Volume 36 Number 1 January - February 2017
ISSN : 1686-9664

Journal of
SCIENCE and TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

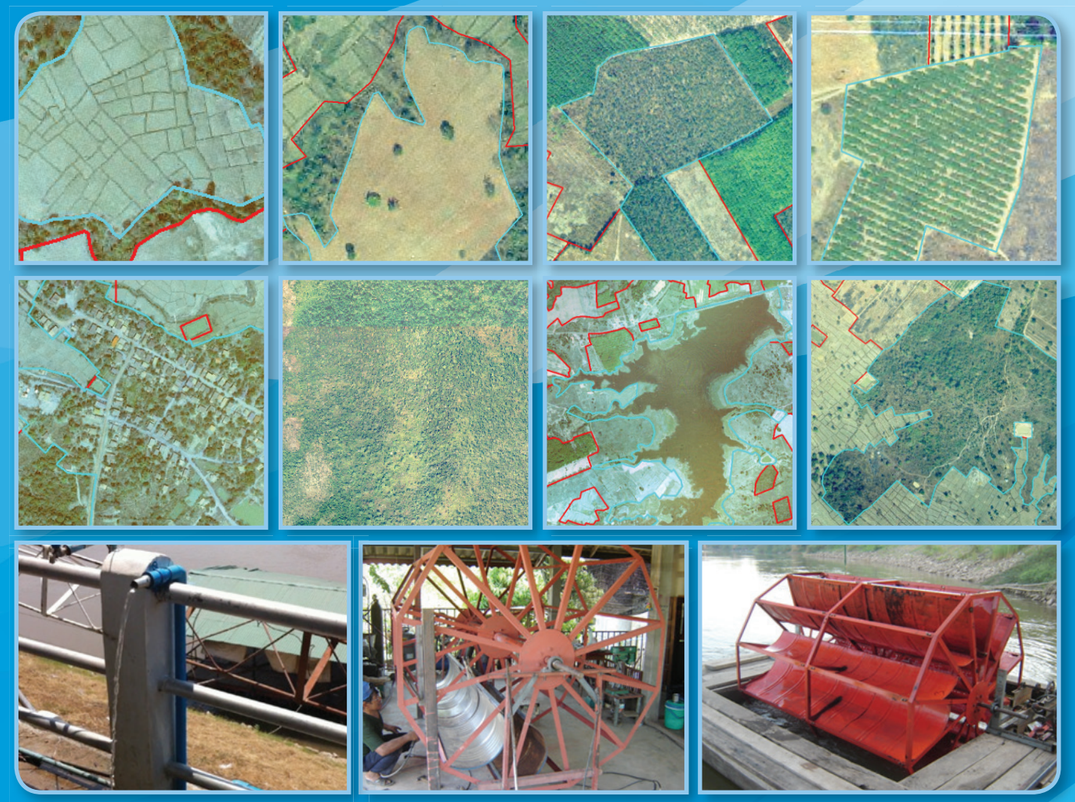
Journal of Science and Technology Mahasarakham University
were listed Thai-Journal Citation Index Centre. (Group 1)
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 36 Number 1 January - February 2017

ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2560
ISSN : 1686-9664

วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

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 นพ.ดร.เรือน สมณะ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจาพร พิชัยณรงค์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล ธรรมเจริญ
มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. ฉันทนา อารมณ์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ยืน ภู่วรวรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัววรุณ ศรีชัยกุล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา ปรสุพัฒนา
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
อาจารย์ ดร.รักษ์จินตา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก ฟ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรคะเศรษฐัง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพิชยา โชติวรรณกุล

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสีฤทธิ์
นางสาวพักตร์วิไล จันทร์ลอย

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 พฤษจิกายน - ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาติเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม http://www.journal.msu.ac.th พิมพ์ ณ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560

Mahasarakham University Journal of Science and Technology

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 Mahasarakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Mahasarakham University
Editorial Office
Division of Research Support and Development,
Khamriang Sub-distict, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

President of Mahasarakham University
Professor Dr. Reon Somana
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich

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
Associate Professor Dr.Sampan Ritthidech
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Natchaporn Pichainanong
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Pairot Pramual
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Mahasarakham University
Associate Professor Dr. Ampon Dhamacharoen
Burapha 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.Niwat Sonoamuang
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 Dr.Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Buavaroon Srichaikul
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Bungon Kumphon
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Supattra Porasuphatana
Khon Kaen University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathsni Rajabhat University
Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Mahasarakham University
Paul Dulfer
Mahasarakham University
Chaweewan Akkasesthang
Mahasarakham University

Secretary

Pichaya Chowtivannakul

Assistant secretary

Jirarat Puseerit
Phakwilai Janloy

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

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้ติดตาม วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่าน เนื่องจากวารสารของเราเป็นวารสารที่ตีพิมพ์ในรูปแบบสหสาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังนั้นวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560 นี้ เนื้อหาภายในเล่มจึงมีความหลากหลายทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สารสนเทศและวิทยาศาสตร์สุขภาพ เป็นต้น ดังนั้นท่านผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่เป็นประโยชน์หลากหลายแง่มุม สำหรับอาจารย์ นักวิจัยและนิสิต ที่สนใจส่งผลงานของท่านมาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเรา ทางกองบรรณาธิการขอเรียนกับทุกท่านว่าในปัจจุบันมีผลงานวิจัยและบทความทางวิชาการส่งเข้ามาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเราจำนวนมาก หากกระบวนการพิจารณาและขั้นตอนการตีพิมพ์มีความล่าช้าต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย อนึ่งหากท่านดำเนินการตามขั้นตอนและคำเสนอแนะของทางวารสาร ก็จะช่วยทำให้ขั้นตอนการดำเนินการรวดเร็วขึ้น ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารของเราจะช่วยเป็นสื่อกลางในการนำเสนอแนวคิดและผลงานของท่านสู่สาธารณะต่อไป

รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. วรพล เองวานิช
ผู้ช่วยบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอันเนื่องมาจากพยาธิตัวกลม *Angiostrongylus Cantonensis*

ภาพปก : ญาณิศา นราพงษ์ และคณะ. 2560, 140-147.

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู **1**

Optimal Water Allocation Criteria using the Tabu Search Technique

เกียรติพงศ์ สายเมือง, อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง

Kiattipong Saimuang, Anongrit Kangrang

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ:
กรณีศึกษาเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ **10**

Land use/land Cover Changes in a Wetland Watershed:
a Case Study of Bueng Khong Long Non-Hunting Area, Bueng Kan Province

จิระเดช มาจันแดง

Jiradech Majandang

การออกแบบและพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอย **20**

The Design and Development of a Pumping System with a Floating Turbine

พิสิษฏ์ มณีโชติ, วรวุฒิ เผ่าวงศ์,วิกานต์ วันสูงเนิน, มัทนี สงวนเสริมศรี

Pisit Maneechot, Worawuth Paowong, Wikarn Wansungnern, Mathanee Sa-nguansermsri

ผลของการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่มีต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสีย **29**

Effect of Photosynthetic Bacteria Addition on COD Removal in an Up-flow Anaerobic Filter

ธรรมนูญ ม้าวิเศษ, ทรงยศ มงคลพิศ, เพชร เพ็งชัย

Thammanoon Mavises, Songyot Mongkulphit, Petch Pengchai

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี **37**

Carbon Dioxide Emissions Assessment at Ubon Ratchathani University Dormitory

นิตยา ชาคำรุณ, พจนีย์ โยธานันท์

Nittaya Chakhamrun, Photchanee Yothanan

การดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ **45**

Adsorption of Direct Red Dye Using Rice Husk Ash

ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, สุมลรัตน์ กองวี

Panjai Saueprasearsit, Sumonrat Kongwee

ผลของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ไพลและน้ำมันไพลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค **53**

Antibacterial Activity of Peel Extracted from Magosteen (*Garcinia Mangostana* Linn.)
and Phlai (*Zingiber Montanum* Koenig) Root Extractedand Phlai Oil

วรรณี สมัปปิโต, ศุภชัย สมัปปิโต, ลือชัย บุตคุป

Wannee Samappito, Supachai Samappito, Luchai Butkhup

สารบัญ

การพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อขายสินค้าบนสมาร์ททีวีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ **61**

The Development of a Prototype Application for Product Selling through the Smart Television on an Android Operating System

ชุมศักดิ์ สีบุญเรือง

Chumsak Sibunruang

การออกแบบและพัฒนาหน้าต่างบนเว็บสำหรับอิมูเลเตอร์เครือข่าย **68**

A Design and Development of a Web Interface for Network Emulators

ธงชัย เจือจันทร์, นพรัตน์ โพธิ์สิงห์, เอกราวี คำแปล, สมสวัสดิ์ นิลดำ

Thongchai Chuachan, Nopparat Posing, Ekrawee Kamplae, Somsawut Nindam

การวิเคราะห์ความปลอดภัยและความมั่นคงสำหรับระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย **77**

An Analysis of Safety and Security for Mobile Banking Systems in Thailand

นิภาพร แสงทวี, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

Nipaporn Seangtawee, Somnuk Puangpronpitag

การประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลและแบบจำลองมาร์คอฟ เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ **91**

Application of Remote Sensing and Markov Model to Predict Land Use Change in Moon Basin, Sisaket Province

วัชรพงษ์ แสงนิล, สุรลภย์ ภูภักดิ์, กฤษนัยน์ เจริญจิตร, จารุวรรณ์ วงบุตดี

Wacharapong Saengnill, Suralob Bhubak, kitsanai Charoenjit, Jaruwan Wongbutdee

ตัวแบบพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง **100**

Forecasting Model for the Prices of Durian Mon Thong

วรางคณา เรียนสุทธิ์

Warangkhana Riansut

การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน **109**

Application of Fuzzy Logic System for Evaluating Students' Learning Achievement

สุวรรณี ธูปจีน, มณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ, มนต์ชัย เทียนทอง,

Suwannee Thoobjeen, Montean Rattanasiriwongwut, Monchai Tiantong

การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนโดยใช้ตัวจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด *k* ตำแหน่ง – วิจัยเชิงสำรวจ **117**

Handwritten Character Recognition Using *k*-Nearest Neighbors Classifier – A Survey

โอพาริก สุรินต๊ะ, กวีพจน์ บรรลือวงศ์

Olarik Surinta, Kaveepoj Bunluewong

สารบัญ

บทความวิชาการ

เป้าหมายใหม่ในการลดระดับความดันโลหิตผ่านการควบคุม
Renin-Angiotensin-Aldosterone System (RAAS) **130**
Novel Targets for Lowering Blood Pressure via a Regulation
of renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS)

ปวิตรา พูลบุตร

Pawitra Pulbutr

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอันเนื่องมาจากพยาธิตัวกลม *Angiostrongylus Cantonensis* **140**
Eosinophilic Meningitis due to *Angiostrongylus Cantonensis*

ญาณิศา นราพงษ์, นพคุณ ภักดีณรงค์

Yanisa Narapong , Noppakun Pakdeenarong

เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู

Optimal Water Allocation Criteria using the Tabu Search Technique

เกียรติพงศ์ สายเมือง,[1] อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง [2*]

Kiattipong Saimuang,[1] Anongrit Kangrang [2*]

Received: 23 February 2016; Accepted: 1 May 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ 3 กรณี คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 - พ.ศ. 2557 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำลำปาว นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 100 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาสามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีต 47 ปี จำนวน 100 ชุดข้อมูล พบว่า ยังก็ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

คำสำคัญ : โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ การหาค่าเหมาะสมที่สุด การค้นหาแบบทาบู การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

Abstract

This research aims to apply the Tabu Search technique connected with a simulation model to improve the rule curve of a reservoir. The function of three cases: the minimal average water shortage, minimal frequency of water shortages and minimal amount of water shortage were used for the objective function for the search procedure. The monthly rule curves of Lampao reservoir located in Kalasin province were considered in this study. The inflow record from 1968 to 2014, net water demand from the reservoir, hydrologic data and physical data of the Lampao reservoir were used in the study. In addition, 100 samples of generated inflow data were used to evaluate the performance of the newly obtained rule curves. The results presented the situation of water shortage and excess release in terms of frequency and duration, amount of average and maximum.

---

[1] นิสิตปริญญาโท,[2] รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1] Graduate students, [2] Assoc. Prof. ,Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

** Corresponding author; Assoc. Prof. Anongrit Kangrang, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: anongrit.k@msu.ac.th*

The results found that the proposed model with three objective functions provided new rule curves. The patterns of these new rule curves are similar due to seasonal inflow effect and simniler conditions. These obtained rule curves were used to evaluate and compare with the existing rule curves. The results present that the rule curves, using average water shortage as an objective function in the searching process, were more suitable than the other rule curves including the existing rule curves. Then, the obtained rule curves of the proposed model using average water shortage as an objective function were used to evaluate with synthetic inflow of 100 samples. There were 3 conditions including normal condition, increasing 20% of water demand and increasing 20% effective rain fall. The results also found that the new rule curves of using average water shortage as an objective function can alleviate situations of water shortage and flood more than other rule curves as well as ineluding the rule curves.

Keywords: Reservoir rule curves, Optimization techniques, Tabu Search, Reservoir management.

บทนำ

ในสภาวการณ์ปัจจุบัน ทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของประเทศ ปัญหาการขาดแคลนน้ำนั้นนับวันจะทวีความรุนแรง ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมืองตามความเจริญเติบโตของประเทศ ตลอดจนการผันแปรของสภาพภูมิอากาศอีกทั้งได้มีการเลือกสถานที่ก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสมไปเกือบหมดสิ้นแล้ว สถานที่ที่จะสามารถก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ก็มักจะประสบปัญหาที่ไม่เหมาะสมหรือมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ ซึ่งล้วนแต่เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ไม่สามารถเปิดโครงการพัฒนาแหล่งน้ำใหม่ๆ ขึ้นมา จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องความต้องการใช้น้ำ และความสามารถในการจัดสรรน้ำตามมาในภายหลัง ปัญหาเรื่องน้ำจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้นเป็นทวีคูณ ดังนั้น น้ำจึงเป็นทรัพยากรธรรมชาติของคนไทยที่ต้องมีการบริหารจัดการทั้งปริมาณและคุณภาพอย่างเป็นรูปธรรมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยทั้งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายและชุมชนในลุ่มน้ำ ควรต้องร่วมกันทบทวนและปรับปรุงกระบวนการจัดการน้ำบางส่วนให้มีความเหมาะสมกับกาลปัจจุบันด้วยแนวคิดของนโยบายที่ตั้งอยู่บนฐานแห่งความเป็นจริง และสามารถปฏิบัติได้โดยอาศัยข้อมูล ความรอบรู้ และสติปัญญาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่เข้าใจในรากเหง้าแห่งปัญหา ซึ่งการจัดการน้ำในปัจจุบันควรมีกลไกสำคัญได้แก่ การมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายในการทำงานแบบร่วมด้วยช่วยกันคิด ช่วยกันหารูปแบบและวิธีดำเนินการแก้ปัญหาต่างๆ แบบบูรณาการในทุกมิติเสมอ จึงจะบังเกิดผลสัมฤทธิ์อย่างยั่งยืนโดยไม่เกิดความขัดแย้งในสังคม

ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นใช้เครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคือ โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงและผันแปรของข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ในการจัดการอยู่ตลอดอีกทั้งไม่มีความแน่นอนตายตัว ซึ่งจะเป็นปัญหาแบบพลวัตร ดังนั้นหากได้ใช้กฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบพลวัตร ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะทำให้มีความสอดคล้องและมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพิ่มมากขึ้นได้

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วย เส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นบน (Upper Rule Curve) และเส้นล่าง (Lower Rule Curve) โค้งทั้งสองเส้นนั้นเป็นขอบเขตบนและล่างของช่วงการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยจะพยายามควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ในช่วงของขอบเขตบนและล่างมากที่สุด[1] ส่วนใหญ่โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจะเป็นโค้งรายเดือน

การศึกษาเริ่มแรกใช้วิธีลองผิดลองถูก (trial and error) ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (reservoir simulation) ในการกำหนดระดับของโค้งควบคุม[2,3] ต่อมาเริ่มใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด (Optimization techniques) ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเข้าช่วยในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม เช่น เทคนิคเจนเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA)[4] วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น (Differential Evolution Algorithm, DE)[5] กระบวนการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization, ACO)[6], และเทคนิคนกดุเหว่า (Cuckoo Search Algorithms, CS)[7,8] เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามยังมีเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเทคนิคอื่นที่น่าสนใจอีกคือ วิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search Technique) ซึ่งเป็นเทคนิคทางเลือกอีกเทคนิคหนึ่ง สำหรับการค้นหาค่าเหมาะสมที่สุด หลักการของวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู มีจุดเด่นตรงที่ไม่ได้อาศัยการสุ่มหรือเลือกจากความน่าจะเป็น แต่เป็นวิธีการค้นหาแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic)

อ่างเก็บน้ำลำปาวอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำลำปาวซึ่งมีลำน้ำลำปาวไหลผ่าน โดยลำปาวเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำชี มีต้นน้ำ

อยู่ลุ่มน้ำหนองหาน อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ไหลผ่านจังหวัดอุดรธานีไปยังจังหวัดกาฬสินธุ์ มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 262 กิโลเมตร มีลำห้วยสาขาที่สำคัญหลายสาย ได้แก่ ลำพันชาด ห้วยสังขะ ห้วยสังเคียบ และห้วยยาง ซึ่งไหลลงอ่างเก็บน้ำลำปาวด้านเหนือเขื่อน ส่วนห้วยแกงและลำน้ำดอกไม้ไหลลงลำปาวด้านท้ายเขื่อน โดยลำปาวมีพื้นที่รับน้ำ 5,960 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ชลประทานทั้งสิ้นประมาณ 314,000 ไร่ในฤดูฝน และประมาณ 180,000 ไร่ ในฤดูแล้งและได้มีการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำในช่วงปี 2549-2553 โดยโค้งควบคุมระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำลำปาวใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-3

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบูร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมแบบพลวัตร โดยใช้พื้นที่ศึกษาคืออ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำ

การศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำนิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS[9] โดยใช้หลักการสมดุลน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้น โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับเทคนิคการค้นหาแบบทาบูและการพัฒนาในอนาคต ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา)

ในการเริ่มต้นคำนวณการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำจะกำหนดให้ปริมาตรน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือปริมาตรเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงใน (Figure 1) และสมการที่ 1

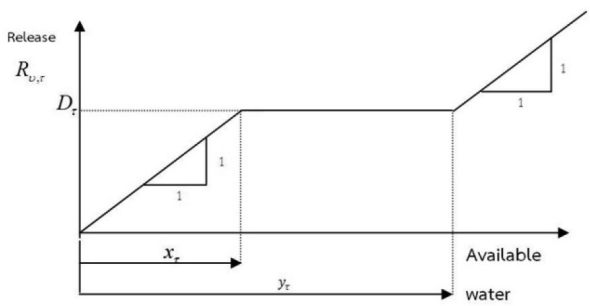


Figure 1 Standard operating rule

$$R_{u,t} = \begin{cases} D_t + W_{u,t} - y_t, \text{ for } W_{u,t} \geq y_t + D_t \\ D_t, \text{ for } x_t \leq W_{u,t} < y_t + D_t \\ D_t + W_{u,t} - x_t, \text{for } x_t - D_t \leq W_{u,t} < x_t \\ 0, \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $R_{u,t}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี n ของเดือน t (t = 1 ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_τ เป็นความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), x_τ เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน t, y_τ เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน t และ $W_{u,t}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) จากนั้นคำนวณหาน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำต่อไปนี้

$$W_{u,t+1} = S_{u,t} + Q_{u,t} - R_{u,t} - E_t - DS \quad (2)$$

เมื่อ $S_{u,t}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน t(หน่วย ล้าน ลบ.ม.), $Q_{u,t}$ เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t ปี n (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), E_t เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ *DS* (dead storage) เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกิน (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมสูงสุดต่อไป

การประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณค่าโค้งควบคุมจากแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบทาบู โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำงาน จำนวนรอบของการทำงาน สร้างเริ่มต้น โดยการสร้างเซ็ตของคำตอบ เริ่มต้น ซึ่งคือการเลือกค่าโค้งควบคุมแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จำนวน 24 ค่า เป็นการสร้างค่าโค้งควบคุมเริ่มต้น หลังจากนั้นสร้างเซ็ตของคำตอบใกล้เคียงที่เป็นไปได้ เลือกเซ็ตคำตอบใกล้เคียงที่ดีที่สุด ตรวจสอบรายการต้องห้าม

(Tabu List) พิจารณาเกณฑ์ความปรารถนา (Aspiration Criteria) โดยกำหนดเป็นเงื่อนไขสำหรับพิจารณาเซ็ตของคำตอบข้างเคียง และตรวจสอบรอบการทำงาน (Stopping Criteria) นำค่าโค้งควบคุมที่ได้มาดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Simulation) แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งควบคุมชุดนี้ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบกรณีใช้น้ำปกติและกรณีเพิ่มความต้องการใช้น้ำ ซึ่งแสดงดังสมการ (3) การทำงานของเทคนิคนี้จะเป็นแบบวนซ้ำหากยังไม่ถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้จะทำงานต่อไปจนกระทั่งเมื่อครบรอบที่กำหนดและจะได้ค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสม ดังแสดงใน (Figure 2)

$$Min\left(Aver_Sh\right) = \frac{1}{n}\sum_{v=1}^{n} Sh_v \qquad (3)$$

เมื่อ n เป็นความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน Sh_v ปริมาณน้ำที่ขาดในปี v (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ) กรณีความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดจะเปลี่ยนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนดังสมการ

$$\frac{\text{จำนวนปีที่ขาดแคลน}}{\text{จำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าทั้งหมด}} \qquad (4)$$

