวกับเว็บอื่น ๆ เว็บเซอร์วิสใช้ภาษาดับเบิลยูเอสดีแอล (Web Services Description Language: WSDL) ในการอธิบายถึงรูปแบบการบริการข้อมูล การใช้งานเว็บเซอร์วิสปัจจุบันอาจอยู่ในรูปแบบของโซฟ (Simple Object Access Protocol: SOAP) ตามแบบมาตรฐานแบบดั้งเดิมหรือตามแนวทางแบบเรสท์ (Representational State Transfer:

REST) ที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวบนเว็บไซต์ หลายองค์กรเลือกที่จะใช้ข้อมูลด้านการท่องเที่ยวที่ได้รับจากการให้บริการของผู้ให้บริการเว็บเซอร์วิสซึ่งมีความเป็นมืออาชีพและมีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ทำให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและทันสมัย ซึ่งบางบริการฟรีแต่บางบริการมีการเก็บค่าธรรมเนียมในการใช้บริการ

เว็บในยุคที่ 4 ของการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวบนเว็บไซต์ เป็นยุคที่เรียกว่าซีแมนติกเว็บ (Semantic Web) หรือเว็บเชิงความหมาย^{11,26} เป็นพัฒนาการของเวปไซด์ไวต์เว็บที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลและการบริการบนเว็บไซต์ในการสร้างความเป็นไปได้ที่เว็บไซต์จะสามารถเข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้ เว็บเชิงความหมายเป็นวิธีการที่จะทำให้คอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันสามารถเข้าใจข้อมูลที่สอดคล้องกับความเข้าใจของมนุษย์ สามารถเข้าใจความหมายของคำและแนวความคิดที่รวบรวมเกี่ยวกับคำในขอบเขตของความรู้ที่ต้องการตามที่ผู้พัฒนาได้กำหนดไว้โดยเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบมีโครงสร้าง เว็บเชิงความหมายจึงเป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการค้นคืนสารสนเทศ (Information Retrieval: IR) ในรูปแบบที่เรียกว่าการค้นหาเชิงความหมาย (Semantic Search) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาทรัพยากรสารสนเทศที่ต้องการจากคลังสารสนเทศภายใต้เงื่อนไขหรือกระบวนการคัดเลือกที่ผู้ใช้ต้องการ ทำให้สามารถค้นหาข้อมูลได้ถูกต้องครอบคลุมถึงข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงความหมายและได้ข้อมูลที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น

จากข้อมูลการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวบนเว็บไซต์ทั้ง 4 ยุค สรุปได้ว่าเทคโนโลยีเว็บเซอร์วิสและการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมายมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยว เทคโนโลยีเว็บเซอร์วิสทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่ไม่จำกัดแพลตฟอร์มเพื่อเรียกใช้เว็บเซอร์วิสจากผู้ให้บริการที่เป็นมืออาชีพและมีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ทำให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและทันสมัย ส่วนการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมายจะทำให้ผู้ใช้สามารถค้นหาเว็บเซอร์วิสได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น

การค้นหาเว็บเซอร์วิสในปัจจุบันผู้ใช้สามารถค้นหาได้จากยูดีดีไอริจิสตรี (UDDI registry) ฟังก์ชันการทำงานของแต่ละเว็บเซอร์วิสถูกประกาศไว้ในไฟล์ดับเบิลยูเอสดีแอล ซึ่งผู้ให้บริการได้ประกาศไว้บนยูดีดีไอริจิสตรี ลักษณะของการค้นหาเว็บเซอร์วิสเป็นการใช้คำสำคัญในการค้นหา โดยการนำคำสำคัญไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเอกสารเว็บเซอร์วิสที่เก็บในฐานข้อมูล (Keyword Matching) ผลลัพธ์ที่ได้จะพบเฉพาะ

รายการที่มีคำสำคัญตรงกันซึ่งอาจไม่ถูกต้องและครบถ้วน เพราะบางเว็บเซอร์วิสอาจมีความสัมพันธ์กันถึงแม้ว่าเว็บเซอร์วิสนั้นอาจจะไม่มีคำสำคัญนั้นปรากฏในเอกสารเว็บเซอร์วิสเลยก็ตาม ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้เรียกว่า ความสัมพันธ์เชิงความหมาย ดังนั้นการสืบค้นเชิงความหมายจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การค้นหาข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพราะสามารถเข้าใจความหมายที่แท้จริงของเอกสาร

เว็บเซอร์วิสที่ให้บริการข้อมูลด้านการท่องเที่ยวได้รับความสนใจจากผู้ใช้มากขึ้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเกิดขึ้นหลายงานแต่ยังมีหลายประเด็นที่ควรปรับปรุงเพื่อให้การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยจึงสรุปประเด็นปัญหาที่สำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายได้ดังนี้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสส่วนใหญ่จะพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส แต่ไม่ได้มุ่งเน้นการนำเสนอเว็บเซอร์วิสที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้^{2,4,14,32}

2. การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสจะพิจารณาคัดเลือกเว็บเซอร์วิสทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ทำให้กระบวนการในการคัดเลือกใช้เวลานาน ซึ่งความเป็นจริงแล้วเว็บเซอร์วิสนั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นก่อนทำการพิจารณาคัดเลือกด้วยเกณฑ์หรือเทคนิควิธีต่าง ๆ ควรจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสเพื่อให้การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสมีประสิทธิภาพมากขึ้น^{5,30,31}

3. ลักษณะของการค้นหาเว็บเซอร์วิสในปัจจุบันจะใช้คำสำคัญจากผู้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเอกสารเว็บเซอร์วิส (Keyword Matching) ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่ถูกต้องและครบถ้วน^{15,21,22}

4. เว็บเซอร์วิสที่มีให้บริการบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันมีจำนวนมากและหลากหลายกลุ่มบริการ จะทราบได้อย่างไรว่าเว็บเซอร์วิสใดในแต่ละกลุ่มบริการมีคุณภาพการบริการดีที่สุด หรือในกรณีที่บางเว็บเซอร์วิสใช้งานไม่ได้ จะมีเว็บเซอร์วิสใดที่สามารถใช้ทดแทนกันได้^{3,7,8}

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยคำนึงถึงคุณภาพการบริการ โดยเน้นไปที่ข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว งานวิจัยนี้ประยุกต์จากข้อมูลกลุ่มการท่องเที่ยวในวารสารขององค์การการท่องเที่ยวโลก²⁵ สามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม ได้แก่ ที่พัก (Accommodation) การเดินทางขนส่ง (Transportation) สถานที่ท่องเที่ยว (Attraction) ตำแหน่งที่ตั้ง (Location) และสภาพอากาศ (Weather) การทำเหมืองข้อมูล

(Data Mining) โดยใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูล (Classification) มาใช้ในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส คุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิสพิจารณาจาก 5 ปัจจัย ได้แก่ เวลาที่ตอบสนองของเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ (Response Time) สภาพความพร้อมในการให้บริการ (Availability) ความเสถียรภาพหรือความน่าเชื่อถือ (Reliability) ค่าใช้จ่ายในการเรียกใช้บริการ (Cost) และความสำเร็จในการนำส่งข้อมูล (Throughput) งานวิจัยนี้สร้างฐานความรู้โดยใช้ออนโทโลยีของเว็บเซอร์วิสในโดเมนด้านการท่องเที่ยวในการอธิบายความหมายของข้อมูล มีการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสก่อนที่จะทำการวัดความคล้ายคลึงกันของเว็บเซอร์วิสในแต่ละกลุ่ม จากนั้นวิเคราะห์และเปรียบเทียบเทคนิคในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสเพื่อหาเทคนิควิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด มีการคำนวณหาค่าคะแนนคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิส ขั้นตอนการสืบค้นใช้วิธีการถ่วงค่าน้ำหนักของคำ และในการค้นหาเว็บเซอร์วิสผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขและกำหนดค่าน้ำหนักให้กับปัจจัยคุณภาพต่างๆ ได้อย่างอิสระ (User Preferences) วิธีการทั้งหมดนี้จะทำให้การคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายมีประสิทธิภาพ และผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาเว็บเซอร์วิสผู้ใช้จะได้รับเว็บเซอร์วิสที่มีคุณภาพและตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยคำนึงถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยว
2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบเทคนิคในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องกับการบริการด้านการท่องเที่ยว