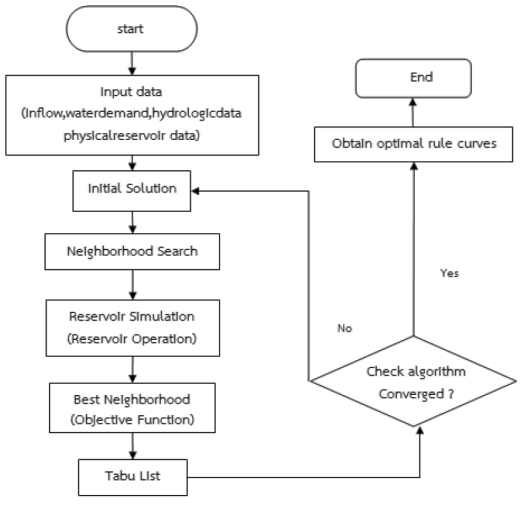


Figure 2 Application of Tabu search techniques to model simulates reservoir system.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบู

ในการศึกษานี้เลือกประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบูกับอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นลำน้ำสาขาสำคัญของแม่น้ำชีมีต้นน้ำอยู่ที่หนองหาน อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานีแล้วไหลลงมารวมกับแม่น้ำชีที่ อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังแสดงใน (Figure 3) แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำลำปาว แสดงดัง (Figure 4) ลักษณะก่อนปรับปรุงตัวเขื่อนความจุน้ำเก็บกักปกติ 1,430 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำเก็บกักปกติ 162 ม.(ร.ท.ก.) ครอบคลุม พื้นที่ชลประทานทั้งสิ้น 502.4 ตารางกิโลเมตร ต่อมาเมื่อ ปี พ.ศ.2551 ได้มีการปรับปรุงเพิ่มความจุอ่างเก็บน้ำเป็น 1,981 ล้าน ลบ.ม.ระดับน้ำเก็บกักปกติ 164 ม.(ร.ท.ก.) ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (dead storage) 100 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำลำปาว จะต้องปล่อยน้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ คือ อุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม รักษาสภาพแวดล้อมท้ายน้ำ และเพื่อการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว สำหรับพื้นที่เพาะปลูก 306,963 ไร่ ซึ่งเป็นความต้องการใช้น้ำส่วนใหญ่ที่สุด จากนั้นจะไหลลงสู่แม่น้ำชี (Figure 5) แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำปาว ระหว่างปี พ.ศ. 2511-2557 ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบทาบูจะดำเนินการโดย นำโค้งควบคุมของอ่างปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา 100 ชุดข้อมูล จากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 47 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2511 – 2557 ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้รวมถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นผ่านมา ทำการจำลองสภาพการโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยดำเนินการจำลองปฏิบัติการการอ่างเก็บน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ผลการประเมินจะแสดงรูปสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น (ความถี่ ขนาด และช่วงเวลา)

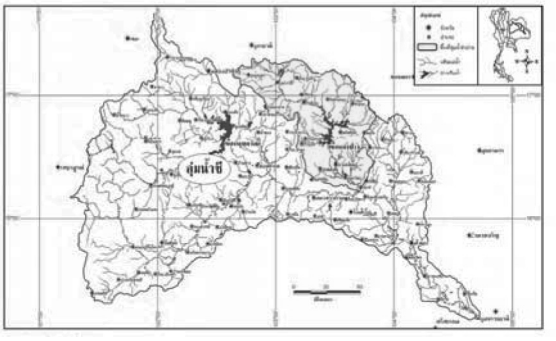


Figure 3 Lampao Reservoir Kalasin

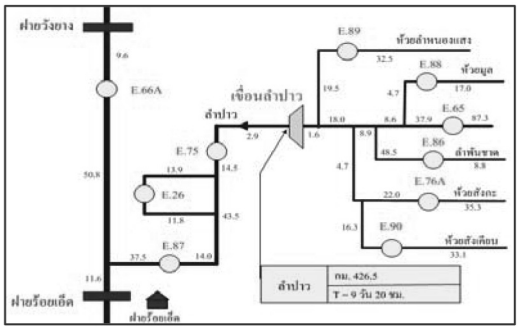


Figure 4 Diagram of Lamao Reservoir

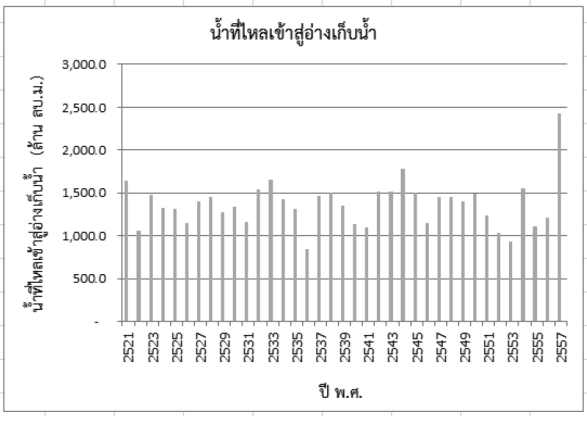


Figure 5 Inflow record from 1968 to 2014

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการสร้างโค้งควบคุมจากข้อมูลอดีต

ผลการสร้างโค้งควบคุมจากแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบร่วมกับเทคนิคการค้นหาแบบทาบู เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมด้วย โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีต 47 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2511– 2557) ใช้ความต้องน้ำรายเดือน ซึ่งโค้งควบคุมที่ได้นี้จะใช้สำหรับกรณีที่สถานการณ์น้ำเป็นปกติทั่วไป ดังแสดงใน (Figure 6) จากรูปจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่และเก่าทั้ง 3 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกัน ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยโค้งควบคุมใหม่ที่ได้มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม อย่างไรก็ตามยังมีจุดที่แตกต่างกัน เช่น โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบเดิมในช่วงฤดูแล้งคือตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นโค้งบนมีรูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้งเดิม โดยเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในฤดูแล้ง

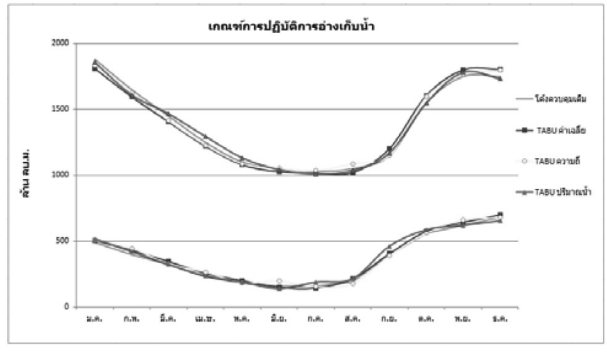


Figure 6 Reservoir rule curves Lampao reservoir original and characteristic curves Tabu three new objective function

ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู จะดำเนินการเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเก่า จะมีการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของความขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็น 3 วัตถุประสงค์คือ 1.) ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 2.) ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 3.) ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด ซึ่งประเมินโดยการจำลองสภาพสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว ใช้ข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึก 47 ปี ตั้งแต่ปี 2511-2557 ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำปี อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง-พื้นที่ผิวน้ำ-ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลำปาว ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก ในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้นเป็น พร้อมทั้งนำไปประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้ในแต่ละกรณีโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 47 ปี จำนวน 100 ชุด

Table 1 Assessment of reservoir performance curve control to assess the situation of water shortage by determining the average minimum water shortages. Frequency of water supply shortages and the lowest maximum minimum a reservoir of Lampao 47 years from 1968 to 2014

Situations (times/year)	curve	Fre-quency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
		Time/year	Average	Maximum	Average	Maximum
Water	Old	0.745	190.574	549.000	3.889	7.000
Shortage	Maximum	0.723	188.617	548.000	3.778	7.000
	Frequency	0.723	181.021	604.000	3.778	7.000
	maximum shortage	0.745	175.745	543.000	3.889	7.000
Overflow	Old	0.702	524.459	2,869.787	3.667	13.000
	Maximum	0.723	522.608	2,868.673	4.250	14.000
	Frequency	0.702	515.718	2,869.396	3.667	13.000
	maximum shortage	0.723	511.172	2,869.632	3.778	14.000

Table 2 Evaluate the performance curve control of the reservoir to assess the situation of water shortage by deter mining the average of the lowest frequency of water shortages, water scarcity and the minimal amount of shortage maximum minimal use of synthetic Lampao Reservoir. in the past 47 years from 1968 to 2014 100 series.Note : m= mean, s= standard deviation

Situations (times/year)	curve		Fre-quency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
			Time/year	Average	Maximum	Average	Maximum
Water	Old	μ	0.811	206.075	596.580	5.762	12.800
Shortage		σ	0.726	541.156	2,539.602	4.032	9.970
	Maximum	μ	0.758	195.890	616.900	4.505	11.260
		σ	0.722	527.732	2,532.607	4.066	10.070
	Frequency	μ	0.797	193.151	609.610	5.334	12.900
		σ	0.710	526.521	2,546.917	3.839	9.520
	maximum shortage	μ	0.811	199.261	602.920	5.667	13.290
		σ	0.724	532.236	2,534.583	4.033	9.980
Overflow	Old	μ	0.046	22.690	140.814	1.822	5.164
		σ	0.058	68.737	583.904	1.126	3.465
	Maximum	μ	0.044	13.433	135.454	1.119	3.958
		σ	0.050	15.022	543.164	1.092	3.965
	Frequency	μ	0.043	13.507	143.845	1.460	4.437
		σ	0.049	15.075	547.885	0.894	3.392
	maximum shortage	μ	0.038	14.201	145.069	1.453	4.404
		σ	0.053	15.687	541.001	1.047	3.808

Table 1 จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู ปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 188.617 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 522.608 ล้าน ลบ.ม. ส่วนโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว พบว่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 190.574 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 524.459 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของ

การศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.019 ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.723 ครั้ง/ปี สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้นเท่ากับ 0.702 ครั้ง/ปีส่วนโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว พบว่า ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 0.745 ครั้ง/ปี และสถานการณ์ความถี่ของการไหลล้น เท่ากับ 0.723 ครั้ง/ปี จะเห็นได้ว่าความถี่ของการเกิดสถานการณ์ ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.0002 ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 543.000 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2,869.632 ล้าน ลบ.ม. ส่วนโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวพบว่าค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เท่ากับ 549.000 ล้าน ลบ.ม. และการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2,870.243 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าค่ามากที่สุดของปริมาณน้ำของสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของ การขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.006

(Table 2) จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำพบว่าแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู ปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 195.890 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 13.433 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 206.075 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 22.690 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.101 ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.797 ครั้ง/ปี สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น เท่ากับ 0.043 ครั้ง/ปี และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.811 ครั้ง/ปี และสถานการณ์ความถี่ของการไหลล้น เท่ากับ 0.046 ครั้ง/ปี จะเห็นได้ว่าความถี่ของการเกิดสถานการณ์ ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของโค้งของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.0001 ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 602.920 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 145.069 ล้าน ลบ.ม. และค่ามากที่สุดของปริมาณน้ำพบว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 596.580 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 140.814 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าค่ามากที่สุดของปริมาณน้ำของสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่ามากกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.063

ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่กรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำ

จากการทดสอบในหัวข้อ ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่นั้นพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การหาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดสามารถบรรเทาน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งทีเกิดจากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดและค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำโค้งควบคุมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทดสอบเพิ่มเติมอีกโดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% และใช้ ข้อมูล 47 ปี ตั้งแต่พ.ศ.2511-พ.ศ.2557 ประกอบด้วย การไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุด ข้อมูล ปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำปี อัตราการระเหย เฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง-พื้นที่ผิวน้ำ-ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลำปาว ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก

Table 3 Evaluate the performance curve control of the water reservoir, the irrigation rose 20% to assess the situation of water shortage by determining the average minimum water shortages. A reservoir of LamPao synthesized in the past 47 years from 1968 to 2014 100

Situations (times/year)	curve		Fre-quency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
			Time/year	Average	Maximum	Average	Maximum
Water Shortage	Old	μ	0.981	350.954	903.990	43.180	43.180
		σ	0.622	413.114	2287.885	2.949	7.190
	New	μ	0.873	338.161	930.370	8.697	17.800
		σ	0.604	396.147	2279.821	2.814	6.800
Overflow	Old	μ	0.009	30.144	172.440	0.386	0.386
		σ	0.059	62.997	564.096	0.610	2.107
	New	μ	0.037	17.097	148.711	4.502	6.326
		σ	0.052	18.098	523.853	0.551	2.089

Note : m= mean, s= standard deviation

Table 4 Evaluate the performance curve of reservoir control for the rain increased 20% to assess the situation of water shortage by determining the average minimum water shortages. A reservoir of LamPao synthesized in the past 47 years from 1968 to 2014 100 series.

Situations (times/year)	curve		Fre-quency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
			Time/year	Average	Maximum	Average	Maximum
Water Shortage	Old	μ	0.805	200.081	583.370	5.587	12.620
		σ	0.730	547.938	2,552.495	4.057	10.110
	New	μ	0.752	189.281	603.020	4.376	11.010
		σ	0.727	533.858	2542.523	4.127	10.210
Overflow	Old	μ	0.047	22.149	139.454	1.801	5.185
		σ	0.057	68.965	584.847	1.068	3.567
	New	μ	0.043	12.976	134.586	1.056	3.912
		σ	0.051	14.774	544.997	1.181	4.120

Note : m= mean, s= standard deviation

(Table 3) จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูได้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 338.161 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่าการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 17.097 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำของของว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 350.954 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 30.144 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บ

น้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.127

(Table 4) จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูได้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 189.281 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้น พบว่าการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 12.976 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำของโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บ

น้ำลำปาว ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 200.081 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 22.149 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่

สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบูมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร้อยละของการขาดแคลนน้ำที่ต่างเท่ากับ 0.108

สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ 1) ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 2) ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 3) ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด โดยการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ พบว่าทั้ง 3 กรณีได้โค้งควบคุมที่มีรูปร่างใกล้เคียงกันและผลการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนยังได้ผลที่ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม อย่างไรก็ตามยังมีจุดที่แตกต่างกัน เช่น โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบเดิมในช่วงฤดูแล้งคือตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นโค้งบนมีรูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้งเดิม โดยเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในฤดูแล้ง ถัดไปเมื่อนำโค้งทั้ง 3 กรณีไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล พบว่ายังก็ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ กรมชลประทาน ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ในการใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ขอบคุณอาจารย์สุดารัตน์ คำปลิว สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลสังเคราะห์

บรรณานุกรม

1. Kumar D. and Baliarsingh F. Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. Water Resour Manage, 17, 337-353, 2003.
2. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (EGAT), 2545. “คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์”
3. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (EGAT), 2547. “คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำภูมิพลและสิริกิตติ์”
4. Chang J.F., Chen L. & Chang C.L. (2005). Optimizing reservoir operating rule curves by genetic algorithms. Hydrological Processes, 19, 2277–2289.
5. Hormwichian R. & Kangrang A. (2012) Coupled-operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. International Journal of Physical Sciences, 7(42), 5701–5710.
6. Kangrang A. & Lokham C. (2013). Optimal reservoir rule curves considering conditional ant colony optimization with simulation model. American Journal of Applied Sciences, 13(1), 154–160
7. กิตติพงษ์ จรัญศิริไพศาล. (2555). การเพิ่มความถูกต้องของตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์ แมทชีนแบบค่ากาลังสองน้อยที่สุดด้วยขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบนกดุเหว่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. Yang, X.S. & Deb, S. (2009). Cuckoo search via Lavy flights. In Deb, S., Abraham, A., & Herrera, F. (Eds.). World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, 9-11 December 2009, pp. 210 – 214, Coimbatore, India.
9. Leticia B. Rodriguez. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream–aquifer interactions in a drainage basin. Journal of Hydrology, 353, 129–142.
10. Kangrang A. & Chaleeraktrakoon C. (2007). Genetic algorithms connected simulation with smoothing function for searching rule curves. American Journal of Applied Sciences, 4(2), 73-79

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ: กรณีศึกษาเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ

Land use/land Cover Changes in a Wetland Watershed: a Case Study of Bueng Khong Long Non-Hunting Area, Bueng Kan Province

จิระเดช มาจันแดง[1*]

Jiradech Majandang[1*]

Received: 29 March 2016; Accepted: 6 June 2016

บทคัดย่อ

เขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นการติดตามแหล่งกำเนิดมลพิษที่อาจชะล้างลงไปในพื้นที่ชุ่มน้ำในฤดูฝน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงระหว่างปี พ.ศ. 2545 ถึง 2556 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินใช้วิธีการแปลตีความด้วยสายตาจากภาพถ่ายออร์โทสีปี พ.ศ. 2545 และภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงปี พ.ศ. 2556 ผลการประเมินความถูกต้องด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ของปี พ.ศ. 2545 และ 2556 เท่ากับ 0.923 และ 0.911 ตามลำดับ ผลการจำแนกในปี พ.ศ. 2545 พบว่าพื้นที่ป่าไม้มีเนื้อที่มากที่สุดประมาณ 60.95 ตารางกิโลเมตร (26.15 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ยางพาราเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหลักในปี พ.ศ. 2556 มีเนื้อที่ประมาณ 84.29 ตารางกิโลเมตร (36.16 เปอร์เซ็นต์) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2545 ถึง 2556 ที่สำคัญคือ พื้นที่พืชไร่มีเนื้อที่ลดลงจาก 46.34 ตารางกิโลเมตร เหลือเพียง 4.24 ตารางกิโลเมตร ส่วนพื้นที่ยางพารามีเนื้อที่เพิ่มขึ้นจาก 17.35 ตารางกิโลเมตร เป็น 84.29 ตารางกิโลเมตร

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ เขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง

Abstract

Bueng Khon Long Non-Hunting Area is one of the most important wetlands in the Northeast of Thailand. The analytical process of land use/land cover (LU/LC) changes within a wetland watershed is used to observe the sources of pollution that are possibly leaching into wetlands during the rainy season. The aim of the study was to analyze LU/LC changes in a wetland watershed of Bueng Khong Long non-hunting area from 2002 to 2013. Various LU/LC classes were mapped by using visual interpretation based on color orthophoto in 2002 and high-resolution satellite imagery in 2013. The accuracy assessment using the kappa coefficient for 2002 and 2013 were 0.923 and 0.911, respectively. The classification in 2002 indicated that forest land was the largest area about 60.95 km^2 (26.15%) while para rubber was the major LU/LC class of the area in 2013, about 84.29 km^2 (36.16%). LU/LC change detection between 2002 and 2013 significantly revealed that field crop areas have decreased from 46.34 km^2 to 4.24 km^2 while para rubber areas have increased from 17.35 km^2 to 84.29 km^2.