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงประยุกต์ เป็นการศึกษาวิจัยที่มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ประยุกต์จากวงจรการพัฒนา ระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) มีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคการคัดเลือกเว็บเซอร์วิส ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมาย การจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส การหาความคล้ายคลึงกันของเว็บเซอร์วิส และคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส
2. การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ SEMO หรือแบบจำลองการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย (Semantic web services selection model หรือ SEMO อ่านว่า ซีโม) แสดงได้ดัง Figure 1

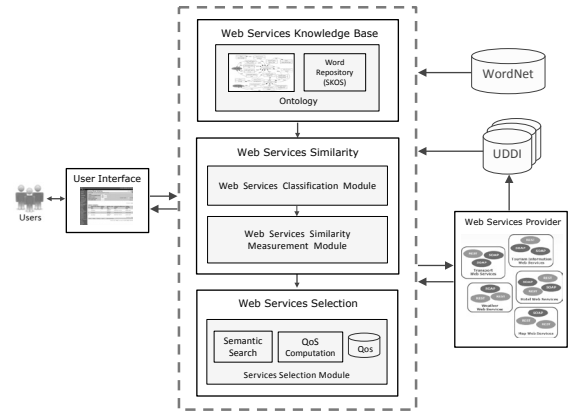


Figure 1 SEMO Architecture

3. การสร้างฐานความรู้โดยใช้ออนโทโลยี

งานวิจัยนี้มีการสร้างฐานความรู้ออนโทโลยีของเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว โดยประยุกต์จากออนโทโลยีเว็บเซอร์วิสชื่อ Web Service Modeling Ontology (WSMO)²⁹ ของ W3C แล้วนำมาปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องกับบริบทของการท่องเที่ยว และจัดทำคลังคำโดยใช้สคอส (Simple Knowledge Organization System: SKOS)¹⁹

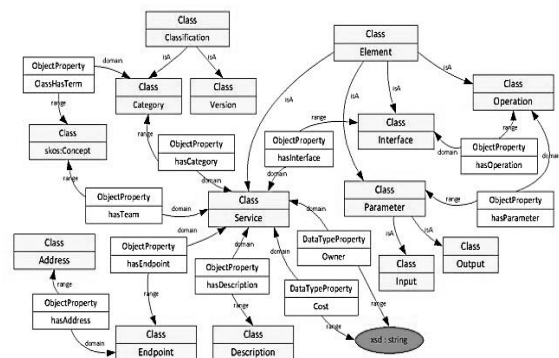


Figure 2 Some of the web services ontology

เก็บรวบรวมคำศัพท์ตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการบริการด้านการท่องเที่ยวจากพจนานุกรมด้านการสันทนาการ การเดินทางและการท่องเที่ยว (Dictionary of Leisure, Travel and Tourism)¹⁶ จำนวน 200 คำ จากนั้นนำคำศัพท์ตัวอย่างที่ได้มาทำการค้นหาคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องจากอภิธานศัพท์เวิร์ดเน็ต (WordNet)¹³ ที่ประกอบไปด้วยคำศัพท์หลัก คำเหมือน คำที่กว้างกว่า คำที่แคบกว่า และคำที่เกี่ยวข้อง และบันทึกคำศัพท์ทั้งหมดที่ได้จากอภิธานศัพท์เวิร์ดเน็ตลงในคลังคำในออนโทโลยีที่ใช้สคอสในโปรแกรมโปรเตจ (Protégé)

4. การจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส (Web Services Classification)

กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว ซึ่งกระบวนการในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสมี 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 เขียนโปรแกรมภาษาพีเอชพี (PHP) ร่วมกับแรพเอพีไอ (RAP API) เพื่อค้นหาข้อมูลเว็บเซอร์วิสจากออนโทโลยีโดยใช้ภาษาสอบถามข้อมูลสปรีย์เคิล (SPARQL)²⁷ ในการสืบค้นข้อมูลในออนโทโลยีที่ถูกส่งออกมาในรูปแบบของภาษาไอบีเอ็มแอล (OWL) ข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่ต้องการได้แก่ ชื่อเว็บเซอร์วิส (Web Service Name) คำอธิบายเว็บเซอร์วิส (Description) ชื่อโอเปอเรชัน (Operation) ข้อมูลเข้า (Input) ข้อมูลออก (Output) หมายเลขของเว็บเซอร์วิส (Web Service ID) และคำที่เกี่ยวข้องกับเว็บเซอร์วิส (Term)

4.2 ขั้นตอนการตัดเครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และช่องว่าง ออกจากชุดสตริงหลัก หลังจากการสอบถามข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 จะได้ข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่ต้องการได้แก่ ชื่อเว็บเซอร์วิส คำอธิบายเว็บเซอร์วิส ชื่อโอเปอเรชัน ข้อมูลเข้า ข้อมูลออก หมายเลขของเว็บเซอร์วิส และคำที่เกี่ยวข้องกับเว็บเซอร์วิส ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้จะเป็นชุดสตริงยาว ๆ ที่อาจมีเครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข หรือช่องว่าง รวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) เพื่อกำจัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

4.3 การตัดแบ่งคำออกจากสตริง (Word Segmentation) หลังจากการตัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกในขั้นตอนที่ 2 จะได้ข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่สะอาด การตัดแบ่งคำนี้จะรวมถึงการแยกตัวพิมพ์ใหญ่ที่เป็นคำย่อออกด้วย เช่น USA SUT TH SMS API หรือ ISO เป็นต้น ขั้นตอนนี้จะได้ผลลัพธ์ที่เป็นชุดของคำศัพท์ ตัวอย่างเช่น ชุดสตริง "British Airways BA is a full service global airline with an extensive global route network based out of the United Kingdom" เมื่อผ่านขั้นตอนการตัดแบ่งคำนี้ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นคำศัพท์จำนวน 21 คำ ได้แก่ British | Airways | BA | is | a | full | service | global | airline | with | an | extensive | global | route | network | based | out | of | the | United | Kingdom

4.4 การตัดคำหยุด (Stop words) เป็นขั้นตอนตัดคำที่ไม่จำเป็นออก ซึ่งคำหยุดเป็นคำขยายให้แก่คำอื่น ๆ แต่ไม่มีความหมายในตัวเอง เมื่อตัดออกแล้วไม่ทำให้ใจความของเอกสารเปลี่ยนแปลง เช่น คำบุพบทเป็นคำที่ใช้เชื่อมคำหรือกลุ่มคำให้สัมพันธ์กัน คำสรรพนามเป็นคำที่ใช้แทนคำนามที่กล่าวถึงมาแล้วในประโยค คำสันธานเป็นคำที่ทำหน้าที่เชื่อมคำกับคำ เป็นต้น คำหยุดมักเป็นคำที่ปรากฏบ่อยครั้งและมีอยู่ในทุกเว็บเซอร์วิส จึงถือได้ว่าคำหยุดเป็นคุณลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องในการค้นคืนหรือการจำแนกหมวดหมู่ ดังนั้นจึงควร

กำจัดคำหยุดซึ่งจะช่วยประหยัดทั้งพื้นที่และเวลาในการประมวลผล ตัวอย่างคำหยุด เช่น a, an, and, at, but, by, can, do, for, go, give, in, is, of, on, or, other, out, than, the, to, what, while, who, why, will หรือ with เป็นต้น ซึ่งชุดของคำศัพท์ก่อนตัดคำหยุดมีจำนวน 21 คำ หลังจากตัดคำหยุดเหลือเพียง 13 คำ