Keywords: land use/land cover changes, wetland watershed, Bung Khong Long Non-Hunting Area

---

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150*

[1] *Assist. Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand.*

* *Corresponding author; Jiradech Majandang, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Jiradech_m@hotmail.com*

บทนำ

พื้นที่ชุ่มน้ำนับเป็นระบบนิเวศสำคัญของโลก[1] มีการให้บริการของระบบนิเวศ (Ecosystem services) ในหลากหลายรูปแบบ[1,2,3,4] ทั้งช่วยป้องกันน้ำท่วม[5] ปรับปรุงให้คุณภาพน้ำดีขึ้น[6] แหล่งกักเก็บคาร์บอน[7] แหล่งเพิ่มเติมน้ำบาดาลที่มีความสำคัญ[2] และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์หลายชนิด[8,9] พื้นที่ชุ่มน้ำจึงมีความสำคัญทั้งทางด้านการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ ด้านป้องกันภัยธรรมชาติ ด้านเศรษฐกิจ และด้านการศึกษาวิจัย[10]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่ชุ่มน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก และมีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ที่พึ่งพาอาศัยและผูกผันกับพื้นที่ชุ่มน้ำ ไม่ว่าจะเป็นสังคมชนบทหรือสังคมเมือง ซึ่งผลประโยชน์ที่ได้รับจากพื้นที่ชุ่มน้ำแต่ละแห่งอาจแตกต่างกันไป แต่ผลประโยชน์ที่ได้รับจะได้รับมาอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องยาวนานโดยไม่ต้องซื้อหา[11] จากการสำรวจจัดทำบัญชีรายชื่อ สถานภาพ และฐานข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำของประเทศไทย ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม[12] พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ชุ่มน้ำประมาณ 21 ล้านไร่ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยป่าชายเลน ป่าพรุ หนอง บึง สนุ่น ทุ่งนา และแม่น้ำ

ปัญหาการคุกคามพื้นที่ชุมน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากการขาดความเข้าใจต่อความสำคัญทางเศรษฐกิจที่แท้จริงของพื้นที่ชุมน้ำ จากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งการใช้ทรัพยากรในพื้นที่ชุมน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำ การระบายน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม มลภาวะจากน้ำเสียในครัวเรือน และอุตสาหกรรม[10]

อนุสัญญาว่าด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ หรืออนุสัญญาแรมซาร์ (Ramsar) เป็นความตกลงระหว่างประเทศที่กำหนดกรอบการทำงานสำหรับความร่วมมือระหว่างประเทศ เพื่อการอนุรักษ์แหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออนุรักษ์และยับยั้งการสูญหายของระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำในโลก โดยการสนับสนุนให้มีการใช้ประโยชน์อย่างชาญฉลาด[10] มติคณะรัฐมนตรี วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2540 เห็นชอบให้ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นภาคีใหม่ และวันที่ 13 พฤษภาคม 2541 สำนักเลขาธิการอนุสัญญาว่าด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้ประกาศให้ประเทศไทยเป็นภาคีว่าด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำลำดับที่ 110[13]

พื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 22.14 ตารางกิโลเมตร หรือ 13,837.5 ไร่ จัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประเภททะเลสาบ (Lacustrine) ถูกประกาศให้เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระหว่างประเทศลำดับที่ 1098 (Ramsar Site No. 1098) เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2544[13] บึงโขงหลงเป็นแหล่งน้ำที่มีศักยภาพทางการประมงและเอื้ออำนวยประโยชน์ให้แก่ประชาชนที่พึ่งพิงทรัพยากรประมง[14,15] ปลาที่ถูกจับได้มีไม่ต่ำกว่า 62 ชนิด (Species) จาก 41 สกุล (Genera) และจาก 21 วงศ์ (Family) ปลาที่จัดอยู่ในวงศ์ปลาตะเพียน ซิว สร้อย (Cyprinidae) เป็นกลุ่มปลาที่ถูกจับมากที่สุด คือ 25 ชนิด[16] มีปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยชาวประมงเฉลี่ย 4.7 กิโลกรัมต่อรายต่อวัน[14] นอกจากนี้ยังพบนกกว่า 67 ชนิด แยกตามหลักอนุกรมวิธานได้ 13 อันดับ (Order) 28 วงศ์ 52 สกุล เป็นนกประจำถิ่นอย่างน้อย 44 ชนิด นกอพยพที่ไม่ผสมพันธุ์ในประเทศไทยอย่างน้อย 33 ชนิด และนกอพยพผ่านประเทศไทยอย่างน้อย 4 ชนิด (นกบางชนิดอาจมีสถานภาพการปรากฏเป็นได้หลายแบบ)[13] รวมถึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตร การท่องเที่ยว เป็นแหล่งน้ำดิบที่ใช้ทำน้ำประปาของเทศบาลตำบลบึงโขงหลง[14]

การใช้ประโยชน์ที่ดินรอบบึงโขงหลงเมื่อ ปี พ.ศ. 2538 พบการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักคือ พืชไร่ นาข้าว พื้นที่ป่า คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 39.50 31.37 15.01 ตามลำดับ[13] หลังจากนั้นมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินรอบบึงโขงหลงในรัศมี 5 กิโลเมตร ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง 2554 ของจิระเดช มาจันแดง[17] พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภทค่อนข้างมาก ในปี พ.ศ. 2543 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่พืชไร่ (30.91 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด) ส่วนในปี พ.ศ. 2554 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล (56.39 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่พืชไร่ในปี พ.ศ. 2543 โดยมากถูกเปลี่ยนให้เป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผลในปี พ.ศ. 2554 พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผลที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา อย่างไรก็ดีการศึกษานี้ไม่ได้จำแนกพื้นที่ปลูกยางพาราออกจากพื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล เนื่องจากข้อจำกัดด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม อีกทั้งพื้นที่ศึกษายังไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงทั้งหมด ซึ่งทำหน้าที่รองรับน้ำและตะกอนดินที่ถูกชะล้างจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ลงไปในพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง และอาจส่งผลให้คุณภาพน้ำภายในบึงเปลี่ยนแปลงไป

กิจกรรมของมนุษย์จากการใช้ประโยชน์ที่ดินในลักษณะต่างๆ เป็นแหล่งที่มาสำคัญของมลพิษที่สามารถปนเปื้อนลงสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาล เช่น กิจกรรมการเกษตรจากการใช้สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ และปุ๋ยในปริมาณมาก[18,19,20] น้ำเสียจากครัวเรือนและอุตสาหกรรม

เป็นต้น รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินจะผันแปรไปตามความต้องการของมนุษย์ เทคโนโลยี และสภาพเศรษฐกิจ[21] การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนับเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ทั้งในมาตราส่วนเชิงพื้นที่และเวลา[22] และมีส่วนสำคัญในการติดตามกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่อาจส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม[23] รวมถึงเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม[24]

ดังนั้นการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำจึงมีความสำคัญ ในการระบุตำแหน่งและการกระจายตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภทที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ และสามารถปนเปื้อนลงสู่พื้นที่ชุ่มน้ำได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการและวางแผนการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำต่อไป การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ. 2545 ถึง 2556

วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ 1. จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และ 2. ประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Figure 1)

จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

1. การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ทั้งในส่วนของข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ และข้อมูลภาพ ประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน 1:50,000 หมายเลขระวาง 5744I 5745II 5844IV และ 5843III ชั้นข้อมูลขอบเขตการปกครอง แหล่งน้ำผิวดิน แม่น้ำ ถนน เส้นชั้นความสูง ข้อมูลภาพประกอบด้วย ภาพถ่ายออร์โทสี ปี พ.ศ. 2545 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่มีมาตราส่วน 1:4,000 และภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง จากเว็บไซต์ http://www.bing.com/maps/ ในช่วงปี พ.ศ. 2556 ถึง 2558

2. การลากขอบเขตพื้นที่รับน้ำ

ลากขอบเขตพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง พิจารณาจากข้อมูลเส้นชั้นความสูง แม่น้ำ และถนนที่ได้จากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ร่วมกับภาพถ่ายออร์โทสี

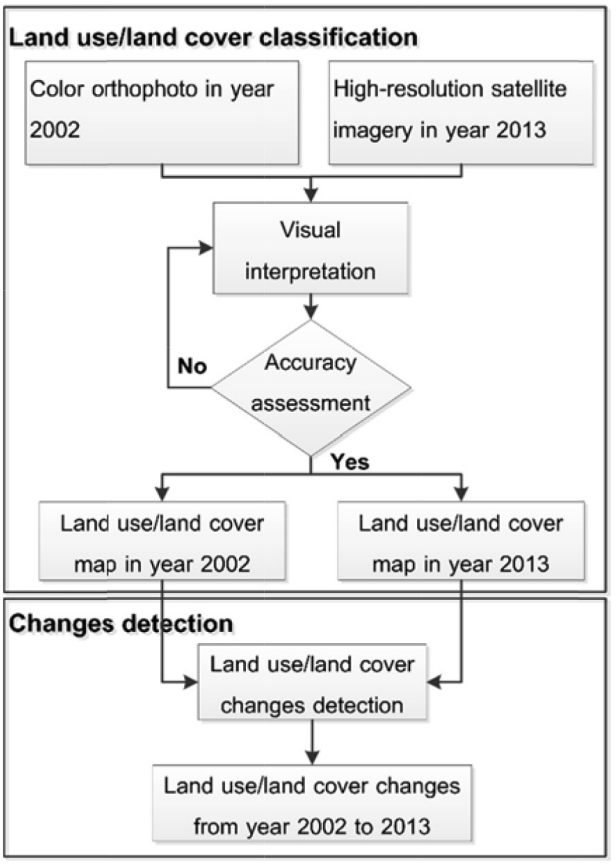


Figure 1 Flow diagram of Land use/land cover

3. การจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

จำแนกข้อมูลภาพด้วยวิธีการแปลตีความด้วยสายตาผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ พิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ ที่ปรากฏภายในภาพ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง เงา วรรณะสี สี ลายผิว แบบรูป ที่ตั้ง ตำแหน่งที่ตั้งและการเชื่อมโยง เป็นต้น

4. การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก

เปรียบเทียบผลการจำแนกกับข้อมูลอ้างอิงด้วยตารางเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (Error matrices) ดังแสดงใน (Table 1) และประเมินความถูกต้องจากค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์ Kappa

ค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) และความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) หาได้จากสมการ

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_{ii}}{N}$$

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

$$\text{User's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{+i}}$$

เมื่อ k คือ จำนวนของแถว หมายถึง ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในเมทริกซ์

n_{ii} คือ จำนวนของจุดอ้างอิงในแถว i และคอลัมน์ i

n_{i+} คือ ผลรวมจุดอ้างอิงของแถว i

n_{+i} คือ ผลรวมจุดอ้างอิงของคอลัมน์ i

N คือ จำนวนจุดอ้างอิงทั้งหมด

สัมประสิทธิ์ Kappa ($\hat{K}$) หาได้จากสมการ

$$\hat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{k} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k}\left(n_{i+} \times n_{+i}\right)}{N^2 - \sum_{i=1}^{k}\left(n_{i+} \times n_{+i}\right)}$$

Table 1 Error matrices for accuracy assessment

		Ground reference Test Information				
Remote Sensing Classifcation	**Class**	**1**	**2**	**3**	**k**	**Row total**
	1	$n_{1,1}$	$n_{1,2}$	$n_{1,3}$	$n_{1,k}$	$n_{1,+}$
	2	$n_{2,1}$	$n_{2,2}$	$n_{2,3}$	$n_{2,k}$	$n_{2,+}$
	3	$n_{3,1}$	$n_{3,2}$	$n_{3,3}$	$n_{3,k}$	$n_{3,+}$
	k	$n_{k,1}$	$n_{k,2}$	$n_{k,3}$	$n_{k,k}$	$n_{k,+}$
	Column total	$n_{+,1}$	$n_{+,2}$	$n_{+,3}$	$n_{+,k}$	N

ประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

ประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ด้วยเทคนิคการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลการจำแนกข้อมูลใน 2 ช่วงเวลาจากตารางเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง (Change detection matrix)

ผลการศึกษา

ขอบเขตพื้นที่รับน้ำ

พื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของบึงโขงหลง (Figure 2) ในเขตอำเภอบึงกาฬ บุ่งคล้า บึงโขงหลง และเซกา มีอาณาเขตครอบคลุมพิกัดเชิงพื้นที่ระหว่าง 380665E ถึง 400026E และ 1985847N ถึง 2012028N ในระบบพิกัด WGS 84 zone 48 มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 233.10 ตารางกิโลเมตร หรือ 145,687.50 ไร่

การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

การศึกษาครั้งนี้แบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเป็น 8 ประเภทตามการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหลักๆ ของพื้นที่ประกอบด้วย พื้นที่นา (Paddy field) พื้นที่พืชไร่ (Field crop) พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล (Perennial and orchard) พื้นที่ยางพารา (Para rubber) พื้นที่ป่าไม้ (Forest land) พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง (Urban and built-up land) พื้นที่แหล่งน้ำ (Water body) และพื้นที่อื่นๆ (Miscellaneous land) โดยมีตัวอย่างการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายออร์โธสีดังแสดงใน (Figure 3)

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ปี พ.ศ. 2545 พบว่าพื้นที่ป่าไม้เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีพื้นที่มากที่สุด มีเนื้อที่ประมาณ 60.95 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 26.15 ของพื้นที่ทั้งหมด (Table 2) พื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ (Figure 4) ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูวัว นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ภายในบึงโขงหลง คือ พื้นที่ป่าดอนหม้อทอง และดอนสวรรค์ ถัดมาเป็นพื้นที่พืชไร่มีเนื้อที่ประมาณ 46.34 ตารางกิโลเมตร (19.88 เปอร์เซ็นต์) พื้นที่นา พื้นที่อื่นๆ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ยางพารา พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล และพื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง มีเนื้อที่ 32.01, 29.78, 28.28, 17.35, 10.94 และ 7.45 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ปี พ.ศ. 2556 พบว่าพื้นที่ยางพาราเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีพื้นที่มากที่สุด มีเนื้อที่ประมาณ 84.29 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 36.16 ของพื้นที่ทั้งหมด เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2545 ถึง 66.94 ตารางกิโลเมตร กระจายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ ถัดมาเป็นพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่นา พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล และพื้นที่พืชไร่ มีเนื้อที่ 57.61, 28.70, 27.16, 16.95, 7.67, 6.49 และ 4.24 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

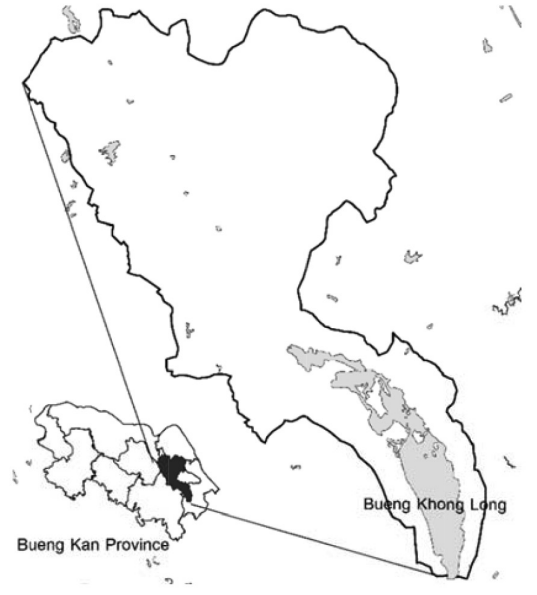


Figure 2 Wetland watershed area of Bueng Khong Long

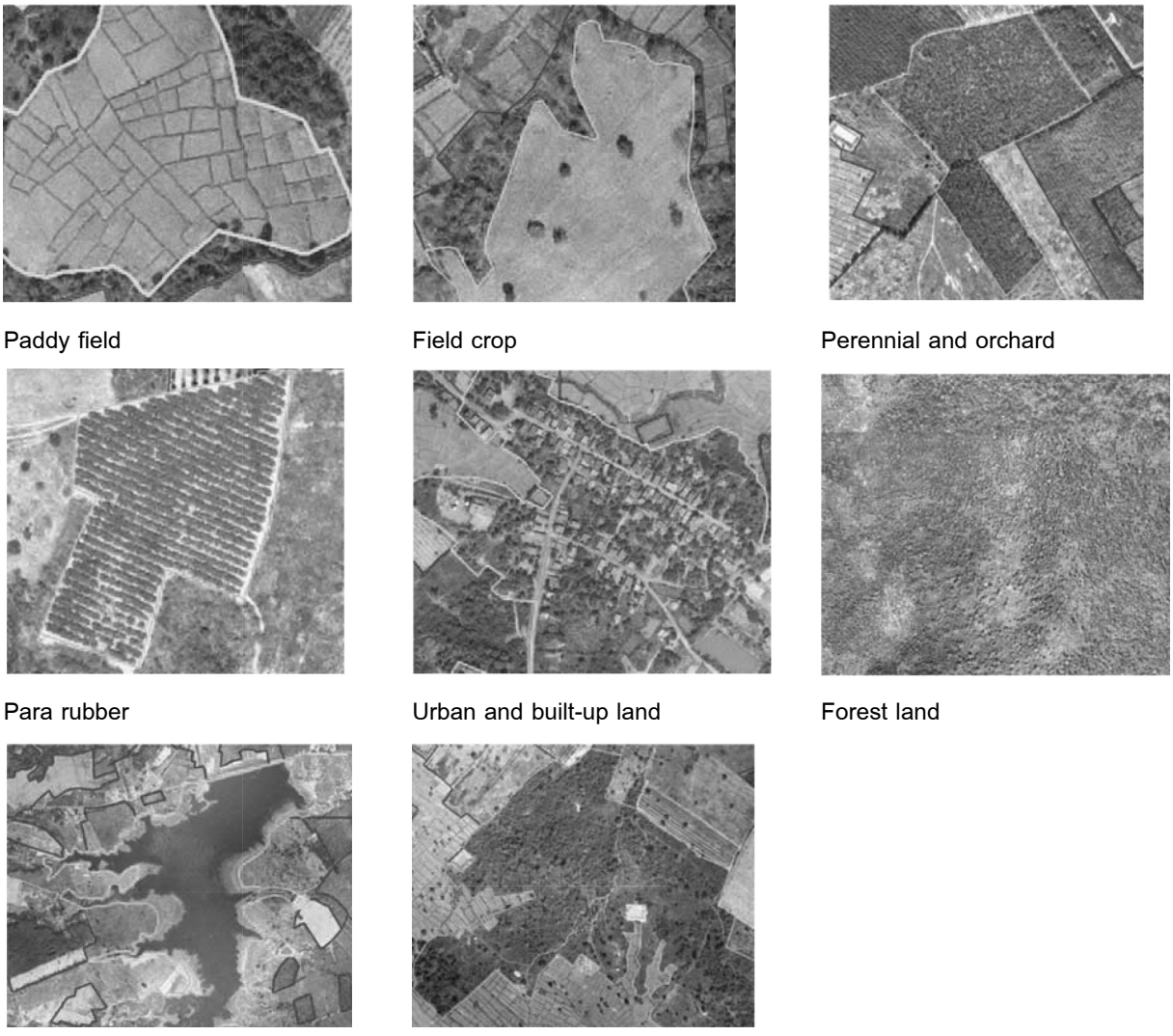


Figure 3 Example of land use/land cover classification from color orthophoto imagery

Table 2 Land use/land cover area

Land use/land cover class	2002		2013		Change
	Km^2	%	Km^2	%	
Paddy field	32.01	13.73	27.16	11.65	-4.85
Field crop	46.34	19.88	4.24	1.82	-42.10
Perennial and orchard	10.94	4.69	6.49	2.78	-4.45
Para rubber	17.35	7.44	84.29	36.16	+66.94
Forest land	60.95	26.15	57.61	24.71	-3.34
Urban and built-up land	7.45	3.20	7.67	3.29	+0.22
Water body	28.28	12.13	28.70	12.31	+0.42
Miscellaneous land	29.78	12.78	16.94	7.27	-12.84

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีพื้นที่ลดลงประกอบด้วย พื้นที่พืชไร่ พื้นที่อื่นๆ พื้นที่นา พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล และพื้นที่ป่าไม้ เนื้อที่ลดลง 42.10, 12.84, 4.85, 4.45 และ 33.34 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ยางพารา พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง เนื้อที่เพิ่มขึ้น 66.94, 0.42 และ 0.22 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

ความถูกต้องของการจำแนก

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินทั้ง 2 ช่วงเวลาใช้จุดตัวอย่างในการตรวจสอบเท่ากันคือ 400 จุด ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกพบว่ามีความถูกต้องค่อนข้างสูง ในปี พ.ศ. 2545 ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 93.25% และค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.923 ส่วนการประเมินความถูกต้องในปี พ.ศ. 2556 ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 92.25% และค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.911

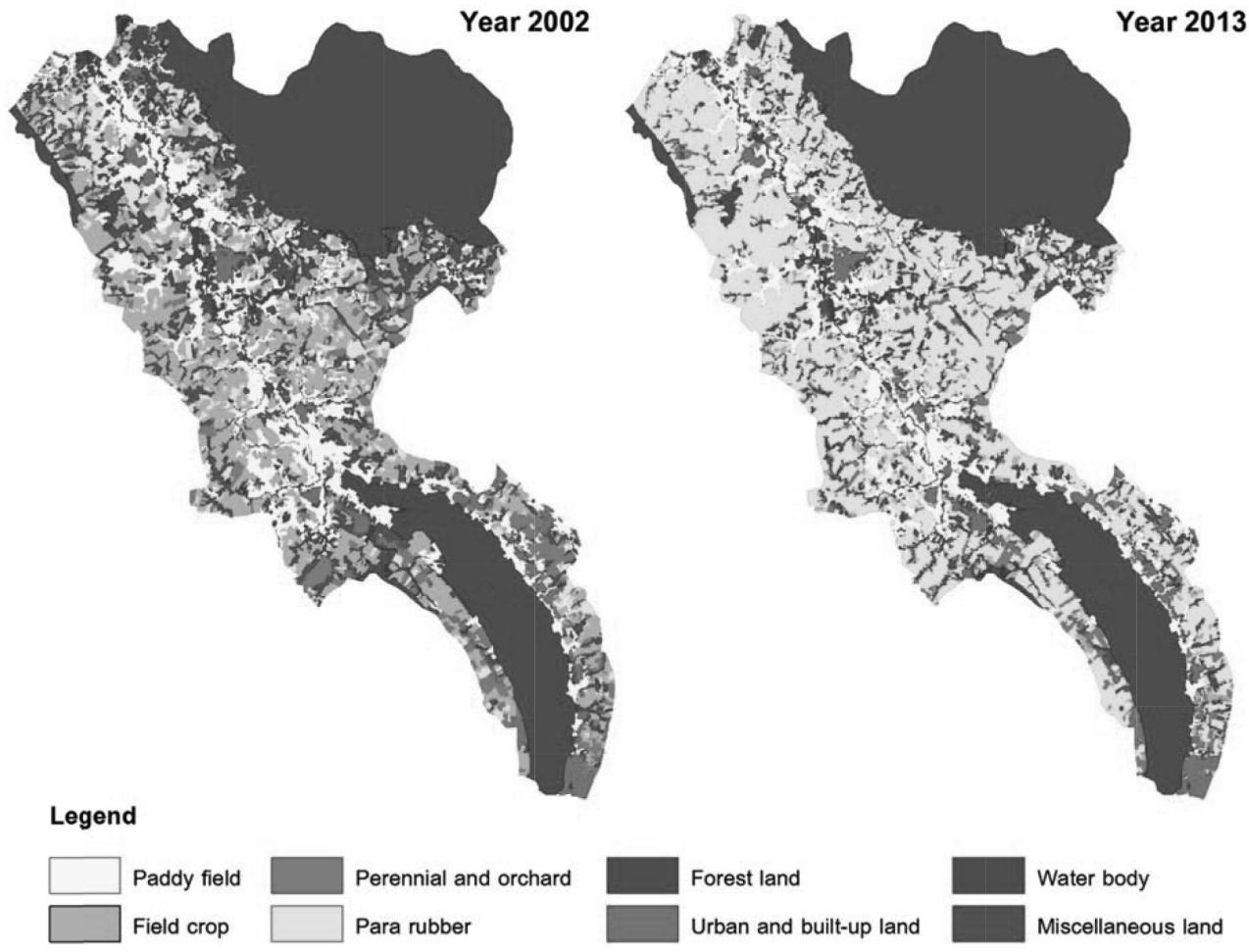


Figure 4 Land use/land cover map in year 2002 and 2013

พื้นที่นา พื้นที่พืชไร่ พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต และความถูกต้องของผู้ใช้ของทั้ง 2 ช่วงเวลาสูง (Table 3) เนื่องจากมีลักษณะเด่นที่ปรากฏภายในภาพเฉพาะตัว ทำให้สามารถจำแนกได้ง่าย

พื้นที่ยางพารา ในปี พ.ศ. 2556 มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตต่ำที่สุด คือ 79.69% จากความผิดพลาดของการจำแนก โดยจำแนกพื้นที่ยางพาราเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่น เนื่องจากพื้นที่บางส่วนอาจเป็นพื้นที่โล่งที่อยู่ในช่วงของการเตรียมแปลงทำให้เกิดความผิดพลาดได้ และพื้นที่อื่นๆ เป็นพื้นที่ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต และความถูกต้องของผู้ใช้ต่ำในทั้ง 2 ช่วงเวลา

Table 3 Accuracy assessment results (%)

Land use/land cover class	2002		2013	
	Producer's accuracy	User's accuracy	Producer's accuracy	User's accuracy
Paddy field	87.27	96.00	89.66	96.30
Field crop	93.33	89.36	100.00	91.67
Perennial and orchard	88.24	95.74	97.83	86.54
Para rubber	100.00	93.88	79.69	100.00
Forest land	97.96	92.31	100.00	100.00
Urban and built-up land	100.00	100.00	97.92	94.00
Water body	100.00	94.00	95.83	93.88
Miscellaneous land	82.46	85.45	84.91	77.59

ความผิดพลาดของการจำแนกส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาพื้นที่ขนาดเล็กที่กระจายปะปนกันระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทต่างๆ ทำให้บางส่วนไม่ได้จำแนกออก โดยอาจรวมเข้าไปกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหลักในบริเวณนั้น ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินบางประเภทได้ แต่ความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกยังมีค่าสูง

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

จากตารางเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของทั้ง 2 ช่วงเวลา แถวแสดงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2545 และคอลัมน์แสดงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2556 (Table 4) พบว่าพื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย มีเนื้อที่เพิ่มขึ้นจาก 28.28 และ 7.45 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2545 เป็น 28.70 และ 7.67 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2556 เพิ่มขึ้นเพียง 0.42 และ 0.22 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.95 และ 1.49 ของพื้นที่ในปี 2545 ตามลำดับ

พื้นที่อื่นๆ พื้นที่นา พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล และพื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ลดลงจาก 29.78, 32.01, 10.94 และ 60.95 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2545 เหลือเพียง 16.94, 27.16, 6.49 และ 57.61 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2556 ลดลง 12.84, 4.85, 4.45 และ 3.34 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 43.12, 15.15, 40.68 และ 5.48 ของพื้นที่ในปี 2545 ตามลำดับ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ยางพารา ในปี พ.ศ. 2556

พื้นที่พืชไร่เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีเนื้อที่ลดลงมากที่สุดจาก 46.34 ตารางกิโลเมตรในปี 2545 เหลือเพียง 4.24 ตารางกิโลเมตร ในปี 2556 ลดลง 42.10 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 90.85 ของพื้นที่ในปี 2545 มีพื้นที่เดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพียง 2.97 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ยางพาราในปี 2556 ถึง 38.91 ตารางกิโลเมตร

Table 4 Land use/land cover transformations in the study area (2002–2013)

Change (Area: km^2) Paddy field		Land use/land cover class in 2013								
		Paddy field	Field crop	Perennial and orchard	Para rubber	Forest land	Urban and built-up land	Water body	Miscellaneous land	Class total
Land use/land cover class in 2002	Paddy field	25.25	0.25	0.80	4.40	0.00	0.12	0.24	0.95	32.01
	Field crop	0.55	2.97	1.39	38.91	0.00	0.31	0.10	2.11	46.34
	Perennial and orchard	0.04	0.19	2.89	7.05	0.00	0.12	0.02	0.62	10.94
	Para rubber	0.00	0.09	0.06	17.09	0.00	0.01	0.00	0.09	17.35
	Forest land	0.01	0.00	0.21	2.61	57.58	0.02	0.03	0.49	60.95
	Urban and built-up land	0.02	0.08	0.04	0.48	0.00	6.77	0.01	0.05	7.45
	Water body	0.08	0.00	0.09	0.07	0.00	0.01	28.00	0.03	28.28
	Miscellaneous land	1.20	0.65	1.01	13.68	0.03	0.33	0.28	12.60	29.78
Class total		27.16	4.24	6.49	84.29	57.61	7.67	28.70	16.94	233.10

พื้นที่ยางพารามีเนื้อที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดจาก 17.35 ตารางกิโลเมตร ในปี 2545 เป็น 84.29 ตารางกิโลเมตร ในปี 2556 เพิ่มขึ้น 66.94 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นมาจากพื้นที่พืชไร่ พื้นที่อื่นๆ พื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล พื้นที่นา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำจำนวน 38.91 13.68 7.05 4.40 2.61 0.48 และ 0.07 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 58.13 20.44 10.53 6.57 3.90 0.72 และ 0.10 ของเนื้อที่ยางพาราทั้งหมดในปี 2556 ตามลำดับ

วิจารณ์และสรุปผล

พื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญอีกแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นแหล่งทรัพยากรประมงที่มีศักยภาพ แหล่งอาศัยของทั้งนกอพยพและประจำถิ่น ร่วมถึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญเพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตร และการท่องเที่ยว จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2545 ถึง 2556 ในพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง พบว่าพื้นที่ยางพารามีเนื้อที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงในรัศมี 5 กิโลเมตร ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง 2554 ของ จิระเดช มาจันแดง[17] พบว่าพื้นที่ไม้ยืนต้นและไม้ผล ในปี พ.ศ. 2554 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ยางพารา มีเนื้อที่เพิ่มขึ้นถึง 90.51 ตารางกิโลเมตร การขยายตัวของพื้นที่ปลูกยางพาราเกิดจากนโยบายของโครงการสนับสนุนให้ปลูกยางพาราเพื่อยกระดับรายได้ ในแหล่งปลูกยางใหม่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ระยะที่ 1-3 ของรัฐบาล รวมถึงราคายางพาราที่มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะราคายางแผ่นดิบในปี 2554 สูงถึงกิโลกรัมละ 170 บาท เป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกยางพารามากขึ้น[25] ส่งผลให้พื้นที่ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากการศึกษาการติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราบริเวณจังหวัดมุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม THEOS ของ รัศมี สุวรรณวีระกำธร และคณะ[26] พบว่าพื้นที่ปลูกยางพาราจากปี พ.ศ. 2545, 2549, 2552, 2553 และ 2554 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ 38.82, 78.65, 194.12, 285.62 และ 349.12 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และจากรายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทย [27, 28, 29] ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าพื้นที่ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปี พ.ศ. 2550 จนถึงปี พ.ศ. 2558 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจังหวัดบึงกาฬเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังเป็นจังหวัดที่มีผลผลิตต่อไร่สูงที่สุดของภาคอีกด้วย เนื่องจากมีสภาพดินที่อุดมสมบูรณ์ และฝนตกชุก[25]

เนื่องจากยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่ต้องการการดูแลอย่างต่อเนื่อง เกษตรกรจึงมีการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อช่วยให้ต้นยางพารามีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอและสามารถกรีดเอาน้ำยางได้ในเวลา 5-6 ปี หลังปลูก[30] อีกทั้งการใส่ปุ๋ยหลังเปิดกรีดยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเพิ่มผลผลิตของยางพารา[31] นอกจากนี้ยังมีการใช้สารกำจัดวัชพืช เพื่อกำจัดวัชพืชที่ขึ้นรบกวนต้นยาง ที่อาจเป็นสาเหตุให้ต้นยางแคระแกรน[30] จากการศึกษาการผลิตยางพาราของเกษตรกร อำเภอบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ ของสุวิท บริสุทธ์ และคณะ[32] โดยสุ่มเกษตรกรจำนวน 340 ราย จากเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับสำนักงานเกษตรอำเภอบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ ที่เปิดกรีดยาง จำนวน 2,282 ราย พบว่าอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีหลังเปิดกรีด เฉลี่ย 1.15 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และการกำจัดวัชพืชก่อนเปิดกรีดยางส่วนใหญ่ใช้วิธีพ่นสารกำจัดวัชพืช และการศึกษาของสมศักดิ์ พุ่มช่วย[33] ในเรื่องความรู้ความคิดเห็น และการปฏิบัติของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดวัชพืชในสวนยางพาราการณีศึกษาจังหวัดหนองคาย โดยสุ่มเกษตรกร 327 ราย จากเกษตรกรเจ้าของสวนยางพาราที่ได้รับการสงเคราะห์จากสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางและใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดวัชพืชในจังหวัดหนองคาย จำนวน 1,792 ราย พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ ใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต มีอัตราการใช้ 200 ซีซี.ต่อน้ำ 20 ลิตร ในปริมาณ 10-20 ลิตรต่อปี เฉลี่ย 1.1 ลิตรต่อไร่ต่อปี

จากการใช้ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดวัชพืชที่เกี่ยวข้องกับการปลูกยางพาราในปริมาณค่อนข้างสูง หากสารเคมีเหล่านี้ถูกชะล้างลงไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ อาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำได้ จากรายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำจากการปลูกยางพาราของสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ[34] พบว่ามลพิษทางน้ำจากการปลูกยางพาราที่สำคัญ ได้แก่ มลพิษจากธาตุอาหารส่วนเกินในรูปไนโตรเจน (Total nitrogen: TN) สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) และบีโอดี (Biochemical oxygen demand: BOD) ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ปุ๋ย และสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ในปี พ.ศ. 2555 จังหวัดบึงกาฬ มีพื้นที่ปลูกยางพารา 643,206 ไร่ มีปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในรูปไนโตรเจนทั้งหมด 141,505 กิโลกรัมต่อปี ในรูปสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช 38,592 กิโลกรัมต่อปี ในรูปบีโอดี 456,676 กิโลกรัมต่อปี

ถึงแม้ว่าปัจจุบันราคายางพาราแผ่นดิบคุณภาพดี ลดลงเหลือกิโลกรัมละ 44.14 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาประมูล ณ ตลาดกลางยางพาราหนองคาย วันที่ 22 มีนาคม 2559)[35] อาจส่งผลให้เกิดการชะลอการขยายพื้นที่การเพาะปลูก แต่พื้นที่ปลูกเดิมก็ไม่ได้มีจำนวนลดลงมากนัก จากการรายงานสถานการณ์ยางพาราและการปรับตัวของเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[25] พบว่าเกษตรกรบางส่วนมีการปรับตัวรับกับสถานการณ์ยางพาราที่ตกต่ำ โดยการหารายได้เพิ่มเติมหลังจากการกรีดยางเสร็จแล้ว เช่น การรับจ้างทั่วไป รับจ้างก่อสร้าง ปลูกผักขายเป็นรายได้เพิ่มเติม ในส่วนของจังหวัดบึงกาฬ นายพงศักดิ์ ปรีชาวิทย์ ผู้ว่าราชการจังหวัดบึงกาฬ

ได้ให้สัมภาษณ์ในหนังสือพิมพ์มติชน ฉบับวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2558[36] ถึงผลกระทบจากราคายางพาราตกต่ำว่า จังหวัดบึงกาฬได้รับความเดือนร้อนจากราคายางพาราตกต่ำเช่นกัน แต่ไม่มาก เพราะ 85% ของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราจะเป็นคนกรีดยางเอง เป็นจุดแข็งของจังหวัดบึงกาฬ ถ้าขยันมากก็กรีดได้มาก เกษตรกรยังคงมีรายได้จากการปลูกยางพารา

จากการที่พื้นที่รับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ยางพารา และยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการเฝ้าระวังถึงการปนเปื้อนมลพิษในพื้นที่ชุ่มน้ำบึงโขงหลงอย่างต่อเนื่อง มีการบริหารจัดการและให้ความรู้แก่เกษตรในการลดปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ เพื่อลดแหล่งมลพิษที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ รวมถึงการวางแผนและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในพื้นที่รับน้ำ

สำหรับการวิจัยครั้งต่อไป อาจพิจารณาทำวิจัยในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในพื้นที่รับน้ำในอนาคต ที่อาจเกิดการขยายตัวของพื้นที่ยางพาราเพิ่มมากขึ้น หรือลดลงจากสถานการณ์ราคายางพาราที่ตกต่ำอย่างต่อเนื่อง เกษตรกรอาจเปลี่ยนไปปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นที่ให้รายได้มากกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณมลพิษที่ลงสู่พื้นที่ชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ รวมถึงควรมีการวิจัยติดตามคุณภาพน้ำทั้งในส่วนของพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลงเอง และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่อยู่ภายในพื้นที่รับน้ำด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการและวางแผนการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556 คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. Mitsch WJ, Gosselink JG. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecol Econ. 2000; 30(1): 25-33
2. Ehrenfeld JG. Evaluating wetlands within an urban context. Ecol Eng. 2000; 15:253-265.
3. Semilitsch RD, Bodie R. Are small, isolated wetlands expendable? Conserv Biol. 1998; 12(5):1129-1133.
4. Tabacchi E, Correll DL, Hauer R, Pinay G, Planty-Tabacchi A, Wissmar RC. Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. Freshwater Biol. 1998; 40:497-516.
5. Hey DL, Philippi NS. Flood reduction through wetland restoration: The Upper Mississippi River Basin as a case history. Restor Ecol. 1995; 3(1):4-17.
6. Jeng H, Hong Y. Assessment of a natural wetland for use in wastewater remediation. Environ Monit Assess. 2005; 111(1-3):113-131.
7. Mitra S, Wassman R, Vlek PL. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Curr Sci India. 2005; 88(1):25-35.
8. Gibbs JP. Wetland loss and biodiversity conservation. Conserv Biol. 2000; 14(1):314-317.
9. Trebitz AS, Morrice JA, Taylor DL, Anderson RL, West CW, Kelly JR. Hydromorphic determinants of aquatic habitat variability in Lake Superior coastal wetlands. Wetlands. 2005; 25(3):505-519.
10. มงคล ไชยภักดี, วัลยา ชนิตตาวงศ์. สถานการณ์และการบริหารจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า; 2551.
11. ศันสนีย์ ชูแวว. การอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำกับการพัฒนาที่ยั่งยืน. วารสารนิเวศวิทยา. 2536; 20(2) : 51-63.
12. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สถานภาพพื้นที่ชุ่มน้ำของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม; 2542.
13. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. ความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำบึงโขงหลง. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม; 2545.
14. แสงอรุณ เนื่องสิทธิ์, นงนุช สุวรรณเพ็ง, ผ่องใส จันทร์ศรี, พงศ์เทพ จันทรชิต. สภาวะการประมงและผลจับสัตว์น้ำในบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง; 2557.
15. นิศาชล ฤาแก้วมา, ประมุข ฤาแก้วมา, จุฑารัตน์ พิมพา. ความหลากชนิดลูกปลาในบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ. แก่นเกษตร. 2558; 43(ฉบับพิเศษ 1).
16. วิรัช จิ๋วแหยม. การศึกษาคุณภาพน้ำและสถานภาพของทรัพยากรประมงเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำ: เขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง จังหวัดหนองคาย. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย; 2553.

17. จิระเดช มาจันแดง. การประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดภูมิทัศน์สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ชุ่มน้ำ: เขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงโขงหลง. วารสารวิจัย มสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558; 8(1):25-43.
18. Soutte M, Musy A. Coupling 1D Monte-Carlo simulations and geostatistics to assess groundwater vulnerability to pesticide contamination on a regional scale. J Contam Hydrol. 1998; 32:25-39.
19. Lake IR, Lovett AA, Hiscock KM, Betson M, Foley A, Sünnenberg G, Evers S, Fletcher S. Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. J Environ Manage. 2003; 68(3):315-328.
20. Chae G, Kim K, Yun S, Kim K, Kim S, Choi B, Kim H, Rhee CW. Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility. Chemosphere. 2004; 55:369-378.
21. ประชา อินทรแก้ว, ประเทือง จินตสกุล, วาสนา ภานุรักษ์. การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณในการจำแนกข้อมูลดาวเทียมเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำลำตะคองตอนล่าง. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา; 2547.
22. Lambin EF. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Prog Phys Geog. 1997; 21(3) : 375-393.
23. Lopez E, Bocco G, Mendoza M, Duhau E. Predicting land cover and land use change in the urban fringe a case in Morelia City, Mexico. Landscape Urban Plan. 2001; 55(4):271-285.
24. Muttitanon W, Tripathi NK. Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. Int J Remote Sens. 2005; 26(11):2311-2323.
25. สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สถานการณ์ยางพาราและการปรับตัวของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ; 2558.
26. รัศมี สุวรรณวีระกำธร, วาสนา พุฒกลาง, อุราวรรณ จันทร์เกษ, พัทยา คำแดง, พงษ์เทพ วรรณรส, ศิริพร กมลธรรม. การติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพารา บริเวณจังหวัดมุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม THEOS. ใน: การสัมมนาวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศประจำปี 2555 “เข้าใจ.เข้าถึงพื้นที่ด้วนเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ”; 2555.
27. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร; 2553.
28. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร; 2556.
29. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร; 2559.
30. จารึก บุญศรีรัตน์, อารักษ์ จันทุมา, สมพงศ์ สุขมาก. คำแนะนำการใช้สารเคมีปราบวัชพืชในสวนยาง. ว.ยางพารา. 2534; 2(1):4-18.
31. เวท ไทยนุกูล, โสภา โพธิวัตถุธรรม. การใช้ปุ๋ยยางพาราหลังเปิดกรีด. ว.ยางพารา. 2528; 6(7): 129-141.
32. สุวิท บริสุทธิ์, จินดา ขลิบทอง, เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ. การผลิตยางพาราของเกษตรกรอำเภอบึงโขงหลง จังหวัดบึงกาฬ. ใน: การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4; 2557.
33. สมศักดิ์ พุ่มช่วย. ความรู้ ความคิดเห็น และการปฏิบัติของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดวัชพืชในสวนยางพารา : กรณีศึกษา จังหวัดหนองคาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชุมชนและชนบท. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2544.
34. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. รายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำจากการปลูกยางพารา. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรมควบคุมมลพิษ; 2556.
35. สำนักงานตลาดกลางยางพาราหนองคาย. ราคาประมูลตลาดกลางยางพาราหนองคาย. [Online].; 2559. สืบค้นจาก http://www. rubbernongkhai.com/. 2 พฤษภาคม 2559.
36. มงคล เสียงใส. พงษ์ศักดิ์ ปรีชาวิทย์ ผวจ.บึงกาฬ หนุนยางพารา พัฒนาเมือง-ท่องเที่ยว. มติชน 2 กุมภาพันธ์ 2558; หน้า 27.

การออกแบบและพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอย

The Design and Development of a Pumping System with a Floating Turbine

พิสิษฏ์ มณีโชติ,[1*] วรวุฒิ เผ่าวงศ์,[2] วิกานต์ วันสูงเนิน,[3] มัทนี สงวนเสริมศรี[4]

Pisit Maneechot,[1*] Worawuth Paowong,[2] Wikarn Wansungnern,[3] Mathanee Sa-nguansermsri[4]

Received: 25 December 2015; Accepted: 28 March 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอย เพื่อใช้ในชุมชนที่มีพื้นที่ใกล้กับแม่น้ำ สามารถนำน้ำจากแม่น้ำขึ้นมาใช้ได้โดยอาศัยแรงจากกระแสน้ำ โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ (ระยะเฮด) 20 เมตร และอัตราการไหล 1,500 ลิตร/ชั่วโมง ที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.5 เมตร/วินาที ผลการออกแบบโดยใช้หลักการของการออกแบบกังหันน้ำเพื่อสูบน้ำสำหรับชุมชนพบว่าจะต้องใช้ขนาดของกังหันน้ำที่มีความกว้าง 2.4 เมตร ใบพัดมีลักษณะโค้งกินน้ำลึก 0.5 เมตร จำนวนใบพัดทั้งหมด 12 ใบ ผลการทดลองของระบบสูบน้ำพบว่าระบบสามารถสูบได้เฉลี่ยอยู่ที่ 7.02 ลิตรต่อนาที โดยความเร็วของกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.34 - 0.43 เมตรต่อวินาที เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 1 เดือน เมื่อประหยัดค่าไฟฟ้าจากปั๊มน้ำจำนวน 5 ปี ต้นทุนต่อหน่วย 0.0018 บาทต่อลิตร ระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยที่สร้างขึ้น สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดต่อปีเท่ากับ 2,457.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อใช้กำลังในการสูบน้ำเท่ากับ 500 วัตต์

คำสำคัญ: กังหันน้ำชุมชน กังหันสูบน้ำ กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย

Abstract

This research focused on the design and development of a pumping system with a floating turbine. A system of this description would be mainly used in a community that typically obtains its water from a nearby river using the power of the tide. A design was determined for a 20 meter head at a flow rate of 1500 l/h. Consequently, a water velocity of 0.5 m/s acquired the turbine structure which is 2.4 meters in width. The turbine vane has a parabolic shape with 12 vanes that become submerged to 0.5 meters. The study results (assuming an average flow rate of pumped water) are 7.02 L/min, at a water velocity of 0.34 -0.43 m/s. In addition, an economic analysis of the system was undertaken considering a payback period of 1 year 1 month. The cost per unit was 0.0018 baht/L. Carbon dioxide emission reduction was 2,457.2 $kgCo_2$ equivalents per year.