4.5 การหารากศัพท์ (Stemming Words) ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการในการหารูปเดิมของคำเพื่อปรับรวมให้เป็นคำเดียวกัน การหารากศัพท์ทำให้สามารถลดเวลาในการประมวลผลและเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสได้ เช่น รากศัพท์ของคำว่า "Booking" คือคำว่า "Book" รากศัพท์ของคำว่า "Transportation" คือคำว่า "Transport" เป็นต้น

4.6 การเปรียบเทียบระหว่างคำศัพท์กับคลังคำในออนโทโลยีเพื่อหาคำอื่นที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนนี้จะนำคำศัพท์แต่ละคำไปเปรียบเทียบกับคลังคำในออนโทโลยีที่จัดเก็บในรูปแบบสคอส (SKOS) เพื่อหาคำหลัก (Prefer Label) คำที่มีความหมายเหมือนกับคำหลัก (Alternate Label) คำที่มีความหมายกว้างกว่า (Broader) และคำที่มีความหมายแคบกว่า (Narrower) จากนั้นนำคำที่ได้ทั้งหมดแทนค่าเพิ่มเข้าไปในชุดสตริงหลัก ตัวอย่างนี้หาคำหลักจำนวน 2 คำ คือ "hotel" และ "reservation" ไปเปรียบเทียบกับคลังคำในออนโทโลยีเพื่อหาคำอื่นที่เกี่ยวข้อง คำหลัก "hotel" ได้คำที่เกี่ยวข้องได้แก่ "building" "edifice" "hostel" "resort" และ "spa" ส่วนคำหลัก "reservation" ได้คำที่เกี่ยวข้องได้แก่ "booking" "employment" "reserve" และ "book"

4.7 เข้าสู่กระบวนการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส โดยทำการแบ่งข้อมูลเว็บเซอร์วิสออกเป็น 2 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 คือชุดข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ไม่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำเชิงความหมาย ประกอบด้วยแอตทริบิวต์ต่าง ๆ จำนวน 7 แอตทริบิวต์ ได้แก่ รหัสเว็บเซอร์วิส (Web Service ID) ชื่อเว็บเซอร์วิส (Web Service Name) คำอธิบาย (Description) ชื่อกลุ่ม (Group Name) ชื่อโอเปอเรชัน (Operation Name) ข้อมูลเข้า (Input) และข้อมูลออก (Output) ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 คือชุดข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำเชิงความหมายแล้ว ประกอบด้วยแอตทริบิวต์ต่าง ๆ จำนวน 12 แอตทริบิวต์ ได้แก่ รหัสเว็บเซอร์วิส ชื่อเว็บเซอร์วิส คำอธิบาย ชื่อกลุ่ม (Group Name) ชื่อโอเปอเรชัน ข้อมูลเข้า ข้อมูลออก คำศัพท์หลัก (Terms) คำเหมือน (Alternate Terms) คำที่กว้างกว่า (Broader Terms) คำที่แคบกว่า (Narrower Terms) และคำที่เกี่ยวข้อง (Related Terms) จากนั้นใช้เทคนิควิธีต่าง ๆ

ในการทดลอง เปรียบเทียบด้วย 5 เทคนิควิธี ได้แก่ 1) เทคนิควิธีเคมีนส์ (K-means) 2) เทคนิควิธีเนอ์เบย์ (Naive Bayes : NB) 3) เทคนิควิธีเค-เนียร์เรสท์เนเบอร์ (k-Nearest Neighbor : k-NN) 4) เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) และ 5) เทคนิควิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM)

5. การคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงกันของเว็บเซอร์วิส (Web services Similarity)

หลังจากเสร็จขั้นตอนการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสแล้ว ขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคล้ายคลึงกันของเว็บเซอร์วิสในแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการหาค่าความคล้ายคลึงตามทฤษฎี Vector Space Model (VSM) คือ การวัดความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ (Cosine Similarity)^{17,18} โดยพิจารณาเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันจากชื่อของเว็บเซอร์วิส ชื่อโอเปอเรชัน คำอธิบาย ข้อมูลเข้า และข้อมูลออก แสดงดังสมการที่ 1

$$\text{similarity} = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (1)$$

6. การหาค่าคุณภาพของเว็บเซอร์วิส

วิธีการเลือกเซอร์วิสที่มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจาก 5 ปัจจัยดังนี้

1) เวลาที่ตอบสนองของเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ วัดจากระยะเวลาที่ผู้ขอใช้บริการส่งคำร้องขอออกไปจนกระทั่งได้รับข้อมูลตอบกลับมาจากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n (T_r - T_s)}{n} \quad (2)$$

$$RT = 1 - \frac{T}{\sum T_i}$$

โดยที่ T คือ ค่าเวลาตอบสนองโดยเฉลี่ย หน่วยเป็นมิลลิวินาที

T_r คือ เวลาที่ได้รับข้อมูลกลับมา หน่วยเป็นมิลลิวินาที

T_s คือ เวลาเริ่มต้นที่ทำการส่งคำร้องขอ หน่วยเป็นมิลลิวินาที

RT คือ ค่าความน่าจะเป็นของค่าเวลาตอบสนองโดยเฉลี่ย

2) สภาพความพร้อมในการให้บริการ (Availability) วัดจากอัตราส่วนของผลรวมของเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้บริการเซอร์วิสได้สำเร็จส่วนด้วยผลรวมเวลาทั้งหมดที่

ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเว็บเซอร์วิสในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$A = \frac{N_{suc}}{N_{all}} \quad (3)$$

โดยที่ A คือ ค่าสภาพความพร้อมในการให้บริการ

N_{suc} คือ ผลรวมของเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้บริการเซอร์วิสได้สำเร็จ ในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

N_{all} คือ ผลรวมของเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเว็บเซอร์วิส ในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

3) ความเสถียรของระบบ (Reliability) วัดจากอัตราส่วนของจำนวนครั้งทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเซอร์วิสได้สำเร็จส่วนด้วยจำนวนครั้งทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเซอร์วิส ในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$R = \frac{T_{suc}}{T_{all}} \quad (4)$$

โดยที่ R คือ ค่าความเสถียรของระบบ

T_{suc} คือ จำนวนครั้งทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเว็บเซอร์วิสได้สำเร็จ ในช่วงเวลาที่กำหนด

T_{all} คือ จำนวนครั้งทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการเว็บเซอร์วิส ในช่วงเวลาที่กำหนด

ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้บริการร้องขอใช้บริการเซอร์วิสทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่กำหนด และมีสถานการณ์ร้องขอใช้บริการที่ประสบความสำเร็จจำนวน 3 ครั้ง ล้มเหลวจำนวน 2 ครั้ง ดังนั้นค่าความน่าเชื่อถือจะเท่ากับ 3/5 หรือเท่ากับ 0.60

4) ค่าใช้จ่ายในการเรียกใช้บริการ วัดจากอัตราการเก็บค่าบริการในการให้บริการเซอร์วิสของผู้ให้บริการในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$C = 1 - \frac{P}{\sum P_i} \quad (5)$$

โดยที่ C คือ ค่าความน่าจะเป็นของค่าใช้จ่ายในการเรียกใช้บริการ

P คือ อัตราการเก็บค่าบริการในการให้บริการเซอร์วิส $\sum P_i$ คือ ผลรวมของอัตราการเก็บค่าบริการในการให้บริการเซอร์วิสของผู้ให้บริการทั้งหมด

5) Throughput หมายถึง ความสำเร็จในการนำส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps) Throughput เป็นจำนวนทรานแซคชัน (Transaction) หรือการร้องขอ (Request) ที่ถูกสร้างขึ้นหรือทำงานได้ในช่วงเวลาการทดสอบหนึ่งๆ ก่อนเริ่มทำการทดสอบ ประสิทธิภาพต้องกำหนดช่วงเวลาไว้ก่อนเสมอ ว่าต้องการเท่าไร เช่น จำนวนใน 1 วินาที หรือจำนวนใน 1 นาที เป็นต้น หน่วยที่นิยมใช้สำหรับวัดค่า Throughput คือ TPS (Transaction Per Second) นั่นคือจำนวนทรานแซคชันที่สามารถทำงานได้ใน 1 วินาที ค่าคะแนนคุณภาพของปัจจัยนี้จะบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของการให้บริการเว็บเซอร์วิสโดยเฉพาะในเรื่องขนาดของช่องทางที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลหรือแบนด์วิธ (Bandwidth) เพราะการบริการบางอย่างจำเป็นต้องมีแบนด์วิธเพียงพอจึงจะสามารถใช้งานได้ต้องมีประสิทธิภาพ คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$T_p = \frac{N_{suc}}{T_{Total}} \tag{6}$$

$$T_{pn} = \frac{T_p}{max(T_p)}$$

โดยที่ T_p คือ ค่า Throughput หน่วยเป็น invoke/second

N_{suc} คือ จำนวนทรานแซคชัน (Transaction) หรือการร้องขอ (Request) ที่ถูกสร้างขึ้นหรือทำงานได้ในช่วงเวลาการทดสอบ

T_{total} คือ ค่า ช่วงเวลาการทดสอบ หน่วย second

T_{pn} คือ ค่า Throughput normalize

$max(T_p)$ คือ ค่า Throughput ที่มีค่าสูงสุด

จากนั้นทำการคำนวณค่าคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส โดยใช้สมการถ่วงน้ำหนัก คำนวณจากการรวมค่าคุณภาพการให้บริการของทั้ง 5 ปัจจัย สูตรการคำนวณดังสมการที่ 7

$$QoS_s = \sum_{x \in V} W_x QoS_{s,x} \tag{7}$$

โดยที่ QoS_{si} คือ ค่าคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส S_i

$QoS_{si,x}$ คือ ค่าคุณภาพการให้บริการด้านปัจจัย x ของเว็บเซอร์วิส S_i

W_x คือ ค่าน้ำหนักที่ผู้ใช้บริการกำหนดให้กับคุณภาพด้านปัจจัย x

V คือ เซตของปัจจัยที่ใช้กำหนดคุณภาพการ

ให้บริการของเซอร์วิส โดยที่ $V = \{Response\ Time, Availability, Reliability, Cost, Throughput\}$

ตัวอย่างการคำนวณค่าคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส โดยมีค่าเริ่มต้นของน้ำหนักปัจจัยดังนี้ Response Time เท่ากับ 1.00 Reliability เท่ากับ 0.75 Availability เท่ากับ 0.75 Cost เท่ากับ 0.50 และ Throughput เท่ากับ 0.75 ซึ่งค่าน้ำหนักของทั้ง 5 ปัจจัยนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าได้เองตามความเหมาะสมได้ที่เมนู "Setting" บนหน้าเว็บหลัก

7) การออกแบบและพัฒนาระบบการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย

กระบวนการในการการออกแบบและพัฒนากระบวนการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ในการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย

ในการค้นหาข้อมูลเว็บเซอร์วิส ผู้ใช้ต้องใส่คำสำคัญ (Keyword) เพื่อสืบค้น จากนั้นระบบจะทำการเปรียบเทียบระหว่างคำสำคัญกับฐานความรู้ออนโทโลยีของเว็บเซอร์วิส ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อเป็นตัวกลางในการติดต่อกันระหว่างผู้ใช้และฐานความรู้ออนโทโลยี โดยใช้ภาษาพีเอชพี (PHP) เป็นภาษาหลักในการพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ใช้ซีเอสเอส (Cascading Style Sheet : CSS) ในการจัดรูปแบบการแสดงผล ส่วนการสืบค้นข้อมูลจากออนโทโลยีใช้ภาษาสปรินกิล เพื่อสอบถามข้อมูล และดึงข้อมูลจากโอดับเบิ้ลยูแอล ผ่านทางแรพเอพีไอ

2. การกำหนดค่าน้ำหนักของคำในโครงสร้างสคอส (SKOS)

ในการกำหนดค่าน้ำหนักที่ถูกจัดเก็บตามโครงสร้างแบบสคอส ซึ่งค่าน้ำหนักนี้เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดเองได้ภายหลัง ซึ่งสามารถกำหนดได้ในเมนู "Setting" บนหน้าเว็บหลัก

3. การกำหนดค่าน้ำหนักของคำตามตำแหน่งโครงสร้างของเว็บเซอร์วิส

ในการกำหนดค่าน้ำหนักของคำตามตำแหน่งโครงสร้างของเว็บเซอร์วิส ซึ่งคำเหล่านี้ถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบของคลาสในออนโทโลยีแล้ว ได้แก่ ชื่อเว็บเซอร์วิส คำอธิบายเว็บเซอร์วิส ชื่อโอเปอเรชัน ข้อมูลเข้า และข้อมูลออก ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าน้ำหนักได้เองตามความเหมาะสมในภายหลัง ซึ่งสามารถกำหนดได้ในเมนู "Setting" บนหน้าเว็บหลัก

4. การกำหนดค่าน้ำหนักของคำที่ใช้สำหรับสืบค้น

ในการกำหนดค่าน้ำหนักของคำที่ใช้สำหรับสืบค้นจะพิจารณาจากลำดับของคำสำคัญที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาจากซ้ายไปขวา เช่น ผู้ใช้ป้อนคำว่า “hostel booking” คำว่า hostel จะมีความสำคัญและมีค่าน้ำหนักมากกว่าคำว่า booking เป็นต้น ในการทดสอบนี้จะกำหนดให้คำสำคัญลำดับแรกมีค่าน้ำหนักคือ 1.00 และคำสำคัญลำดับที่สองมีค่าน้ำหนักคือ 0.75 ค่าน้ำหนักนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในกรณีที่คำสำคัญมีมากกว่า 2 คำขึ้นไป

5. คำนวณหาค่าน้ำหนักของคำทุกคำที่อยู่ในกลุ่มคำที่ได้จากข้อ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่ถูกจัดเก็บตามโครงสร้างแบบสคอส สามารถแทนค่าได้ตามสมการที่ 8

$$SKOSPOS = \sum_{k=0}^n (WSP_k * WePoSK_k) \tag{8}$$

โดยที่ SKOSPOS คือ ค่าน้ำหนักของคำที่อยู่ในโครงสร้างของสคอส

WSP คือ ค่าน้ำหนักของคำที่อยู่ในแต่ละตำแหน่งตามโครงสร้างของเว็บเซอร์วิส

WePoSK (Weight of Position SKOS) คือ ค่าน้ำหนักประจำตำแหน่งในโครงสร้างของเว็บเซอร์วิส

6. การคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงกันเชิงความหมายระหว่างคำสำคัญกับออนโทโลยีเว็บเซอร์วิส สามารถแทนค่าได้ตามสมการดังนี้

$$SIM = \sum_{k=0}^n (SKOSPOS_k * WPQ_k) \tag{9}$$

โดยที่ SIM คือ ค่าคะแนนเชิงความหมายของแต่ละเว็บเซอร์วิส

SKOSPOS คือ ค่าน้ำหนักของคำที่อยู่ในโครงสร้างของ SKOS

WPQ (Weight of Position Query) คือ ค่าน้ำหนักประจำตำแหน่งของคำสำคัญที่ได้จากผู้ใช้

$$SEMSIM = \frac{SIM_k}{\max(SIM)} \tag{10}$$

โดยที่ SEMSIM คือ ค่าคะแนนความคล้ายคลึงกันเชิงความหมายหลังจากผ่านการปรับปรุงค่า (Normalization) โดยค่าคะแนนจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