Keywords: floating turbine, turbine pumping system, pumping system with floating turbine

---

[1] อาจารย์, [2]นิสิตปริญญาโท,[3] เจ้าหน้าที่วิจัย, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[4] รองศาตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Lecturer, [2]Master degree student, [3]Researcher, School of Renewable Energy Technology, Naresuan University ,Phitsanulok, 65000, Thailand.

[4] Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.

** Corresponding author; Pisit Maneechot, Renewaboy@gmail.com*

บทนำ

วัดกำแพงมณี อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก เป็นวัดที่มีพื้นที่ติดกับแม่น้ำน่านซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักทางภาคเหนือ มีการใช้น้ำจากแม่น้ำเพื่อใช้รดต้นไม้ ทำความสะอาดบริเวณวัดอีกทั้งยังเป็นแหล่งแจกจ่ายน้ำให้กับชุมชนที่มีความต้องการน้ำใช้ในช่วงที่ไม่สามารถใช้น้ำประปาได้ ซึ่งในอดีตจะต้องใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าในการสูบน้ำจากแม่น้ำ ทำให้ทางวัดมีภาระค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะฤดูที่น้ำขาดแคลน เช่น ฤดูร้อน วัดกำแพงมณีจึงมีแนวความคิดในการที่จะนำพลังงานน้ำจากแม่น้ำ ซึ่งมีความเร็วของกระแสน้ำประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาที มาผลักกังหันที่ต่อกับเครื่องสูบน้ำมาใช้ในกิจการของวัดที่มีความสูง จากระดับน้ำถึงตลิ่งตั้งแต่ 15 - 20 เมตร จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนากังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย เพื่อให้สามารถสูบน้ำที่มีความเร็วของกระแสน้ำอยู่ที่ ประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งต้องใช้ใบพัดที่มีแรงต้านสูงมีลักษณะเป็นรูปตัวซี และมีระดับความสูงต่างกันระหว่างผิวน้ำกับริมฝั่งแม่น้ำ 15 - 20 เมตร เพื่อทางวัดกำแพงมณีจะสามารถใช้ระบบสูบน้ำแบบทุ่นลอยในการสูบน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภค และยังสามารถสร้างระบบต้นแบบเพื่อให้เป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทน ในการนำพลังงานจากกระแสน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงมีนักวิจัยหลายๆ ท่านได้เล็งเห็นและให้ความสำคัญในเรื่องดังกล่าวดังจะเห็นได้จากงานวิจัยหลายๆ ชิ้น[1] ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้โดยสร้างเครื่องสูบน้ำโดยใช้พลังงานกลจากกังหันน้ำ ซึ่งตัวกังหันทำจากเหล็ก ใบกังหันเป็นแบบใบตรง กำลังจากกังหันถูกส่งผ่านเพลาไปยังชุดทดรอบซึ่งประกอบด้วยชุดโซ่ และสายพาน เพื่อเพิ่มความเร็วรอบที่ใช้ขับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก[2] ออกแบบสร้างกังหันน้ำสำหรับสูบน้ำแบบทุ่นลอยโดยมุ่งใช้วัสดุที่มีราคาต่ำ และหาได้ง่ายตามท้องตลาด เพื่อใช้กับแหล่งน้ำในชนบท กังหันน้ำประกอบไปด้วยใบพัดซึ่งทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตรผ่าซีกให้มีขนาดความกว้าง 0.90 เมตร สูง 0.5 เมตร จำนวน 16 ใบ[3] กังหันน้ำสูบน้ำทุ่นลอยเหมาะที่จะนำไปใช้สูบน้ำในแม่น้ำลำธาร หรือคลองส่งน้ำที่ความเร็วของกระแสน้ำตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป โดยที่แม่น้ำจะต้องมีความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร และมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร กังหันน้ำสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลเข้าไปผลักดันใบพัดให้หมุนแล้วส่งกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำด้วยเฟืองจานโซ่และสายพาน สามารถสูบน้ำได้ตั้งแต่ 16.67 - 166.67 ลิตรต่อนาที ยกน้ำได้สูงถึง 45 เมตร ปริมาณน้ำจะสูบได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความสูงในการยกน้ำในขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำไหลคงที่

สมการพลังงาน (Energy Equation)

เครื่องกังหันน้ำและเครื่องสูบน้ำ ในพฤติกรรมของเครื่องจักรกลชลศาสตร์ล้วนมีการสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ดังนั้นสมการพลังงาน สามารถปรับเพิ่มเติมให้สอดคล้องกับการไหลจริง ในสภาวะการไหลคงที่ได้เป็น

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+H_{pump}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+H_{turbine}+h_{\ell_T} \qquad (1)$$

เมื่อ $\frac{p_1}{\gamma}$ คือ หัวพลังงานเนื่องจากความดัน (Pressure head)

z_1 คือ หัวพลังงานเนื่องจากความสูง (elevation head)

$\frac{V_1^2}{2g}$ คือ หัวพลังงานเนื่องจากความเร็วการไหล (Velocity head

H_{pump} คือ หัวพลังงานของเครื่องสูบน้ำ

$H_{turbine}$ คือ หัวพลังงานของกังหันน้ำ

h_{ℓ_T} คือ หัวพลังงานสูญเสียรวม

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ (head loss by pipe friction) ของ Hazen-Williams สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$h_{\ell} = \frac{RLQ^{1.852}}{D^{4.8704}} \qquad (2)$$

เมื่อ R ในระบบ SI = $\frac{10.675}{C^{1.852}}$

L คือ ความยาวท่อ (เมตร)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาตร์เมตรต่อวินาที)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient) โดยที่ค่า C เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ ดัง (Table 1)

Table1 Discharge Coefficient

Type of pipe	C
Smooth and straight pipe	140
Asbestos cement pipes	140
Concrete pipe, New Cast Iron Pipe	130
Mild Steel pipes	120
Earthen pipe, Riveted steel pipe	110
Old Cast Iron Pipe	100
Very old pipes	60-80

Note. Manual assembly for teaching hydraulics and fluid mechanics [4]

หลักการออกแบบกังหันน้ำเพื่อสูบน้ำสำหรับชุมชน

1. การออกแบบลักษณะและขนาดของใบพัด

การออกแบบลักษณะและขนาดของใบพัด จะคำนึงถึงลักษณะของการต้านการไหลของใบพัดกับขนาดความกว้างและความยาวของใบกังหัน โดยในการหาขนาดของใบพัดจะใช้ความสัมพันธ์กันระหว่างกำลังที่ต้องใช้สำหรับเครื่องสูบน้ำกับพื้นที่ในการต้านการไหลของวัตถุ

เครื่องสูบน้ำที่นำมาใช้ในระบบ เลือกเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ เนื่องจากใช้กำลังต่ำแต่ให้แรงดันสูง จึงเลือกเครื่องสูบน้ำรุ่น UMA 1500 ซึ่งใช้กำลังน้อย สามารถสูบน้ำได้ 1500 ลิตรต่อชั่วโมง (0.00042 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ที่ประสิทธิภาพ 60 % ดังนั้นจึงต้องหากำลังที่ใช้สำหรับเครื่องสูบน้ำ

จากสมการพลังงาน (1)

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+H_{pump}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+H_{turbine}+h_{\ell_T}$$

กำหนดให้

$p_1 = p_2 =$ ความดันบรรยากาศท้องถิ่น = 0

$v_1 = v_2 =$ ความเร็วเท่ากัน = 0

หาความสูงของระบบ

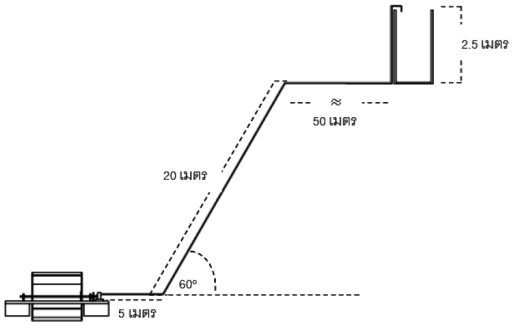


Figure 1 The pumping system with floating turbine

จาก (Figure 1) ความสูงของระบบ = 20sin60º + 2.5 = 19.7 เมตร

การสูญเสียพลังงานในท่อใช้สมการของ Hazen-Williams (2)

$$h_{\ell} = \frac{10.675 \times 75 \times 0.00042^{1.852}}{140^{1.852} \times 0.025^{4.8704}} = 3.0\text{m}$$

โดยการสูญเสียพลังงานรองในท่อคิดเป็น 10% ของการสูญเสียพลังงานหลักในท่อเท่ากับ 0.3 เมตร ดังนั้นการสูญเสียพลังงานรวมในท่อจะเท่ากับ

$$h_{\ell_T} = h_{\ell} + h_{\ell_m} = 3.3 \text{ m}$$

ดังนั้น $H_{pump} = z_2 - z_1 + h_{\ell_T} = 23$ m

การหากำลังเชิงชลศาสตร์[5]

$$P = \gamma Q H_{pump}$$

$$P = 94.76 \text{ W} \quad (3)$$

P = 94.76 W

กำลังที่คำนวณได้เป็นกำลังทางทฤษฎี ดังนั้นในกรณีที่เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพ 60% คำนวณหากำลังจริงที่ต้องให้แก่เครื่องสูบน้ำจะได้เท่ากับ

$$\eta_p = \frac{P_{p,the}}{P_{p,act}}$$

$$P_{p,act} = \frac{94.76}{0.6} = 157.9 \text{ W} \quad (4)$$

ในการออกแบบระบบใส่ค่า safety factor สำหรับค่ากำลังของชุดกังหันน้ำเท่ากับ 1.1 ดังนั้นกำลังที่ต้องให้กับเครื่องสูบน้ำจะมีค่าเท่ากับ 173.69 วัตต์ นำค่ากำลังของกังหันนี้มาหาค่าแรงบิดของกังหัน[6]

จาก $P_T = \frac{2\pi TN}{60}$ (5)

จะได้ $T = \frac{60P_t}{2\pi N}$ (6)

จากสมการข้างต้นจะต้องหาความเร็วรอบ(*N*) ของกังหันก่อน โดยในขณะที่กังหันหมุนในสภาวะคงตัว ความเร็วของใบกังหันจะมีค่าประมาณเท่ากับความเร็วของกระแสน้ำที่เข้าปะทะ ดังนั้นจะมีค่าเท่ากับ V_T = 0.5 เมตรต่อวินาที รัศมีของใบกังหัน ใช้ค่าเฉลี่ยที่กึ่งกลางใบ (Figure 2) ดังนั้นจะสามารถหาค่าได้จาก R = 0.5+(0.5/2) = 0.75 เมตร นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ (7)

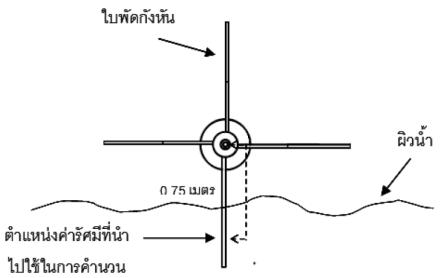


Figure 2 Position the radius

จาก $$V_T = \frac{2\pi RN}{60} \quad (7)$$

จะได้ $N = \frac{60V_T}{2\pi R}$ = 6.37 rpm

แทนค่า N ในสมการ (6)

$$T = \frac{60 \times 173.69}{2\pi(6.37)} = 260.53 \text{ N.m}$$

การหาค่าแรงที่กระทำ

$$F = \frac{T}{R} \quad (8)$$

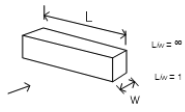
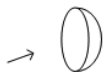
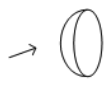
ดังนั้น F = 347.37 N

นำค่าแรงที่ได้ไปหาขนาดของพื้นที่ใบกังหัน จากสมการที่ (9) ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการไหล (drag coefficient)[7]

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (9)$$

จากสมการข้างต้น ค่า C_D ที่นำมาใช้ เลือกที่มีค่า C_D สูงเพื่อให้เกิดแรงต้าน ดังนั้นตามตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสำหรับวัตถุรูปทรงต่าง ๆ เลือกค่า C_D =2.3 ใบของกังหันจะมีลักษณะโค้งเป็นรูปตัว C

Table 2 Drag Coefficient[5]

Material		C_D(Re≥10^5)
Square cylinder		2.05 1.05
Disk		1.17
Hemispher shell		1.42
Hemispher shell		0.38
Half-tube		2.30
Half-tube		1.20

จะได้ $A = \frac{2 \times 347.37}{2.3 \times 1000 \times 0.5^2} = 1.2\text{m}^2$

พื้นที่ใบที่ได้จากการคำนวณเท่ากัน 1.20 ตารางเมตร ต้องการให้ความลึกในการกินน้ำของใบกังหันเท่ากับ 0.5 m (ด้านกว้าง) จะสามารถหาความยาวของใบกังหันจาก

ความยาวของใบกังหัน $= \frac{1.20}{0.5} = 2.40$ m

ดังนั้นจะได้ขนาดของใบกังหันที่มีลักษณะโค้ง ด้านกว้าง 0.5 เมตร ด้านยาว 2.4 เมตร

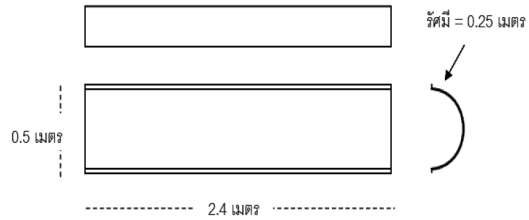


Figure 3 Size turbine blades (top view, front view, beside view)

2. การออกแบบชุดทดรอบ

เครื่องสูบน้ำรุ่น UMA 1500 ที่ใช้ สามารถสูบน้ำได้ 1,500 ลิตร/ชั่วโมง เท่ากับ 0.00042 ลูกบาศก์เมตร/วินาที โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ (*D*) เท่ากับ 0.043 เมตร รัศมีของล้อตุนกำลัง(*R*) เท่ากับ 0.05 เมตร สามารถหาความเร็วรอบในการหมุนของล้อตุนกำลังได้จากสมการ (10)

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{2\pi RN}{60} \quad (10)$$

ความเร็วรอบของการหมุนของล้อตุนกำลังจะได้ว่า

$$N = 0.00042 \times \frac{4}{(3.14) \times (0.043)^2} \times \frac{60}{(2 \times 3.14 \times 0.05)}$$

N = 55.29 rpm

ดังนั้น ความเร็วรอบในการหมุนล้อตุนกำลังต้องมีความเร็วรอบอย่างต่ำ 56 รอบ

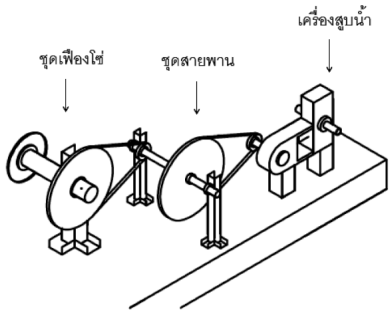


Figure 4 The reduction series

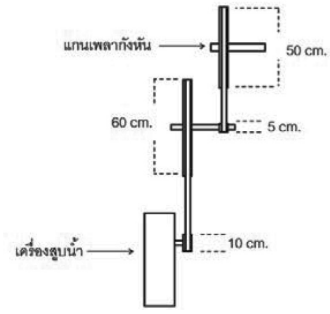


Figure 5 The reduction series (top view)

การออกแบบการทดรอบช่วงที่ 1 จากเฟืองโซ่ที่ติดกับเพลาของกังหัน ใช้โซ่ในการส่งแรงหาอัตราทดรอบจากสมการ (11)[8]

$$m_{\omega} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (11)$$

โดยเฟืองโซ่ที่ติดกับเพลากังหันมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 cm.ส่วนอีกเฟืองโซ่หนึ่งที่ติดกับชุดทดรอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 cm. ดังนั้นจะได้อัตราทดรอบจากชุดสายพานดังนี้

เมื่อกังหันน้ำหมุน 1 รอบ

$$n_2 = \frac{n_1 \times d_1}{d_2} = \frac{1 \times 50}{5} = 10$$

ดังนั้นเมื่อกังหันน้ำหมุน 1 รอบ เฟืองโซ่ที่ติดกับชุดทดรอบจะหมุน 10 รอบ

การออกแบบการทดรอบช่วงที่ 2 จากแกนของชุดทดรอบเข้าสู่ล้อตุนกำลังของเครื่องสูบน้ำ ใช้พูเล่ย์ในการส่งแรง โดยพูเล่ย์ที่ติดอยู่กับชุดทดรอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60 cm. ส่วนพูเล่ย์ที่ติดกับเครื่องสูบน้ำ (ล้อตุนกำลัง) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 cm. ดังนั้นจะได้อัตราทดรอบจากชุดเฟืองโซ่เท่ากับ

เมื่อกังหันน้ำหมุน 1 รอบ

$$n_2 = \frac{n_1 \times d_1}{d_2} = \frac{10 \times 60}{10} = 60$$

ดังนั้นเมื่อกังหันน้ำหมุน 1 รอบ ล้อตุนกำลังของเครื่องสูบน้ำจะหมุน 60 รอบ ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เพียงพอสำหรับการสูบน้ำ

3. การออกแบบชุดทุ่นลอย

การออกแบบชุดทุ่นลอย ใช้แพไม้ยึดติดกับถังพลาสติก 200 ลิตร เป็นตัวรับน้ำหนัก โดยมวลรวมของกังหันน้ำ ชุดเครื่องสูบน้ำและแพไม้มีค่าน้ำหนักประมาณ 500 กิโลกรัม

ดังนั้นจึงออกแบบหาจำนวนถังพลาสติกเพื่อรับน้ำหนัก โดยหาได้จากปริมาตรน้ำหนักของชุดกังหัน จากสมการ (12)

$$V = \frac{W}{\rho g} \qquad (12)$$

$$V = \frac{500 \times 9.81}{1000 \times 9.81} = 0.5 m^3$$

โดยในการติดตั้งจะใช้ถังพลาสติก 200 ลิตรเป็นทุ่นลอย แต่ละถังจะมีความจุ 200 ลิตร หรือ 0.2 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้นจะต้องใช้ถังจำนวน $\frac{0.5}{0.2} = 2.5$ ถัง (3 ถัง) แต่ในการติดตั้งจริง จะเลือกใช้ถังจำนวน 4 ถังเป็นทุ่นลอยเพื่อให้เกิดการสมดุลและง่ายต่อการก่อสร้าง

ดังนั้นการออกแบบระบบกังหันน้ำแบบทุ่นลอยจะสรุปตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ (Table 3)

Table3 Parameters for design system

Specification	
Head	23 m
Power	173.69 W
Speeds	6.37 rpm
Force	347.37 N
Area of turbine blades	1.2 m^2
Radius of turbine blades	0.25 m
Length of turbine blades	2.4 m
Ratios of sprockets sets	1:10
Ratios of belt	1:60
Buoys	4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากงานวิจัยได้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ในการทำงานวิจัย คือ การออกแบบและพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยและการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยที่ทำการออกแบบ

1. การสร้างระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย

จากแบบที่ได้จากการคำนวณ จึงทำการสร้างกังหันน้ำขึ้น โดยทำการแบ่งขั้นตอนในการสร้างออกเป็นการขึ้นโครงสร้าง การประกอบและการติดตั้ง และการวางระบบส่งน้ำ

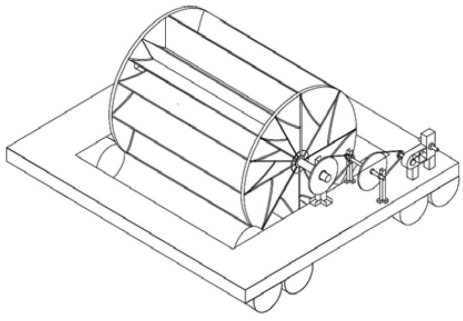


Figure 6 The design of pumping system with floating turbine

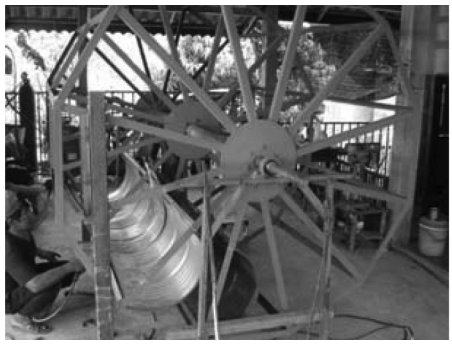


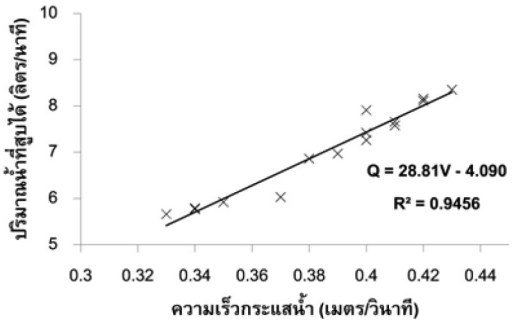
Figure 7 The creation for floating turbine