SIM คือ ค่าคะแนนเชิงความหมายของแต่ละเว็บเซอร์วิส

max(SIM) คือ ค่าสูงสุดของค่าคะแนนเชิงความหมายของเว็บเซอร์วิสทั้งหมด

7. ขั้นตอนการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย ผู้วิจัยทำการออกแบบขั้นตอนการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย

$$QSS = \left[\frac{(Q * W_Q) + (S * W_S)}{W_Q + W_S} \right] \tag{11}$$

โดยที่ QSS คือ ค่าผลรวมคะแนนคุณภาพ (QoS) และค่าความคล้ายคลึง (Similarity) แบบถ่วงน้ำหนัก

Q คือ ค่าคะแนนคุณภาพ (QoS)

S คือ ค่าคะแนนความคล้ายคลึง (Similarity)

W_Q คือ ค่าน้ำหนักสำหรับค่าคุณภาพ (QoS)

W_S คือ ค่าน้ำหนักสำหรับค่าความคล้ายคลึง (Similarity)

$$RankSum(W_i) = \frac{n - r_j + 1}{\sum(n - r_k + 1)} \tag{12}$$

โดยที่ W_i คือ ค่าน้ำหนักของข้อมูล

r_j คือ ลำดับความสำคัญของข้อมูล

r_k คือ ผลรวมของค่าของข้อมูล

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

8. การประเมินผล

8.1 การประเมินผลการสืบค้นเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย

เมื่อทำการสืบค้นเว็บเซอร์วิสจากออนโทโลยี ระบบจะแบ่งกลุ่มของเว็บเซอร์วิสออกเป็น 2 ส่วน คือ เว็บเซอร์วิสที่ถูกดึงออกมาเป็นผลลัพธ์จากการสืบค้น (Retrieved) และเว็บเซอร์วิสที่ไม่ถูกดึงออกมา (Not Retrieved) ซึ่งเว็บเซอร์วิสต่าง ๆ ใน 2 กลุ่มนี้ อาจมีทั้งเว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบความใกล้เคียงของการสืบค้นครั้งนั้น หรือคือเว็บเซอร์วิสที่ผู้ใช้ต้องการ (Relevant) และไม่เกี่ยวข้อง (Irrelevant) กับสิ่งที่ต้องการ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของเว็บเซอร์วิสทั้งหมดออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1) Retrieved and Relevant คือกลุ่มเว็บเซอร์วิสที่ถูกดึงออกมาเป็นผลลัพธ์และเกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการ (True Positive: TP)

2) Not Retrieved and Irrelevant คือกลุ่มเว็บเซอร์วิสที่ไม่ถูกดึงออกมาเป็นผลลัพธ์ และไม่เกี่ยวข้องกับ

สิ่งที่ต้องการ (True Negative: TN)

3) Retrieved and Irrelevant คือกลุ่มเว็บเซอร์วิสที่ถูกดึงมาเป็นผลลัพธ์ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการ (False Positive: FP)

4) Not Retrieved and Relevant คือกลุ่มเว็บเซอร์วิสที่ไม่ถูกดึงมาเป็นผลลัพธ์ แต่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการ (False Negative: FN)

จากการสืบค้นเว็บเซอร์วิสจะเห็นได้ว่าการสืบค้นนั้นไม่สามารถค้นคืนเว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ผู้ใช้งานต้องการได้ 100% จึงมีการคิดค่าการประเมินผลการสืบค้นเว็บเซอร์วิสได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าเอฟเมเชอร์ (F-Measure)¹²

ค่าความแม่นยำ (Precision) คือ การพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลที่สืบค้นได้ จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนเว็บเซอร์วิสที่ค้นคืนถูกต้องกับจำนวนเว็บเซอร์วิสที่ค้นคืนมาได้ทั้งหมด (ตัวอย่าง: เมื่อค่าความแม่นยำเท่ากับ 1 แสดงว่าเว็บเซอร์วิสที่ค้นคืนมาได้ทั้งหมดเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ) สูตรการหาค่าความแม่นยำแสดงดังสมการที่ 13

$$\text{Precision} = \frac{tp}{tp + fp} \quad (13)$$

โดยที่ Precision คือ ค่าความแม่นยำในการสืบค้นเว็บเซอร์วิส
 tp คือ เว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องและถูกสืบค้นได้
 fp คือ เว็บเซอร์วิสที่ไม่เกี่ยวข้องแต่สืบค้นได้

ค่าความระลึก (Recall) คือ การพิจารณาความครบถ้วนของข้อมูลเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ควรได้ทั้งหมด จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนเว็บเซอร์วิสที่ค้นคืนถูกต้องกับจำนวนเว็บเซอร์วิสที่ต้องการทั้งหมดในระบบ (หมายเหตุ: ค่าความระลึกเน้นให้คำตอบที่ถูกต้องออกมาให้ได้มากที่สุด) สูตรการหาแสดงดังสมการที่ 14

$$\text{Recall} = \frac{tp}{tp + fn} \quad (14)$$

โดยที่ Recall คือ ค่าความระลึกในการสืบค้นเว็บเซอร์วิส
 tp คือ เว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องและถูกสืบค้นได้
 fn คือ เว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องแต่สืบค้นไม่ได้

นอกจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพื่อวัดความถูกต้องและแม่นยำด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) แล้ว ยังมีการวัดคุณภาพของผลการค้นหาข้อมูลโดยรวมด้วยค่าเอฟเมเชอร์ (F-Measure) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำและค่าความระลึก แสดงดังสมการที่ 15

$$\text{F-measure} = 2 \frac{\text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (15)$$

โดยที่ F-measure คือ ค่าเอฟเมเชอร์ที่วัดคุณภาพของผลการค้นหาโดยรวม

precision คือ ค่าความแม่นยำในการสืบค้นเว็บเซอร์วิส

recall คือ ค่าความระลึกในการสืบค้นเว็บเซอร์วิส

8.2 การประเมินผลการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส

โดยใช้การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) และใช้เทคนิควิธีทั้ง 5 เทคนิคนี้ ได้แก่

1) เทคนิควิธีเคมีนส์ (K-means) โดยกำหนดค่า k เท่ากับ 5

2) เทคนิควิธีเนอ์บาย (Naive Bayes : NB) โดยกำหนดค่า cross-validation เท่ากับ 10

3) เทคนิควิธีเค-เนียร์เรสท์เนเบอร์ (k-Nearest Neighbor : k-NN) โดยกำหนดค่า k เท่ากับ 5 และกำหนดค่า cross-validation เท่ากับ 10

4) เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) โดยกำหนดค่า cross-validation เท่ากับ 10

5) เทคนิควิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) โดยกำหนดค่า cross-validation เท่ากับ 10

จากนั้นประเมินผลการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส โดยการคำนวณหาค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) ค่าเอฟเมเชอร์ (F-measure) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) ตามสมการที่ 13 สมการที่ 14 สมการที่ 15 และตามสมการที่ 16

$$\text{Accuracy} = \frac{tp+tn}{tp+tn+fp+fn} \quad (16)$$

โดยที่ Accuracy คือ ค่าความถูกต้องในการสืบค้นเว็บเซอร์วิส
 tp คือ เว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องและถูกสืบค้นได้
 tn คือ เว็บเซอร์วิสที่ไม่เกี่ยวข้องและสืบค้นไม่ได้
 fp คือ เว็บเซอร์วิสที่ไม่เกี่ยวข้องแต่สืบค้นได้
 fn คือ เว็บเซอร์วิสที่เกี่ยวข้องแต่สืบค้นไม่ได้

ผลการวิจัย

1. ผลการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสและการประเมินประสิทธิภาพ

เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ

การใช้ฐานความรู้แบบออนโทโลยีในการจัดการข้อมูลเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมเว็บเซอร์วิสจาก Public UDDI Registry เช่น www.webserVICEX.net , www.programmableweb.com และ www.odata.org เป็นต้น จากจำนวนทั้งหมด 200 เว็บเซอร์วิส ทำการคัดเลือกเฉพาะเว็บเซอร์วิสที่มีความสมบูรณ์ที่สุดจำนวน 76 เว็บเซอร์วิส เพื่อนำมาใช้ในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิส โดยการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสที่มีความสมบูรณ์พิจารณาจากเว็บเซอร์วิสที่มีองค์ประกอบครบถ้วน เช่น คำอธิบายเว็บเซอร์วิส โอเปอเรชัน ข้อมูลเข้า ข้อมูลออก และเว็บเซอร์วิสนั้นยังอยู่ในสถานะที่ใช้งานได้ (Active) จากนั้นนำข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การตัดแบ่งคำ (Word Segmentation) การตัดคำหยุด (Stop words) และการหารากศัพท์ (Stemming Words) เป็นต้น โดยแบ่งข้อมูลของเว็บเซอร์วิส ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลในชุดที่ 1 คือข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ไม่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำเชิงความหมาย และข้อมูลในชุดที่ 2 คือ ข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำในออนโทโลยี จากนั้นทำการเปรียบเทียบการจำแนกข้อมูลเว็บเซอร์วิสระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด ผลการทดลองสามารถแสดงดังนี้

จากผลการทดลองการจับกลุ่มเว็บเซอร์วิสพบว่า ในชุดข้อมูลแบบที่ 1 เทคนิควิธีที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงที่สุดคือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) คือ 82.86% รองลงมาคือเทคนิควิธีเคเนียร์เรสท์เนเบอร์ (k-Nearest Neighbor : k-NN) คือ 81.61% เทคนิควิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) คือ 75.00% เทคนิควิธีเนออีฟเบย์ (Naive Bayes : NB) คือ 69.46% และเทคนิควิธีเคมีนส์ (K-means) คือ 64.47%

ในชุดข้อมูลแบบที่ 2 เทคนิควิธีที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงที่สุดคือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) คือ 96.07% รองลงมาคือเทคนิควิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) คือ 84.46% เทคนิควิธีเคเนียร์เรสท์เนเบอร์ (k-Nearest Neighbor : k-NN) คือ 84.29% เทคนิควิธีเนออีฟเบย์ (Naive Bayes : NB) คือ 75.18% และเทคนิควิธีเคมีนส์ (K-means) คือ 64.47%

เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด และตามด้วยเทคนิควิธีเคเนียร์เรสท์เนเบอร์และซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนที่ให้ค่าความถูกต้องรองลงมา เนื่องจากเป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ซึ่งเป็นประเภทที่รู้เป้าหมายล่วงหน้าและเหมาะกับข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่มีแอตทริบิวต์จำนวนมาก ส่วนเทคนิควิธีเคมีนส์ที่ให้ค่าความถูกต้องน้อยที่สุด ซึ่งจัดอยู่ในเทคนิคแบบการ

เรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ทำให้ไม่เหมาะกับข้อมูลที่มีแอตทริบิวต์จำนวนมาก

จากการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของชุดข้อมูลทั้งสองชุด พบว่าชุดข้อมูลในแบบที่ 2 (ข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำในออนโทโลยี) ให้ค่าความถูกต้องที่สูงกว่าชุดข้อมูลในแบบที่ 1 (ข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ไม่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำ) เฉลี่ย 8.01% โดยที่เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) สูงขึ้น 15.94% เทคนิควิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) สูงขึ้น 12.61% เทคนิควิธีเนออีฟเบย์ (Naive Bayes : NB) สูงขึ้น 8.23% เทคนิควิธีเคเนียร์เรสท์เนเบอร์ (k-Nearest Neighbor : k-NN) สูงขึ้น 3.28% และเทคนิควิธีเคมีนส์ (K-means) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงดัง Figure 3 และ Figure 4

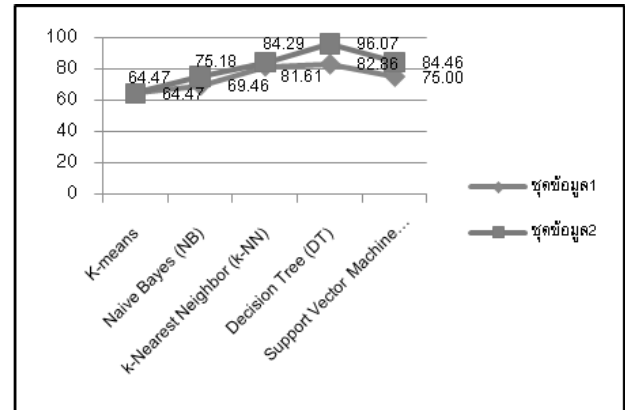


Figure 3 The chart shows the comparison of the accuracy values between data set 1 and data set 2

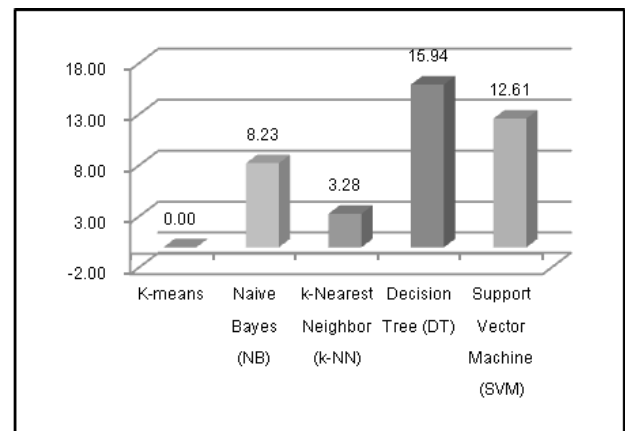


Figure 4 The chart shows the increment of the accuracy values between data set 1 and data set 2

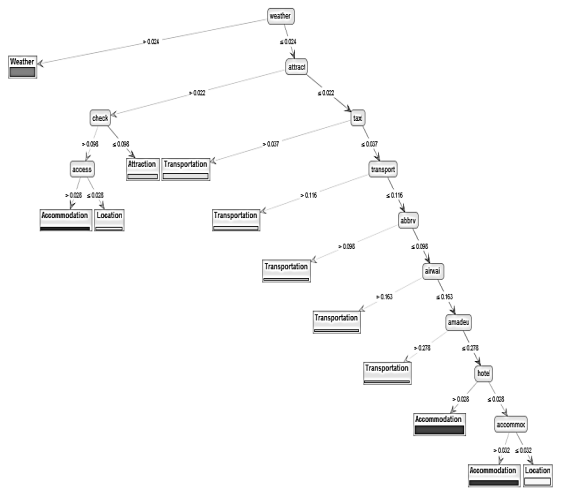


Figure 5 Web services classification model for Decision Tree of data set 1

Figure 5 แสดงโมเดลการจำแนกหมวดหมู่เว็บเซอร์วิสของเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจของข้อมูลชุดที่ 1 (ข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ไม่ได้ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำเชิงความหมาย) ซึ่งให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกหมวดหมู่เว็บเซอร์วิสเท่ากับ 82.86%

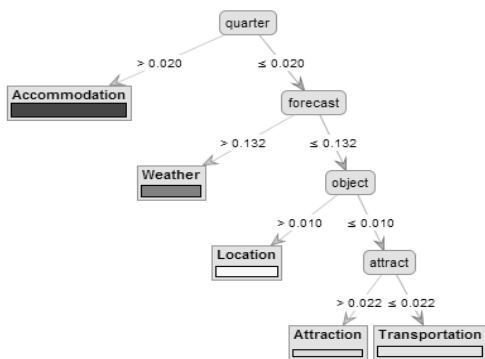


Figure 6 Web services classification model for Decision Tree of data set 2

Figure 6 แสดงโมเดลการจำแนกหมวดหมู่เว็บเซอร์วิสของเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจของข้อมูลชุดที่ 2 (ข้อมูลของเว็บเซอร์วิสที่ผ่านการหาความสัมพันธ์ของคำเชิงความหมาย) ซึ่งให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกหมวดหมู่เว็บเซอร์วิสเท่ากับ 96.07%

ผลการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับผลงานวิจัยอื่น^{33,34,35} อาจไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากมีความแตกต่างของข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่นำมาทดลองและกระบวนการในการคัดเลือกต่างกัน แต่ก็พบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกันในเรื่องเทคนิควิธีการ

จำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดคือเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและใช้แนวทางเชิงความหมายในการจำแนก

2. ผลการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายตามคุณภาพการให้บริการสำหรับการท่องเที่ยวและการประเมินประสิทธิภาพ

2.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ แสดงดัง Figure 7, Figure 8 และ Figure 9

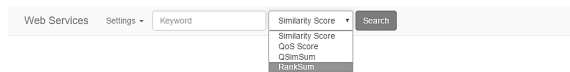


Figure 7 Home page of semantic web services searching

จาก Figure 7 ผู้ใช้สามารถกำหนดผลการเรียงลำดับของผลลัพธ์จากการค้นหา (User Preferences) ได้จากค่าคะแนนคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิส ค่าคะแนนความคล้ายคลึงกันเชิงความหมายระหว่างคำค้นจากผู้ใช้และข้อมูลในฐานความรู้แบบออนโทโลยี จากค่าเฉลี่ยของทั้งสองค่าข้างต้น และเรียงลำดับแบบวิธีหาผลรวม (RankSum)

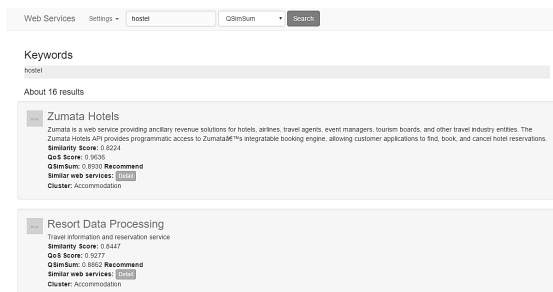


Figure 8 Sample results when searching with the term "hostel"

Web Service Name
 Description
 Operation
 Input
 Output

Submit

Web Service Similarity Table (Attraction)

	eContent_Maps	to.uri.st	Google Places	Rezgo
eContent.Maps	1.0000	0.7446	0.5000	0.8195
to.uri.st	0.7446	1.0000	0.5904	0.9117
Google Places	0.5000	0.5904	1.0000	0.6394
Rezgo	0.8195	0.9117	0.6394	1.0000

Figure 9 Shows the similarity values of Web Services in the Attraction group

2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายตามคุณภาพการให้บริการ

1) ผลการประเมินผลการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายตามคุณภาพการบริการโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้รับระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบสืบค้น

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสืบค้นเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญและระบบสืบค้น ให้ค่าความแม่นยำ (Precision) เท่ากับ 0.84 ค่าความระลึก (Recall) เท่ากับ 0.80 ค่าเอฟเมเชอร์ (F-measure) เท่ากับ 0.82 และค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 0.93

2) ผลการประเมินผลการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายตามคุณภาพการบริการโดยใช้ไดนามิกเกณฑ์ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสืบค้นเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยใช้ไดนามิกเกณฑ์ให้ค่าความแม่นยำ (Precision) เท่ากับ 0.57 ค่าความระลึก (Recall) เท่ากับ 1.00 ค่าเอฟเมเชอร์ (F-measure) เท่ากับ 0.67 และค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 0.93

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยวโดยใช้วิธีการทำเหมืองข้อมูล ได้มีการทดลองในหลายเทคนิควิธีเพื่อเปรียบเทียบว่าเทคนิคใดจะมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการที่เกี่ยวข้องด้านการท่องเที่ยวมากที่สุด ผลการประเมินผลและวัดประสิทธิภาพพบว่า เทคนิควิธีที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) และประสิทธิภาพสูงที่สุดในการจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสคือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งสามารถนำโมเดลของเทคนิควิธีนี้ไปใช้ในการทำนายหรือจำแนกหมวดหมู่ของเว็บเซอร์วิสใหม่ที่ให้บริการที่เกี่ยวข้องด้านการท่องเที่ยวได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำโมเดลนี้ไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อจำแนกหมวดหมู่ของข้อมูลประเภทอื่น ๆ ได้

การพัฒนาฐานความรู้ออนโทโลยีเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยวได้ประยุกต์จากออนโทโลยีที่เป็นมาตรฐานของดับเบิลยูทีซีที่มีชื่อว่า "Web Service Modeling Ontology: WSMO" จากนั้นได้ปรับปรุงให้สอดคล้องเพื่อรองรับกับข้อมูลด้านการท่องเที่ยว มีการจัดทำดัชนีของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวไว้ในคลังคำโดยใช้สคอส มีการสร้างความสัมพันธ์ของคำศัพท์เป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้นตามรูปแบบอภิธานศัพท์มาตรฐานของเวิร์ดเน็ตซึ่งเป็นฐานข้อมูลคำศัพท์ภาษาอังกฤษขนาดใหญ่ และมีการเก็บรวบรวม

ข้อมูลเว็บเซอร์วิสจากหลายหลายเซอร์วิสที่จัดทำสร้างเป็นฐานความรู้แบบออนโทโลยีเพื่อให้สามารถอธิบายข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องในเชิงความหมายรองรับกับการสืบค้นข้อมูลเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นต้นแบบของฐานความรู้ออนโทโลยีเว็บเซอร์วิสที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลในโดเมนอื่น ๆ ได้

แบบจำลองการคัดเลือกเว็บเซอร์วิสเชิงความหมายโดยคำนึงถึงคุณภาพการบริการสำหรับการท่องเที่ยวหรือ SEMO ประกอบด้วย 1) การสร้างฐานความรู้โดยการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยี ซึ่งประยุกต์จากออนโทโลยีเว็บเซอร์วิสที่ชื่อ Web Service Modeling Ontology (WSMO) ของดับเบิลยูทีซี และสร้างคลังคำโดยใช้สคอส 2) คุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิส มีการคำนวณหาค่าคะแนนคุณภาพของเว็บเซอร์วิส โดยพิจารณาจากปัจจัยคุณภาพที่สำคัญจำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่ เวลาที่ตอบสนอง (Response Time) สภาพความพร้อมในการให้บริการ (Availability) ความเสถียรภาพหรือความน่าเชื่อถือ (Reliability) ค่าใช้จ่ายในการเรียกใช้บริการ (Cost) และความสำเร็จในการนำส่งข้อมูล (Throughput) สอดคล้องกับงานวิจัยของคาร์โตโซ และคณะ⁶ ซูซึลาและวาทิเวล²⁰ เทาและเกวเจย์²³ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพการให้บริการของเว็บเซอร์วิส พบว่ามีกรนำปัจจัยด้านคุณภาพมาใช้เป็นตัวกำหนดถึงคุณภาพการให้บริการ แต่จะแตกต่างกันไปตามบริบทและโดเมนของงานวิจัยนั้น และ 3) ระบบสืบค้นข้อมูลเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย ผู้ใช้สามารถสืบค้นเว็บเซอร์วิสและสามารถกำหนดคุณลักษณะต่าง ๆ ในระบบสืบค้นให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ได้ เช่น กำหนดค่านำหนักของปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของเอเจาและเดริส² แบดร์และคณะ⁴ โมฮิบิ ดิง และซี¹⁴ ที่ทำวิจัยเกี่ยวกับการค้นหาเว็บเซอร์วิสที่ผู้ใช้สามารถกำหนดคุณลักษณะในการสืบค้นที่ผู้ใช้ต้องการได้

2. ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงข้อมูลเว็บเซอร์วิสหรือคำศัพท์ในคลังคำในฐานความรู้แบบออนโทโลยีสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ และสามารถปรับปรุงข้อมูลได้โดยผ่านทางโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์