Figure 8 The assembly and installation

Figure 9 The water supply systems

2. ผลการทดลองสมรรถนะของระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอย

2.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำต่อความเร็วของกระแสน้ำที่ความสูงคงที่เป็นการเก็บผลการทดลองระหว่าง เดือนเมษายน - มิถุนายน โดยจะทำการเก็บผลการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ในแต่ละเดือน



Q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/นาที) V = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)

Figure 10 The Correlation between quantity with height

(Figure 10) เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเก็บข้อมูลในระหว่างช่วงเดือน เมษายน - มิถุนายน จะพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ระดับความสูงระหว่างผิวน้ำกับริมฝั่งแม่น้ำมีความสูงที่ประมาณ 11 - 12 เมตร และความเร็วของกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.34 – 0.43 เมตรต่อวินาที โดยน้ำที่ระบบสามารถสูบได้เฉลี่ยอยู่ที่ 7.02 ลิตรต่อนาที โดยความเร็วของกระแสน้ำมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้โดยยิ่งมีความเร็วมากขึ้นปริมาณน้ำที่ได้ก็มากยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำ (Miniature current meter ยี่ห้อ Rickly Hydrological Co. รุ่น OSS PC1) (Figure 11)

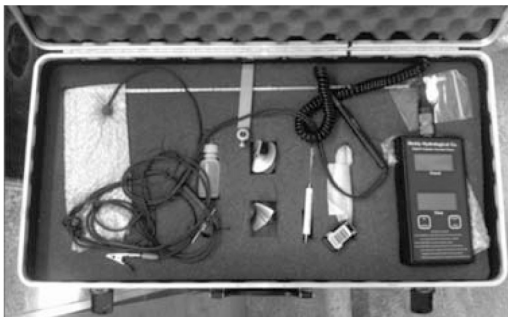


Figure 11 Miniature current meter

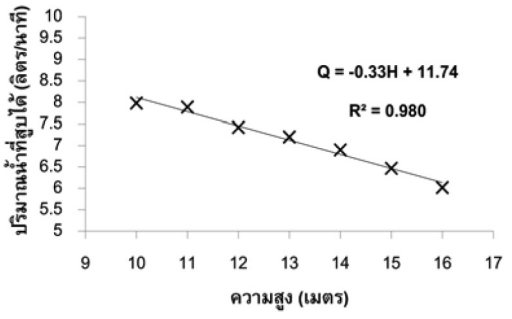
โดยเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อความเร็วของกระแสน้ำได้ดังนี้

$$Q = 28.81V - 4.09 \quad (13)$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/นาที)

V = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)

2.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำต่อความสูงของหัวยกน้ำที่ความเร็วคงที่เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้กับระดับความสูงที่ได้จากระบบสูบน้ำ



Q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/นาที) H = ระดับความสูงที่สูบ (เมตร)

Figure 12 The Correlation between quantity with height

จาก (Figure 12) พบว่าที่ความเร็วของกระแสน้ำเท่ากัน (0.4 เมตรต่อวินาที) ปริมาณน้ำที่สูบได้จะขึ้นอยู่กับระดับหัวยกน้ำที่ทำการสูบ โดยยิ่งสูบน้ำขึ้นที่สูงมากขึ้น ปริมาณน้ำที่ได้ก็จะลดลงแปรผกผันกันโดยที่ระดับ 11 เมตรสามารถสูบได้เฉลี่ย 7.98 ลิตรต่อนาที แต่เมื่อสูบขึ้นไปที่ระดับความสูง 17 เมตร ระบบสูบน้ำได้ลดลงเหลือเฉลี่ยที่ 6.02 ลิตรต่อนาที โดยสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = -0.33H + 11.74 \quad (14)$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำที่ได้จากการสูบ (ลิตร/นาที)

H = ระดับความสูงที่ทำการสูบ (เมตร)

โดยเมื่อแทนค่าลงไปจะพบว่าปริมาณน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับความสูงที่ทำการสูบ โดยยิ่งสูบน้ำขึ้นสูงมากเท่าไหร่ ปริมาณน้ำที่ได้ก็จะลดลงตามความสูงที่ทำการสูบ โดยใช้การวัดปริมาณน้ำเฉลี่ยเทียบกับเวลา ดัง (Figure 13)

Figure 13 Testing water content

3. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3.1 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนของระบบที่ทำการออกแบบเมื่อเทียบกับระบบสูบน้ำโดยใช้ไฟฟ้าภายในวัดกำแพงมณี

Table 4 Cost of electric pumping systems and pumping system with floating turbine

Costs	Cost of electric pumping systems (Baht)	Cost of pumping system with floating turbine (Baht)
Material costs	5,000	30,100
Construction costs	2,000	3,000
Electric costs / year	6,000	-
Total	13,000	33,100

ระยะเวลาคืนทุนของระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยที่ทำการสร้างจะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 1 ปี 1 เดือน เมื่อประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากปั๊มน้ำ 5 ปี เป็นจำนวนเงิน 30,000 บาท

3.2 ต้นทุนต่อหน่วยของระบบ

ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการใช้น้ำภายในวัดกำแพงมณีเฉลี่ยอยู่ที่เดือนละ 1,750 บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยอยู่ที่ลิตรละ 0.017 บาท หรือลูกบาศก์เมตรละ 17 บาทระบบกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยมีต้นทุนในการก่อสร้างอยู่ที่ 33,100 บาท โดยสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 302,400 ลิตรต่อเดือน เท่ากับ 3,628,800 ลิตรต่อปี

โดยระบบกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 5 ปี ดังนั้นภายในเวลา 5 ปีจะสามารถสูบน้ำได้ 18,144,000 ลิตร ดังนั้นเมื่อคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยอยู่ที่ลิตรละ 0.0018 บาท หรือลูกบาศก์เมตรละ 1.8 บาท

3.3 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ระบบสูบน้ำไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำที่วัดกำแพงมณี ใช้กำลังในการสูบน้ำเท่ากับ 500 วัตต์ โดยกำลังสูงสุดต่อปีที่ใช้ในการสูบน้ำมีค่าเท่ากับ 4,380 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

โดยในการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง = 0.561 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ (grid emission factor 2555)[9]

ระบบสูบน้ำไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำที่วัดกำแพงมณี จะเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดต่อปีเท่ากับ

4380 x 0.561 = 2457.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยที่นำมาใช้แทนระบบสูบน้ำไฟฟ้า จะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดต่อปีเท่ากับ 2,457.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

สรุปผลการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอย

จากผลการทดลองที่ได้จากการเก็บข้อมูลในระหว่างช่วงเดือน เมษายน - มิถุนายน จะพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ระดับความสูงระหว่างผิวน้ำกับริมฝั่งแม่น้ำมีความสูงที่ประมาณ 11- 12 เมตร และความเร็วของกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.34 – 0.43 เมตรต่อวินาที โดยที่ระบบสามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยอยู่ที่ 7.02 ลิตรต่อนาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อความเร็วของกระแสน้ำ สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ Linear Regression ได้ดังนี้

$$Q = 28.81V - 4.09$$

ที่ค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.945$

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้กับระดับความสูงที่ได้จากระบบสูบน้ำ ที่ความเร็วของกระแสน้ำเท่ากัน ปริมาณน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับความสูงที่ทำการสูบ โดยยิ่งสูบน้ำขึ้นสูงมากเท่าไหร่ปริมาณน้ำที่ได้ก็จะลดลงตามความสูงที่ทำการสูบ โดยสามารถเขียนเป็นสมการ Linear Regression แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = -0.33H + 11.74$$

ที่ค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.98$

2. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนของระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยที่ทำการสร้างเมื่อเทียบกับระบบสูบน้ำโดยใช้ไฟฟ้าภายในวัดกำแพงมณีจะสามารถคืนทุนในเวลา 1 ปี 1 เดือน

- ต้นทุนต่อหน่วยของระบบ

ระบบกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยมีต้นทุนในการก่อสร้างอยู่ที่ 33,100 บาท โดยสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 302,400 ลิตรต่อเดือน โดยระบบกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 5 ปี ดังนั้นภายในเวลา 5 ปีจะสามารถสูบน้ำได้ 18,144,000 ลิตร ดังนั้นเมื่อคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยอยู่ที่ลิตรละ 0.0018 บาท หรือลูกบาศก์เมตรละ 1.8 บาท

- การศึกษาด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยที่สร้างขึ้น สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดต่อปีเท่ากับ 2,457.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยพบว่า ในส่วนของการออกแบบขนาดใบพัด ลักษณะโครงสร้างของกังหันและอัตราการทดรอบนั้น สามารถปรับขนาดต่างๆ ของกังหันน้ำได้ตามลักษณะสภาพภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ ตามความเหมาะสม โดยมีปัจจัยหลักๆในการออกแบบเช่นความเร็วของกระแสน้ำ ทิศทางของกระแสน้ำ ระดับความสูงที่ต้องการสูบ เป็นต้น โดยในส่วนของประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำนั้น จะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำและระดับความสูงที่ต้องการสูบ โดยที่ถ้าความเร็วของกระแสน้ำในแม่น้ำมีความเร็วสูง ยิ่งทำให้ระบบสูบน้ำทำงานได้ดียิ่งขึ้น และถ้าระบบไม่จำเป็นต้องสูบน้ำขึ้นที่สูงมากๆ ปริมาณของน้ำที่สูบก็จะได้มากยิ่งขึ้นเช่นกัน ระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 1 ปี 1 เดือน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้สร้าง ระบบสูบน้ำโดยใช้กังหันน้ำแบบทุ่นลอยเป็นกังหันสูบน้ำที่ใช้พลังงานจากแม่น้ำซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติ ยังสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศเมื่อเทียบกับระบบสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมัน ซึ่งถือว่าเป็นการช่วยกันแก้ปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้งระบบริมฝั่งแม่น้ำให้ระวังในช่วงที่น้ำขึ้นและน้ำลงฉับพลัน เพราะอาจทำให้ระบบได้รับความเสียหาย

2. ควรมีการวิจัยต่อยอดเกี่ยวกับการสร้างกังหันน้ำแบบทุ่นลอย เพื่อใช้พลังงานจากแม่น้ำในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ครอบครัวที่อาศัยบนแพหรือริมแม่น้ำ

3. ระบบสูบน้ำที่ใช้พลังงานจากแม่น้ำจะมีปัญหามากเกี่ยวกับ ขยะมูลฝอย ซาก เศษกิ่งไม้ ที่มากับกระแสน้ำ ซึ่งเมื่อเข้ามาติดที่ระบบ จะทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพลดลง

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยลักษณ์ เส้นเศษ และคณะ.2548)). เครื่องสูบน้ำโดยใช้พลังงานกลจากกังหันน้ำ. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ตาก.

[2] ประพันธ์ ร้องกาศ และวิสรัส เอี่ยมประชา.2526)). การออกแบบและสร้างกังหันน้ำสำหรับสูบน้ำแบบทุ่นลอย. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

[3] บรรจง วรรธนะพงษ์. (2542). เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำอันเนื่องมาจากพระราชดำริพระเจ้าอยู่หัว. กรุงเทพมหานคร. เซ็นจูรี จำกัด. หน้า 107

[4] ไพฑูรย์ กิติสุนทร. (ม.ป.ป.). ชลศาสตร์. คู่มือประกอบการเรียนการสอนในวิชาชลศาสตร์และกลศาสตร์ของไหล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.หน้า 109 - 114.

[5] สุธรรม นิยมวาส และบัญญัติ นิยมวาส. (2549). เครื่องจักรกลของไหล. กรุงเทพฯ:วิทยาพัฒน์ จำกัด. หน้า 53-143,151-189.

[6] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2541). การออกแบบเครื่องกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น. หน้า 22-23,251-253,308-309,314-316.

[7] อนุรัตน์ เทวตา. (2548). โครงการเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก. ตาก. หน้า 9-10.

[8] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์2547) .). กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 409

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2550). กลไกการพัฒนาที่สะอาด. สืบค้นเมื่อ 29 กรกฎาคม 2556, จาก http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&view =section&id=6&Itemid=38.

ผลของการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่มีต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสีย

Effect of Photosynthetic Bacteria Addition on COD Removal in an Up-flow Anaerobic Filter

ธรรมนูญ ม้าวิเศษ[1*], ทรงยศ มงคลพิศ[2], เพชร เพ็งชัย[3]

Thammanoon Mavises[1*], Songyot Mongkulphit[2], Petch Pengchai[3]

Received: 15 February 2016; Accepted: 24 May 2016

บทคัดย่อ

ถังกรองไร้อากาศราคาไม่แพงและติดตั้งง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำทิ้งจากที่พักอาศัยหลายแห่งที่ผ่านการบำบัดจากถังกรองไร้อากาศยังคงมีความเข้มข้นซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากมีระยะเวลากักเก็บไม่เพียงพองานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศภายใต้ระยะเวลากักเก็บสั้นโดยการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงลงไปในระบบช่วงตั้งต้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ที่ระยะเวลากักเก็บ 1.1-6.5 ชั่วโมง กรณีที่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากแป้งและนมได้ร้อยละ 52-90 ซึ่งมากกว่ากรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร้อยละ 49-88 อย่างมีนัยสำคัญผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในแบบจำลอง Stover-Kincannon พบว่า U_{max} = 11.111 ก. ซีโอดี/ลิตร-วัน K_B = 11.670 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน สำหรับกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ U_{max} = 12.500 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน K_B = 12.981 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน สำหรับกรณีเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จากแบบจำลอง Stover-Kincannon กล่าวได้ว่าการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถลดระยะเวลากักเก็บลงได้ร้อยละ 20

คำสำคัญ: ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น ซีโอดี ระยะเวลากักเก็บ ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ แบบจำลอง Stover-Kincannon

Abstract

Anaerobic filters (AF) have been widely used for domestic wastewater treatment due to their low cost and easy installation. According to insufficient hydraulic retention time (HRT) found in many communities, COD concentrations of treated wastewater discharged from AF still exceed the standard value.This research aimed to increase COD removal efficiency of up-flow anaerobic filters (UAFs) under short HRT condition by adding photosynthetic bacteria (PNB) to the system during the start-up period. The result revealed that at HRT 1.1-6.5 hours, an UAF with PNB addition had 52-90 % removal efficiency which was significantly higher than the UAF without PNB addition (49-88 %). Calculated kinetic parameters of Stover-Kincannon model, U_{max} and K_B, were 11.11 gCOD/L-day and 11.67 gCOD/L-day for the UAF without PNB addition; 12.50gCOD/L-day and 12.98 gCOD/L-day for the UAF with PNB addition. PNB addition can reduce HRT for 20%.

Keywords: upflow anaerobic filters, COD, hydraulic retention time, kinetic parameters, Stover-Kincannon model

[1] นิสิตปริญญาโท,[1,2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [3]สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

[2] Master degree student, [3] Assist. Prof., Environmental Engineering Laboratory Faculty of Engineering Mahasarakham University 44150

[3] Corresponding author : ThammanoonMavises, Environmental Engineering Laboratory Faculty of Engineering Mahasarakham University Mahasarakham 44150.Tel. +6643-754327 E-mail: mavises52@gmail.com

บทนำ

ถังกรองไร้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีมาแต่โบราณ นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เนื่องจากติดตั้งและดูแลง่ายปัจจุบันจึงพบถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูป (septic tank) วางจำหน่ายในร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป อย่างไรก็ตาม ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งจากหอพักในจังหวัดมหาสารคาม[1] ระบุว่ายังคงมีหอพักจำนวนหนึ่งไม่ได้ติดตั้งถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูป ส่วนหอพักที่ติดตั้งถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปก็พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำต่ำ น้ำทิ้งมีค่า BOD103-190 มก./ล. COD272-640 มก./ล. ซึ่งถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ เมื่อตรวจสอบรายละเอียดพบว่าปริมาตรถังกรองไร้อากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีขนาดเล็กกว่าค่าที่แนะนำในการออกแบบ[1] หมายถึง มีระยะเวลากักเก็บน้อยกว่า 1-4วันตามที่แนะนำไว้ในเกณฑ์การออกแบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น[2] กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าหอพักส่วนใหญ่ไม่สะดวกที่จะติดตั้งถังกรองไร้อากาศในปริมาตรตามเกณฑ์การออกแบบ ผลนี้ชี้ให้เห็นความสำคัญของการพัฒนาถังกรองไร้อากาศขนาดเล็กที่ใช้กันอยู่ให้สามารถบำบัดน้ำได้ดีขึ้น

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศทำได้หลายวิธี เช่น เลือกใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และมีความพรุนสูง[3] ออกแบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นให้มีจุดนำน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 1 จุดเพื่อให้มวลจุลินทรีย์เกาะกับตัวกลางอย่างสม่ำเสมอ[4] และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย[5] เป็นต้น ในที่นี้ผู้วิจัยสนใจการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงลงไปในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria; PSB) เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรีย พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำเสีย[6,7] ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจน[8] และ ไร้ออกซิเจน[6,8,9] โดยในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นมักจะพบ PSB ที่อยู่ในกลุ่ม purple nonsulfur bacteria (PNSB) เช่น Rhodobactersphaeroides and Rhodopseudomonaspalustris[7] สำหรับเงื่อนไขของการสังเคราะห์แสงพบว่า ในสภาวะไม่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็น chemoheterotroph โดยมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและตัวจ่ายอิเลคตรอนมีก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน[6,9,10] ส่วนในสภาวะที่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง photoautotroph โดยมีก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวจ่ายอิเลคตรอน และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนและแหล่งคาร์บอน[6,10,11] และเป็น photoheterotroph โดยมีน้ำตาลและกรดอินทรีย์เป็นตัวจ่ายอิเลคตรอนและแหล่งคาร์บอน[6]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า PSB สามารถกำจัด COD ละลายน้ำโดยนำมาสะสมไว้ในตัวในรูปสาร polyhydroxybutyrate หรือ PHB[12] กำจัดฟอสฟอรัสในน้ำโดยนำมาสังเคราะห์เป็นสารโพลิฟอสเฟตในตัว[12] และกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการ denitrification และ assimilation[8,12] นอกจากนี้ PSB ยังสังเคราะห์สารที่มีประโยชน์หลากหลายชนิดเก็บไว้ในเซลล์ เช่น ไบโอโพลิเมอร์ โปรตีนเซลเดียว แคโรทีน วิตามินบี 5 และ ยาต้านจุลชีพ (antimicrobial agents) ในการเจริญเติบโตของ PSB สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้หากอยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสม[13] ปัจจุบันจึงมีผู้นำ PSB ไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการบำบัดน้ำเสีย การผลิตอาหารเสริมและยารักษาโรค การเกษตร[12] ตลอดจนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสำหรับใช้เป็นพลังงานทางเลือก[13]

ในด้านการบำบัดน้ำเสีย PSB ถูกนำมาทดลองใช้กับน้ำเสียหลากชนิดในเงื่อนไขการให้แสงและออกซิเจนต่างๆ กัน Panwichian S. และคณะ[14] พบว่าในสภาวะมีอากาศและไร้แสง PSB สามารถบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งได้ดีกว่าในสภาวะมีอากาศและมีแสง Rajyalaxmi K. และคณะ[15] พบว่าในสภาวะไร้อากาศและมีแสง PSB ชนิด Rhodobacter sp.GSKRLMBKU-02 ที่แยกได้จากน้ำเสียโรงงานกระดาษสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ได้โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD 52%, COD 76%, คลอไรด์ 68%, ซัลเฟต 69 % แม้จะมีงานวิจัยระบุว่า PSB ชนิด PNSB สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะไร้แสงและไร้ออกซิเจนโดยอัตราการเจริญเติบโตจะสูงขึ้นเมื่อมี pyruvate และ H_2 ในระบบ[9] แต่ก็ยังไม่พบงานวิจัยใดนำ PSB ไปใช้บำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้แสงและไร้ออกซิเจนงานวิจัยนี้เล็งเห็นความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในสภาวะไร้แสงไร้ออกซิเจน จึงดำเนินการวิจัยภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดน้ำเสียตลอดจนค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในกรณีเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวกลาง

ใช้ตัวกลาง 1,440 ชิ้นต่อถังกรอง ตัวกลางแต่ละชิ้นทำจากเชือกไนล่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 20 เส้นมัดรวมกันโดยใช้ยางรัด มีพื้นที่ผิว 0.92 ตารางเมตรต่อชิ้น (Figure 1) ดังระบุไว้ในงานวิจัยของ

ซันวานี จิใจ[16] และ ทรงยศ มงคลพิศ[17]

2. ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

ใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นทำจากท่อ PVC รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร จำนวน 2 ถัง ถังหนึ่งไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง NON-PNB-UAF) ส่วนอีกถังหนึ่งเติมเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง PNB-UAF) แต่ละถังถูกเจาะรูที่ความสูงถัง 0.3 เมตร 0.6 เมตร และ 0.9 เมตรด้านบนของถังกรองทั้ง 2 ถังต่อกับถังพักน้ำเสียปริมาตร 60.3 ลิตรโดยให้ท่อน้ำเข้าถังกรองยาวลงไปถึงก้นถัง เพื่อให้น้ำเสียไหลเข้าระบบแบบไหลขึ้น น้ำเสียสังเคราะห์ในถังบรรจุน้ำเสียปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 3 ถัง จะถูกสูบเข้าถังพักน้ำเสียก่อนไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลเข้าถังกรองไร้อากาศดังแสดงใน (Figure 2) เมื่อน้ำในถังพักน้ำเสียลดลงถึงระดับ 30 เซนติเมตร ลูกลอยจะสั่งปั๊มน้ำอัตโนมัติ (MITSUBISHI QS รุ่น WP-105 QS ขนาดมอเตอร์ 100 วัตต์ ของบริษัท CHENGGANG ELECTRICAL ENGINEERING CO.,LTD ผลิตในประเทศไทย) ให้สูบน้ำเสียจากถังบรรจุน้ำเสียเข้าถังพักน้ำเสียจนเต็ม เป็นอย่างนี้ตลอดการเดินระบบ

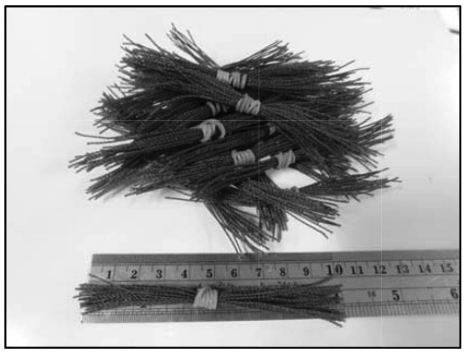


Figure 1 Nylon media

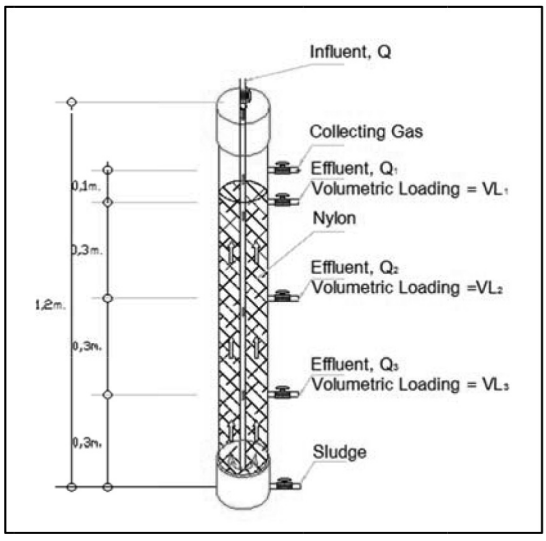


Figure 2 Up-flow Anaerobic Filter

3. น้ำเสีย

ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เตรียมจากแป้งประกอบอาหาร (ตราโกกิ บริษัท เอ็มแอนด์อาร์ โกกิ จำกัด ผลิตในประเทศไทย) 792 กรัม ต่อ นมวัว (แบบ ยู.เอช.ที. รสหวาน ตราวัวแดง บริษัท ไทย-เดนมาร์ค ผลิตในประเทศไทย) 324 กรัม ผสมกับน้ำประปาปริมาตร 600 ลิตร มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 553.2-617.8 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตรซึ่งเป็นช่วงค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม[17] และค่าซีโอดีสูงสุดที่ตรวจพบในน้ำทิ้งจากหอพักในจังหวัดมหาสารคาม[1]

4. เงื่อนไขการเดินระบบ

ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (start-up) ผู้วิจัยเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเพื่อการเกษตร (ชื่อผลิตภัณฑ์สยามโรโด) ปริมาณ 7.95 ลิตรลงในถัง PNB-UAF จากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำประปา 7.95 ลิตรเพื่อให้ได้ความเข้มข้น Peptone 5 กรัมต่อลิตร NaCl5 กรัมต่อลิตร Beef extract 3 กรัมต่อลิตรและ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร หลังจากแช่ตัวกลางทิ้งไว้ในถังกรอง 7 วัน จึงเวียนน้ำออกแล้วนำกลับเข้าถังใหม่ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 95 ลิตร/วัน เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะกับตัวกลาง จากนั้นปล่อยน้ำเข้าออกระบบโดยไม่เวียนกลับอีก 7 วันก่อนเริ่มเก็บตัวอย่างมาตรวจวัดส่วนถัง NON-PNB-UAF นั้นทำทุกอย่างเหมือนถัง UAF-PNB เพียงแต่ใส่น้ำประปาลงไปแทนหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

ในช่วงบำบัดน้ำเสียเดินระบบโดยใช้อัตราการไหล 3 ค่า คือ 47.7, 63.6 และ 95.7 ลิตร/วัน คิดเป็นระยะเวลากักเก็บและอัตราภาระบรรทุกซีโอดีที่จุดน้ำออก 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตร ดังแสดงใน (Table 1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองและออกจากถังกรองแต่ละถังที่ระยะความสูงทั้ง 3 ค่า แล้วตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองและใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรอง

5. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ค่า COD โดยวิธี Close Reflux Method ตรวจวัดค่าพีเอช (pH)อุณหภูมิน้ำ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO : Dissolved Oxygen) ด้วยเครื่องวัด DO ภาคสนาม รุ่น Pro 20 บริษัท YSI ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

Table 1 Flow rate and organic loading rate

Flow rate (L/day)	Height of discharge pipe (m)	Hydraulic Retention Time (hrs)	COD loading rate (kgCOD/ m^3-day)
47.7	0.9	6.5	1.7-1.9
	0.6	4.2	2.5-2.8
	0.3	2.1	5.0-5.6
63.6	0.9	4.9	2.2-2.5
	0.6	3.2	3.4-3.8
	0.3	1.6	6.7-7.5
95.7	0.9	3.3	3.5-3.7
	0.6	2.1	5.3-5.5
	0.3	1.1	10.5-11.0

6. วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดทางสถิติ

ได้คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัด COD ของ NON-PNB-UAF และ PNB-UAFรายวันผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excelและได้แสดงไวในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นอกจากนี้ได้นำข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัด COD ของ NON-PNB-UAF และ PNB-UAF ในแต่ละวันมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธี pairsamplet-test แบบ 2-tailed ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel

7. วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเส้นตรงที่จัดรูปแบบตามแบบจำลอง Stover-Kincannon[17] ดังสมการที่ 1 แล้วหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์จากค่าคงที่ของสมการที่ได้ด้วยวิธี Linear Regression Analysis ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel

$$\frac{V}{Q(S_o - S_e)} = \frac{K_B}{U_{max}} \times \frac{V}{QS_o} + \frac{1}{U_{max}} \quad \text{สมการที่ 1}$$

Q คืออัตราการไหล (ลิตร/วัน) V คือปริมาตรน้ำในถังกรองไร้อากาศ (ลิตร) S_0และ S_eคือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษขาเข้าและขาออก (มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ, U_{max} คือ อัตราเร็วสูงสุดในการกำจัดมลพิษ (มิลลิกรัม/ลิตร-วัน) และ K_B คือ ค่าคงที่ความอิ่มตัวของมลพิษ (มิลลิกรัม /ลิตร-วัน) ทั้งนี้หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่อัตราเร็วคึ่งหนึ่งของอัตตราเร็วในการทำปฏิริยาสูงสุด

ผลการทดลอง

1. ค่า pH อุณหภูมิน้ำ และค่า DO

ระหว่างดำเนินการทดลอง อุณหภูมิมีค่าในช่วง 31-39 องศาเซลเซียสซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์แบบ mesophilic เติบโตได้ดี[19]pH มีค่าในช่วง 5-8 ส่วนค่า DO ของน้ำเสียเข้า-ออกจากถังกรองทั้ง 2 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 1.3-2.33 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.14-0.29 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากค่า DO ในน้ำเสียขาออกน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จึงกล่าวได้ว่าระบบอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic) [20]

2. ประสิทธิภาพการบำบัด COD

(Figure 3) แสดงความเข้มข้น COD ในน้ำเข้า-ออกจากถังกรองไร้อากาศ พบว่าทั้งถัง PNB-UAF และ ถัง NON-PNB-UAF สามารถบำบัด COD ได้ โดยน้ำออกที่ระดับความสูง 0.9 เมตรส่วนใหญ่มีคุณภาพดีกว่า (COD = 60-313 มก./ล.) น้ำออกที่ระดับความสูง 0.3 และ 0.6 เมตร (COD = 67-421 มก./ล.) อธิบายได้ว่าเป็นเพราะมีระยะเวลากักเก็บสูงที่สุด เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการบำบัด COD ของถังกรองไร้อากาศที่ระดับความสูงของท่อน้ำออก 0.9 เมตร พบว่าถัง PNB-UAF มีประสิทธิภาพการบำบัด COD (83.4±5.7%) สูงกว่าถัง NON-PNB-UAF80.0 ± 3.6 %) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (2-tailed, paired t-test) โดยประสิทธิภาพการบำบัด COD ของถัง PNB-UAF (60.7 ± 5.6 %) และถัง NON-PNB-UAF (56.5 ±5.3 %) มีค่าต่ำสุดที่ระยะเวลากักเก็บต่ำสุดหรืออัตราการไหลสูงสุดคือ 95.4 ลิตร/วัน ดังแสดงใน (Figure 4) จากผลข้างต้นกล่าวได้ว่าการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นได้และระยะเวลากักเก็บที่สั้นเกินไปสามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าต่ำ

3. ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD

เมื่อนำค่าเฉลี่ย COD สำหรับแต่ละระยะเวลากักเก็บมาจัดรูปแบบแล้วพล็อตกราฟเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD พบว่าสามารถใช้แบบจำลอง Stover-Kincannon คำนวณขนาดถังกรอง (V) และอัตราการไหลน้ำ (Q) จากความเข้มข้น COD เข้า (S_0) และออกจากถัง (S_e) ได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ไม่ต่ำกว่า 0.9 ดังแสดงใน Figure 5 จากค่าความชันและจุดตัดแกนตั้งของเส้นตรงในกราฟสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ได้ผลดังแสดงใน (Table 2)

เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น พบว่า U_{max} และ K_B ที่ได้มีค่าน้อยกว่าในงานของ Ahn JH และคณะ (2000)[21] และ Rajagopal R. และ

คณะ(2013)[21] และเมื่อนำค่า U_{max} และ K_B ไปคำนวณระยะเวลากักเก็บ (HRT=V/Q) ที่สามารถบำบัด COD 600 มก./ล. ได้ 80% พบว่าถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในงานวิจัยนี้ต้องการระยะเวลากักเก็บซึ่งหมายถึงขนาดถังกรองไร้อากาศเป็น 5-7 เท่าของงานวิจัยอื่นดังแสดงใน (Table 2) ที่เป็นเช่นนี้ส่วนหนึ่งอาจมาจากระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้ไม่มีการเวียนน้ำออกกลับมาบำบัดใหม่เหมือน Rajagopal R. และคณะ (2013)[22] และใช้ระยะเวลากักเก็บสั้นกว่าAhn JH และคณะ (2000)[21] อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลากักเก็บของกรณีเติม (5.4 ชั่วโมง) และไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (6.5 ชั่วโมง) พบว่าการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถลดระยะเวลากักเก็บลงได้ประมาณ 1 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาตรถัง 0.8 เท่าของกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และถือเป็นระยะเวลากักเก็บที่ต่ำกว่าค่าแนะนำในการออกแบบ 1-4 วัน ที่อัตราภาระบรรทุก COD 4-16 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน [23]

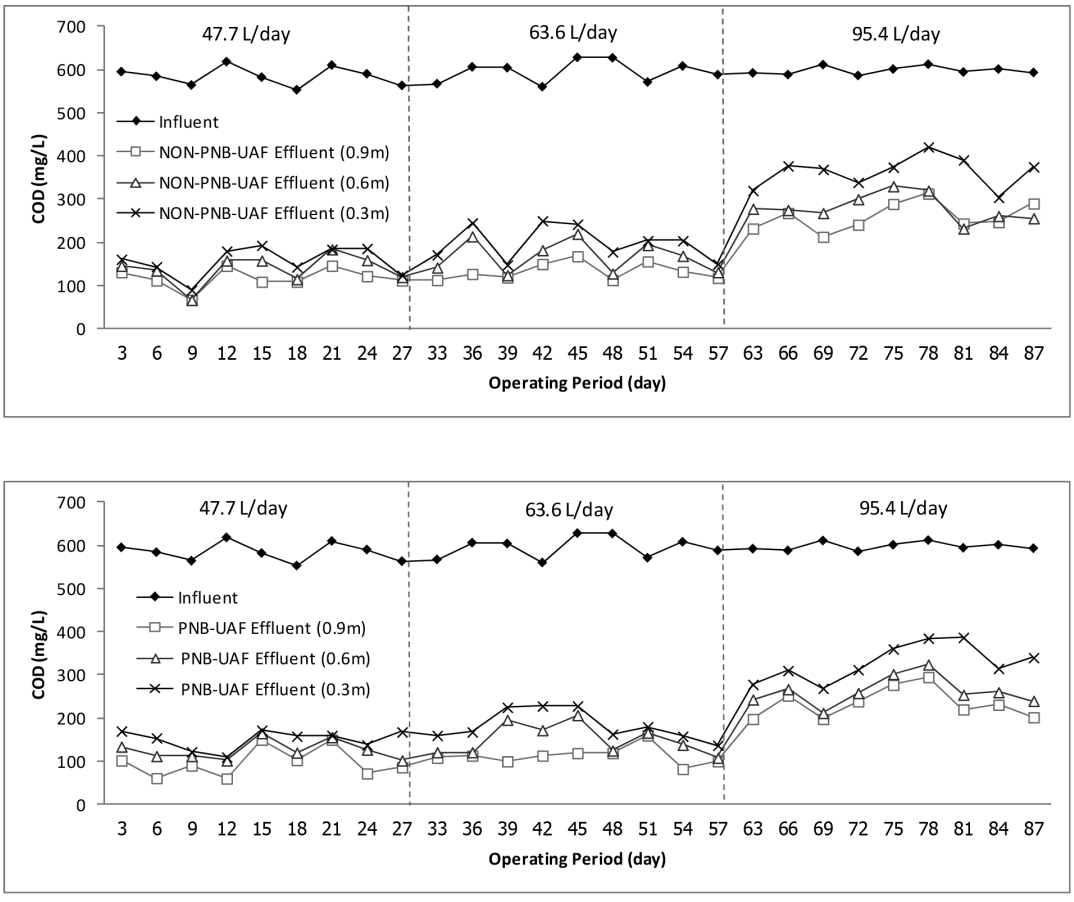


Figure 3 CODof Influent and Effluent in PNB-UAF and NON-PNB-UAF

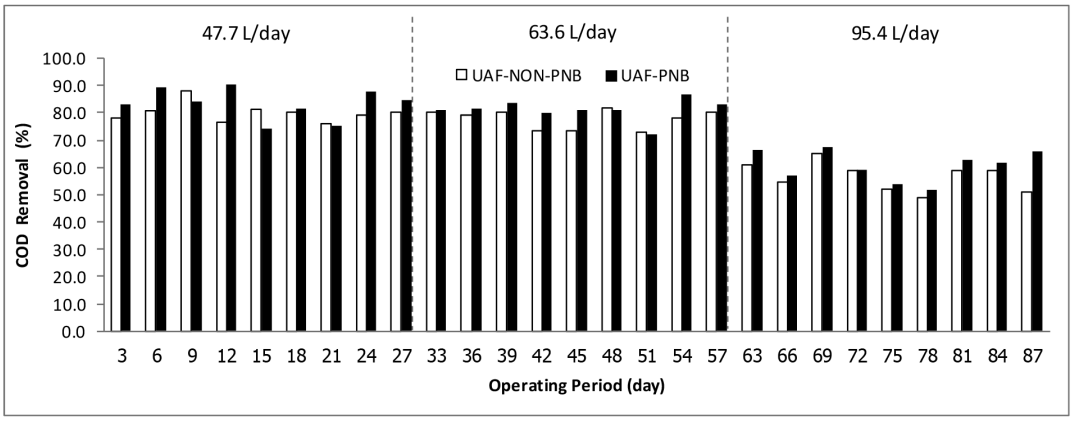


Figure 4 COD Removal Efficiency of PNB-UAF and NON-PNB-UAF at 0.9 m height

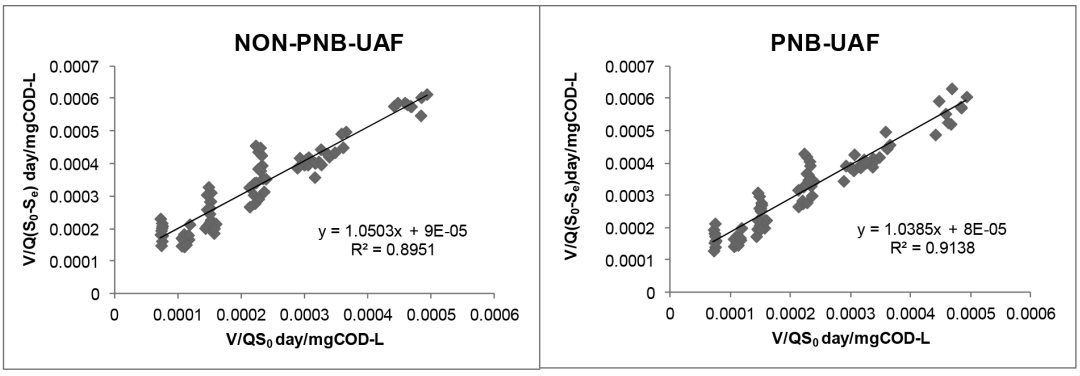


Figure 5 Plot of Stover-Kincannon Modelfor PNB-UAF and NON-PNB-UAF

Table 2 Kinetic Parameters of in Stover-Kincannon Model for Upflow Anaerobic Filter

References	Biomass seeding/wastewater/HRT	COD loading Rate (kgCOD/m^3-day)	Kinetic Parameters	Calculated HRT necessary for 80% COD removal
This study	No addition/ synthetic wastewater (starch and milk)/ 1.1-6.5 hr.	1.7-11.0	U_{max} = 11.111 gCOD/L-day K_B = 11.670 gCOD/L-day	6.5 hr
This study	PNB addition/ synthetic wastewater (starch and milk)/ 1.1-6.5 hr.	1.7-11.0	U_{max} = 12.500 gCOD/L-day K_B = 12.981 gCOD/L-day	5.4 hr
Ahn J. H. et al., 2000 [20]	sludge from anaerobic digester/ synthetic wastewater (starch and mineral salt)/ 6-24 hr.	1.15-16.7	U_{max} = 49.8 gCOD/L-day K_B = 50.6 gCOD/L	1.2 hr
Rajagopal R. et al., 2013 [21]	anaerobic sludge/ cheese-diary wastewater/ 1.6 days	19.0	U_{max} = 53.5 gCOD/L-day K_B = 49.7 gCOD/L	0.8 hr

สรุปผลการทดลอง

การเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากแป้งและนมได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดระยะเวลากักเก็บหรือขนาดของถังลงเหลือ 0.8 เท่าของกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นถือว่าระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้ยังคงต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่านี้สำหรับการศึกษาในขั้นต่อไปควรมีการจำแนกPNB จากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่ใช้และจากแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกาะกับตัวกลางหลังการทดลองเพื่อความมั่นใจว่ามีจุลินทรีย์กลุ่ม PNB อยู่จริงและควรเพิ่มระยะเวลาทดลองเดินระบบในแต่ละอัตราการไหลเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ได้เป็นค่าที่เกิดเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว นอกจากนี้ควรทดลองใช้น้ำเสียจริงจากโรงอาหารเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานจริงเนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้ทำจากแป้งและนม ไม่มีสารลดแรงตึงผิวซึ่งมักพบในน้ำเสียจากการซักล้าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยทุกประการ ขอขอบคุณบริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (สยามโรโด) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงโดยไม่มีค่าใช้จ่าย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วัลยรุกขเวช และศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือตรวจวัดต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. ณัฐพล นิยมวงศ์ และ ทวีชัย ประดิษฐ์ค่าย. การสำรวจคุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดของถังบำบัดในหอพัก บริเวณรอบ ๆมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2555.
2. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพ. 2357.
3. Joo-Hwa T, Kuan-Yeow S, Jeyaseelan S. Media Factors Affecting the Performance of Upflow Anaerobic Packed-Bed Reactors. Environmental Monitoring and Assessment 1997; 44(1): 249-261.
4. Yu HQ, Zhao QB, Tang Y. Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory-scale multi- and single-fed filters at ambient temperatures. Process Biochemistry 2006; 41(12): 2477–2481.
5. Boonyaprapa P, Vanpetch W, Sangsirimongkolying R, Yoosook W. Waste water treatment of dye contamination. Environment Asia 1 2009; 49-53.
6. Hülsen T, Batstone DJ, Keller J.Phototrophic bacteria for nutrient recovery from domestic waste water. Water Research 2014;50: 18-26.
7. Kim MK, Choi KM, Yin CR, Lee KY, Im WT, Lim JH, Lee ST. Odorous swine waste water treatment by purple non-sulfur bacteria, Rhodopseudomonaspalustris, isolated from eutrophicated ponds. Biotechnol Letter 2014; 26(10):819-22.
8. Izu K., Nakajima F., Yamamoto K. and Kurisu F.Aeration conditions affecting growth of purple nonsulfur bacteria in an organic wastewater treatment process. Systematic and Applied Microbiology 2001; 24: 294-302.
9. Uffen RL. and Wolfe RS. Anaerobic growth of purple nonsulfur bacteria under dark conditions. Journal of Bacteriology 1970; 104: 462–472.
10. Wu TY, HayJXW, Kong LB, Juan JC, Jahim JM. Recent advances in reuse of waste material as substrate to produce biohydrogen by purple non-sulfur (PNS) bacteria. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16(5): 3117-3122.
11. Hallenbeck PC, Ghosh D, Skonieczny Yargeau V. Microbiological and engineering aspects of biohydrogen production. Indian Journal of Microbiology 2009;49:48–59.
12. Zhou Q, Zhang Q, Zheng X, Liu G. Biological treatment of high $NH4^{+}$-N wastewater using an ammonia-tolerant photosynthetic bacteria strain (ISASWR2014). Chinese Journal of Chemical Engineering 2015; 23: 1712–1715.
13. Tatyana VL, Darya NT, Kestutis SL, Maria LG, Michael S, Anatoly AT. Towards the integration of dark and photo fermentative waste treatment. 1. Hydrogen photoproduction by purple bacterium Rhodobactercapsulatus using potential products of starch fermentation. International Journal of Hydrogen Energy 2008; 33: 7020 – 7026.
14. PanwichianS, KantachoteD, Wittayaweerasak B, Mallavarapu M. The use of selected purple nonsulfur bacteria to remove heavy metals and salts from sediment and water collected from contaminated areas to decrease their phytotoxicity. African Journal of Biotechnology 2012;11(29):7434-7444.
15. RajyalaxmiK, MeruguR, Girisham S and Reddy SM. Bioremediation of Slaughter house wastewater by Rhodobacter sp. GSKRLMBKU-02. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology 2015; 6(3) Coden IJABFP-CAS-USA.
16. ซันวา นีจิใจ. การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
17. ทรงยศมงคงพิศ. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยจุลินทรีย์จาวปลวกในระบบถังกรองไร้อากาศแบบ ไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2558.
18. Padilla-Gasca E, López AL. Kinetics of Organic Matter Degradation in an Upflow Anaerobic Filter Using Slaughterhouse Wastewater. Journal of Bioremediation & Biodegradation 2010; 1:106. doi:10.4172/2155-6199.1000106.
19. Connaugton S, Collins G, O'Flaherty V. Psychrophilic and mesophilic anaerobic digestin of brevery effluent a comparative study. Water Reseach 2006; 40(13): 2503-2510.