การคำนวณหาค่าคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิสในแต่ละกลุ่มเว็บเซอร์วิสสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ โดยผู้ดูแลระบบสามารถปรับตั้งค่าให้อัพเดทข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติตามวันเวลาหรือช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อให้ค่าคะแนนคุณภาพการบริการของเว็บเซอร์วิสที่ทันสมัยอยู่เสมอ ปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ที่ใช้ในการค้นหาเว็บเซอร์วิสเชิงความหมาย ให้สามารถรองรับ

การทำงานได้บนอุปกรณ์สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต รวมทั้งสามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และไอโอเอส โดยทำเป็นโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) สามารถค้นหาเพื่อดาวน์โหลดและติดตั้งได้ง่ายผ่านทางเพย์สโตร์ (Play Store) หรือแอปสโตร์ (App Store) เพราะปัจจุบันอุปกรณ์ที่ผู้ใช้ทั่วโลกใช้ในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตเป็นอุปกรณ์เคลื่อนที่มากกว่าคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Cullen, A., www, 2016)

เอกสารอ้างอิง

1. Aghaei, S., Nematbakhsh M. A. and Farsani H. K. (2012). Evolution of the World Wide Web: From Web 1.0 to Web 4.0. *International Journal of Web & Semantic Technology (IJWesT)*, Vol. 3, No. 1, pp.1-10.
2. Ajao, T. A. and Deris, S. (2013). Optimal Web Service Selection with Consideration for User's Preferences. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol.10, Issue 2, No.3, pp.355-359.
3. Al-Masri, E. and Mahmoud, Q. H. (2007). QoS-based Discovery and Ranking of Web Services. *IEEE 16th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN '07)*, pp.529-534.
4. Badr, Y., Abraham, A., Biennier, F. and Grosan, C. (2008). Enhancing Web Service Selection by User Preferences of Non-functional Features. *Proceedings of the 2008 4th International Conference on Next Generation Web Services Practices*. pp.60-65.
5. Bruno, M., Canfora, G., Penta M.D. and Scognamiglio, R. (2005). An Approach to support Web Service Classification and Annotation. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on e-Technology, e-Commerce and e-Service*, pp.138-143.
6. Cardoso, J., Sheth, A., Miler, J., Arnold, J. and Kochut, K. (2004). Quality of Service for Workflows and Web Service Processes. *Journal of Web Semantics*, Vol. 1, pp.281-308.
7. Chaari, S., Badr, Y. and Biennier, F. (2008). Enhancing web service selection by QoS-based ontology and WS-policy. *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*, March 16-20, 2008, Fortaleza, Ceara, Brazil. pp.2426-2431.
8. Chang, G. (2012). QoS-Based Web Service Selection Approach. *Software Engineering and Knowledge Engineering: Theory and Practice. Advances in Intelligent and Soft Computing*, Vol. 2, Springer, Berlin, Heidelberg. pp.887-892.
9. Choudhury, N. (2014). World Wide Web and Its Journey from Web 1.0 to Web 4.0. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 5 (6), pp.8096-8100.
10. Cullen, A. (2016). Internet Usage Worldwide: Mobile and tablet internet usage exceeds desktop for first time worldwide [On-line]. Available: <http://gs.statcounter.com/press/mobile-and-tablet-internet-usage-exceeds-desktop-for-first-time-worldwide>
11. Kuriakose, J. (2009). Understanding and Adopting Semantic Web Technology. *Cutter IT Journal. Cutter Information Corp.* 22 (9): pp.10-18.
12. Miao, D., Duan, Q., Zhang, H., and Jiao, N. (2009). Rough set based hybrid algorithm for text classification. *Expert Systems with Applications* 36(5): pp.9168-9174.
13. Miller, G. A. (1995). WordNet: a lexical database for English. *Communications of the ACM*, Vol. 38, No. 11, pp.39-41.
14. Mohebi, A., Ding, C. and Chi, C-H. (2012). Efficient QoS-based Service Selection with Consideration of User Requirements. *2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, pp.183-190.
15. Nayak, R. and Lee, B. (2007). Web service discovery with additional semantics and clustering. *Proceedings of the IEEE/WICI ACM International Conference on Web Intelligence*, pp.555-558.
16. Russell, J. and Roseby, P. (2006). *Dictionary of Leisure, Travel and Tourism* (3rd edition). A & C Black Publishers Ltd. United Kingdom.
17. Salton, G. (1988). *Automatic text processing*. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
18. Sidorov, G., Gelbukh, A., Gómez-Adorno, H., Pinto, D. (2014). Soft Similarity and Soft Cosine Measure: Similarity of Features in Vector Space Model. *Computación y Sistemas*. 18 (3): pp.491-504.

19. SKOS. (2009). Simple Knowledge Organization System Reference - W3C Recommendation [On-line]. Available: <http://www.w3.org/TR/skos-reference/>
20. Susila, and Vadivel, S. (2014). QoS Measurement Tool for Web Service Selection. *International Journal of Web Engineering* 2014, 3(1): pp.1-8.
21. Sycara, K., Paolucci, M., Soudry, J. and Srinivasan, N. (2004). Dynamic discovery and coordination of agent-based semantic web services. *IEEE Internet Computing*, Vol. 8, No. 3, pp.66-73.
22. Tabatabaei, S.G.H., Kadir, W.M.N. and Ibrahim, S. (2008). Semantic Web Service Discovery and Composition Based on AI Planning and Web Service Modeling Ontology. In *Proc. IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC '08)*, pp.387-403.
23. Tao, Y., and Kwei-Jay, L. (2004). Service selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints. *e-Commerce Technology, 2004. CEC 2004, Proceedings IEEE International Conference*. pp.129-136.
24. UNWTO. (2015a). UNWTO Tourism Highlights (2015 Edition) [On-line]. Available: <http://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284416899>
25. UNWTO. (2015b). Methodological Notes to the Tourism Statistics Database (2015 Edition). *Compendium of Tourism Statistics, Yearbook of Tourism Statistics, and Outbound tourism data*. p.21.
26. W3C-Semantic Web Activity. (2013). World Wide Web Consortium: Semantic Web Activity [On-line]. Available: <http://www.w3.org/2001/sw/>
27. W3C-SPARQL. (2013). World Wide Web Consortium: SPARQL 1.1 Overview - W3C Recommendation [On-line]. Available: <http://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>
28. W3C-WS. (2004). World Wide Web Consortium: Web Services Architecture [On-line]. Available: <https://www.w3.org/TR/ws-arch/>
29. W3C-WSMO. (2005). World Wide Web Consortium: Web service modeling ontology (WSMO). W3C Member Submission [On-line]. Available: <http://www.w3.org/Submission/WSMO>
30. Wang, H., Shi, Y., Zhou, X., et al. (2010). Web Service Classification Using Support Vector Machine. *The 22nd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2010)*, pp.3-6.
31. Wu, H. and Guo, C. (2011). The research and implementation of Web Service classification and discovery based on semantic. In *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD) 2011 15th IEEE International Conference*, pp.381-385.
32. Zhao, L., Ren, Y., Li, M. and Sakurai, K. (2012). Flexible service selection with user-specific QoS support in service-oriented architecture. *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, No. 3, pp.962-973.
33. Yang, J. and Zhou, X. (2015). Semi-automatic Web Service Classification Using Machine Learning. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, Vol. 8, No. 4, pp.339-348.
34. Sharma, S., Lather, J.S. and Dave, M. (2014). Semantic Approach for Classification of Web Services Using Unsupervised Normalized Similarity Measure. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, Vol. 6, No. 3, pp.364-372.
35. Mohanty, R., Ravi, V. and Patra, M.R. (2010). Web-services classification using intelligent techniques. *International Journal: Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 7, July 2010, pp.5484-5490.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ 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 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ 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)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

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

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

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 วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

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

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

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

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

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

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

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

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. *นักรบริหาร* 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 infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceidings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธรชัช, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูกของพริก. 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. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. 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

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakham University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.

The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

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.



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

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

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

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

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

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณัติหรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ทำxonยาง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครระเศษฐัง กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 00033



Membership Application Form

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

- One-Year membership (400 Baht)
- Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 00033