20. United States Environmental Protection Agency. ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY VERIFICATION: Reduction of Nitrogen in Domestic Wastewater from Individual Residential Homes 2004; EPA/600/R-04/182.
21. Ahn JH and Forster CF. Kinetic analyses of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated starch wastewater. Process Biochemistry 2000; 36: 19-23.
22. Rajagopal R, Torrijos M, Kumar P, Mehrotra I. Substrate removal kinetics in high-rate upflow anaerobic filters packed with low-density polyethylene media treating high-strength agro-food wastewaters. Journal of Environmental Management 2013; 116: 101-106.
23. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์; 2537.

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Carbon Dioxide Emissions Assessment at Ubon Ratchathani University Dormitory

นิตยา ชาคำรุณ[1], พจนีย์ โยธานันท์[2]
Nittaya Chakhamrun[1], Photchanee Yothanan[2]
Received: 24 April 2016; Accepted: 2 July 2016

บทคัดย่อ
การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ใช้วิธีการคำนวณและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยปฏิบัติตามบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติปี พ.ศ. 2554 ซึ่งคำนวณออกมาเป็นค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 4 กิจกรรมคือ การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำการกำจัดขยะ และการกำจัดสิ่งปฏิกูล

ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมที่มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ กิจกรรมการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 305,149.79 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 96.60 ของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมทั้ง 4 กิจกรรมของหอพัก ซึ่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทั้งหมดเท่ากับ 315,886.92 $kgCO_2e$ และคิดเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนเท่ากับ 176.97 $kgCO_2e$ ทั้งนี้เมื่อแยกตามหอพัก พบว่า หอพักที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือ หอพักลีลาวดี 1 เท่ากับ 89,298.79 $kgCO_2e$ และคิดเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนตามกิจกรรม พบว่า นักศึกษาหนึ่งคนจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของหอพักลีลาวดี 1 จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเท่ากับ 305.10 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล รองลงมาเป็นกิจกรรมการกำจัดขยะของหอพักราชพฤกษ์ 1 มีค่าเท่ากับ 5.17 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล ส่วนกิจกรรมการใช้น้ำเป็นของหอพักราชพฤกษ์ 1 มีค่าเท่ากับ 3.42 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล และในกิจกรรมการกำจัดสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 1.00 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล เท่ากันทุกหอพัก ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำข้อมูลปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีไปใช้ในการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยเน้นที่หอพักลีลาวดี 1 เป็นอับดับแรก และโครงการคัดแยกขยะหรือโครงการธนาคารขยะ รวมทั้งโครงการเกี่ยวกับการประหยัดน้ำโดยเน้นในส่วนของหอพักราชพฤกษ์ 1

คำสำคัญ : คาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเรือนกระจก หอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Abstract
The research was conducted to assess carbon dioxide equivalent emissions at Ubon Ratchathani University dormitories. Activity data was obtained using field investigations and data collection techniques. A greenhouse gas emission calculation was done using the recommended guideline of the national greenhouse gas inventory version 2011 by IPCC. This focused on four influential factors, electrical usage, water usage, garbage disposal, and sewage disposal. Ubon Ratchathani University dormitories LeelaWadee1 and 2 dormitory Ratchapruk1 and 2 dormitory, were selected as study areas.

The results found that electrical usage was the highest cause of carbon dioxide emissions; releasing 305,149.79 $kgCO_2e$ (96.60% of the dormitories' total emissions of 315,886.92 $kgCO_2e$, and emissions per person in the dormitories were 176.97 $kgCO_2e$). Leela Wadee1 dormitory was the highest producer with 89,298.79 $kgCO_2e$ (26.41%),

[1] *อาจารย์,* [2]*นักศึกษาปริญญาตรี, วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190*

[1] *Lecturer,* [2]*Bachelor degree student, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University,Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani 34190,Thailand.*

this highest quantity of carbon dioxide emissions in Leelawadee1 dormitory was due to electrical usage and emissions per person in this dormitory were 305.10 $kgCO_2e$ per person. Carbon dioxide emissions from garbage disposal at Ratchapruk 1 dormitory were the highest at 5.17 $kgCO_2e$ per person. Carbon dioxide emissions from water usage of Ratchapruk 1 dormitory were the highest of all the dormitories at 3.42 $kgCO_2e$ per person. Carbon dioxide emissions from sewage disposal were 1.00 $kgCO_2e$ per person for each of the dormitories. The results of this study can be used to initiate campaigns focusing on electrical energy conservation, waste separation, and water saving in specific dormitories.

Keywords : Carbon dioxide: Greenhouse gas: Ubon Ratchathani University dormitories

บทนำ

การเกิดภาวะโลกร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ย (Average Weather) ในพื้นที่หนึ่ง ซึ่งลักษณะอากาศเฉลี่ยหมายถึงลักษณะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เช่น อุณหภูมิ ฝนลม เป็นต้น[1] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้มีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ณ ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาที่ชั้นบรรยากาศของโลกหนาขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจัดว่าเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก รวมถึงก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ที่มนุษย์เป็นผู้ก่อ[2] จากสถานการณ์โลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมของมนุษย์ในหลายด้าน คือผลกระทบต่อความมั่นคงของแหล่งอาหารและน้ำจืด ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพทางการเกษตร ปศุสัตว์และการประมงลดลง ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และความหลากหลายทางชีวภาพ พืชและสัตว์บางชนิดสูญพันธ์ มีผลต่อสมดุลระบบนิเวศน์ ผลกระทบต่อการอพยพถิ่นฐานของประชากรโลกเนื่องจากภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ความแห้งแล้งและความขัดแย้งจากการขาดแคลนอาหารเพื่อแย่งหาแหล่งน้ำและพื้นที่ทำกิน และที่สำคัญคือผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย การแพร่ระบาดของโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคที่จัดว่าเป็นโรคอุบัติใหม่และโรคอุบัติซ้ำที่รุนแรงเกิดขึ้นหลายชนิด ซึ่งโรคเหล่านี้ทั้งหมดติดต่อจากสัตว์สู่คนและต่อมาพัฒนาเป็นการติดเชื้อจากคนสู่คน โดยโรคที่ต้องเฝ้าระวังในประเทศไทย ได้แก่ โรคไข้กาฬหลังแอ่น โรคติดเชื้อไวรัสนิปาห์และเฮนดรา รวมทั้งโรคไข้หวัดนก เป็นต้น[3] ดังนั้นปัจจุบันการรับรู้และทัศนคติของสาธารณชนในความห่วงใยต่อสาเหตุและความสำคัญของปรากฏการณ์โลกร้อนมีมากขึ้นแต่ในทางการปฏิบัติยังไม่บรรลุผลตามที่มีการคาดการณ์ไว้เท่าที่ควร หลายหน่วยงานจึงเกิดแนวคิดที่จะช่วยกันในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้แก่ การแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนในระดับประเทศ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีถือเป็นอีกหนึ่งหน่วยงานในภาครัฐที่พยายามเป็นส่วนหนึ่งในการร่วมแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จากทางวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข ซึ่งอยู่ในสังกัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิทยาลัยฯ โดยการคำนวณเป็นค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในวิทยาลัยฯ แบ่งกิจกรรมเป็น 3 ประเภท คือ 1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลและการเดินทางด้วยรถยนต์ 2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานได้แก่การใช้ไฟฟ้า และ 3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ การใช้น้ำประปาการใช้กระดาษ A4 80 แกรมและการจัดการมูลฝอย ผลการศึกษา พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกในปีงบประมาณ 2554 ของวิทยาลัยฯ เท่ากับ 416,021.40 $kgCO_2e$ ซึ่งเดือนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือสิงหาคม ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 60,824.60 $kgCO_2e$ รองลงมาคือเดือนกรกฎาคม 2555 ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 50,468.89 $kgCO_2e$ และเมื่อวิเคราะห์ตามประเภทกิจกรรมพบว่าการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 88.75 รองลงมาเป็นปริมาณการใช้น้ำมันจากการเดินทางด้วยยานพาหนะขององค์กรคิดเป็นร้อยละ 5.11 ซึ่งจากข้อมูลวิจัยดังกล่าวถือเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาแนวทางลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข[4]

ในขณะที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นมหาวิทยาลัยที่มีหอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเอง โดยมีสำนักงานบริหารทรัพย์สินและสิทธิประโยชน์เป็นผู้ดูแลรับผิดชอบ ปัจจุบันเมื่อปีการศึกษา 2555 มีจำนวนนักศึกษาเข้าพักทั้งสิ้น 1,738 คน จากจำนวนหอพักทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ 1) หอพักประเภทจ่ายรวมค่าการใช้น้ำและค่าการใช้ไฟฟ้าจำนวน 4 หอพัก และ 2) หอพักประเภทจ่ายแยกค่าการใช้น้ำและค่าการใช้ไฟฟ้าจำนวน 4 หอพัก และมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของนักศึกษาที่จะเข้าพักในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัย

อุบลราชธานีในทุกปี[5] ซึ่งนับว่าหอพักนักศึกษาเป็นองค์กรที่มีผู้พักอาศัยอยู่จำนวนมาก และจากการดำเนินกิจกรรมภายในหอพักของนักศึกษาถือเป็นการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสืบเนื่องมาจากการที่ผู้วิจัยได้มีประสบการณ์ในการพักอยู่ในหอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมาเป็นระยะเวลาประมาณ 4 ปี ได้พบประเด็นปัญหาคือ พฤติกรรมการใช้น้ำ การใช้ไฟฟ้าที่ฟุ่มเฟือยของนักศึกษาและบุคลากรที่ทำงานอยู่ภายในหอพักส่งผลให้ค่าไฟฟ้าของหอพักในแต่ละปีมีค่าสูงมาก เช่น ในปีงบประมาณ 2555 ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายไปนั้นรวมทั้งสิ้น 2,712,245.86 บาท นอกจากนี้ยังมีพฤติกรรมการใช้สอยสิ่งของเครื่องใช้หรือเครื่องอุปโภคบริโภคต่าง ๆ ที่ไม่เล็งเห็นถึงคุณค่า ทำให้เกิดปริมาณขยะภายในหอพักเพิ่มมากขึ้น โดยมีปริมาณขยะในปัจจุบันทั้งสิ้นรวม 7,314 กิโลกรัม[6] ประกอบกับจำนวนนักศึกษาที่พักอยู่ภายในหอพักมีจำนวนมากจึงถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้สภาพปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและอาจส่งผลให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศมากขึ้นซึ่งทางด้านหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่มีการออกมาตรการข้อกำหนดที่เข้มงวด หรือมีการจัดทำโครงการเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเร่งด่วนเท่าที่ควร

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงต้องการที่จะทำการศึกษาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจากกิจกรรมการใช้น้ำ การใช้ไฟฟ้า การกำจัดขยะ การกำจัดสิ่งปฏิกูล ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อเป็นการชี้ให้เห็นถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษาที่เกิดจากการมีพฤติกรรมที่ไม่ใส่ใจในการประหยัดพลังงานดังกล่าว พร้อมกับนำข้อมูลดังกล่าวไปให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวางแผนการดำเนินงานเพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการจัดทำโครงการหรือกิจกรรมต่าง ๆ สำหรับการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อคำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research) เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยดำเนินการตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของประเทศไทย[7]

ประชากร

ประชากรคือกิจกรรมภายในหอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในเดือนตุลาคม 2555 ถึงเดือนกันยายน 2556 ประกอบด้วยกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าการใช้น้ำการกำจัดขยะ และการกำจัดสิ่งปฏิกูล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือการสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลกิจกรรมที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากเดือนตุลาคม 2555 ถึง เดือนกันยายน 2556 ประกอบด้วย

1) ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และการกำจัดสิ่งปฏิกูลจากสำนักงานบริหารทรัพย์สินและสิทธิประโยชน์ และสำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี[5]

2) ปริมาณการใช้น้ำ และการกำจัดขยะจากสำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี[6]

2. ค่าแฟกเตอร์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากฐานข้อมูลประเทศไทยขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) พ.ศ. 2554[7] ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1) ค่าแฟกเตอร์ของการใช้น้ำ เท่ากับ 0.0003 $kgCO_2e/m^3$

2) ค่าแฟกเตอร์ของการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 0.5610 $kgCO_2e/kWh$

3) ค่าแฟกเตอร์ของการกำจัดขยะ เท่ากับ 0.0494 $kgCO_2e/ton\text{-}km$

4) ค่าแฟกเตอร์ของการกำจัดสิ่งปฏิกูล เท่ากับ 154.63 mg/L BOD × 0.42 $kgCH_4/kg$ BOD

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดเก็บและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษาซึ่งแบ่งตามหน่วยงานได้ดังต่อไปนี้

1) สำนักงานบริหารทรัพย์สินและสิทธิประโยชน์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้

- จำนวนนักศึกษา อาจารย์ประจำหอพัก เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยประจำหอพัก แม่บ้านประจำหอพัก ช่างซ่อมบำรุงและผู้ดูแลภูมิทัศน์

- ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการกำจัดสิ่งปฏิกูลของหอพักนักศึกษา

2) สำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- ปริมาณการใช้น้ำและการกำจัดขยะของหอพักนักศึกษา

2. ตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนและความสมบูรณ์ของข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษาในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2555 ถึงเดือนกันยายน 2556 โดยหาได้จากการคำนวณเป็นค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในหอพัก ซึ่งนำข้อมูลกิจกรรมของหอพักนักศึกษา ที่ได้ทำการหาผลรวมไว้แล้วในแต่ละกิจกรรมมาทำการคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่างๆ (Activity Data) คูณแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factors) แสดงผลในรูปของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) ดังแสดงในสมการที่ 1[7]

$$CO_2 \text{ emission} = \text{Activity data} \times \text{Emissions factor} \quad (1)$$

โดยที่ CO_2 emission = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษา

Activity Data = ข้อมูลกิจกรรมที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษา

Emissions factor = ค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจก

ซึ่งมีสมการคำนวณเพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังต่อไปนี้

1) สมการที่ 2[7] คำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการใช้น้ำ

$$CO_2 \text{ emission} = \text{ปริมาณการใช้น้ำ } (m^3) \times 0.0003 \ (kgCO_2e/m^3) \quad (2)$$

2) สมการที่ 3[7] คำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า

$$CO_2 \text{ emission} = \begin{cases} \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (KWh)} \times \\ 0.5610 \ (kgCO_2e/KWh) \end{cases} \quad (3)$$

3) สมการที่ 4[7] คำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการกำจัดขยะ

$$CO_2 \text{ emission} = \begin{cases} \text{น้ำหนักขยะ (ton)} \times \text{ระยะทางไปและกลับเฉลี่ย (km)} \\ \times 0.0494 \ (kgCO_2e/ton\text{-}km) \end{cases}$$

$$+$$

$$CO_2 \text{ emission} = \text{น้ำหนักขยะ (kg)} \times 0.8421 \ (kgCO_2e/kg) \quad (4)$$

4) สมการที่ 5[7] การคำนวณเพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการกำจัดสิ่งปฏิกูล

$$CO_2 \text{ emission} = \begin{cases} \text{ปริมาณสิ่งปฏิกูลเฉลี่ย 2.0 (L/person/day)} \\ \times \text{จำนวนคน x 154.63 (mg/L BOD)} \\ \times 0.42 \ (kg\ CH_4/kg\ BOD) \end{cases} \quad (5)$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตามรายปีงบประมาณ 2556 (1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556) แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) วิเคราะห์แยกตามกิจกรรมคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมแต่ละประเภท (Activity data) ที่ได้จากผลรวมในแต่ละกิจกรรมคูณค่าแฟกเตอร์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Emission factors) เพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการใช้น้ำการใช้ไฟฟ้า การกำจัดขยะ และการกำจัดสิ่งปฏิกูล

2) วิเคราะห์แยกตามหอพักนักศึกษา โดยการหาผลรวมของปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทุกกิจกรรมของแต่ละหอพัก เพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละหอพักประกอบด้วย หอพักลีลาวดี 1 และ 2 หอพักราชาวดี 1 3 และ 4 และหอพักราชพฤกษ์ 1 และ 2

นอกจากนี้ยังใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าร้อยละ (Percentage) คะแนนสูงสุด (Max) และคะแนนต่ำสุด (Min) ของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกิจกรรมแต่ละประเภทและแต่ละหอพัก

3) วิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนในหอพักแยกตามกิจกรรมและหอพัก โดยคำนวณได้จากการนำปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมในแต่ละหอ หารด้วยจำนวนสมาชิกแต่ละหอเพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนในแต่ละหอพักและแต่ละกิจกรรม

4) วิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนในทุกกิจกรรมและทุกหอพัก โดยใช้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากทุกกิจกรรมในทุกหอพัก หารด้วยจำนวนนักศึกษาในหอพักทุกหอ เพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคล

ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยแยกตามประเภทกิจกรรม พบว่า กิจกรรมการใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ การกำจัดขยะ และการกำจัดสิ่งปฏิกูล มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงใน (Figure 1) ซึ่งกิจกรรมการใช้ไฟฟ้ามีการปล่อยมากที่สุด 305,149.79 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 96.60

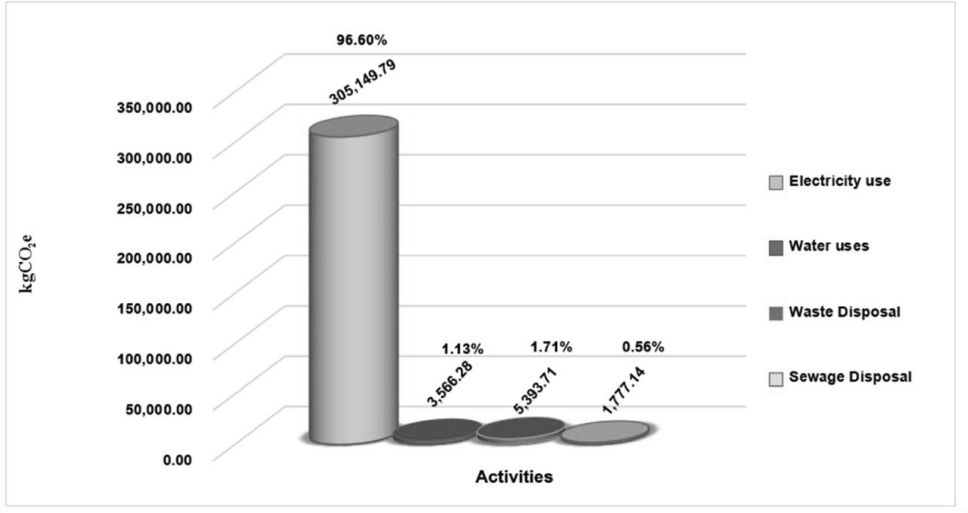


Figure 1 Carbon dioxide emission in activities ($kgCO_2e$)

โดยปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของทุกหอพักรวมกันเท่ากับ 315,886.92 $kgCO_2e$ และเมื่อแยกตามหอพักพบว่า หอพักที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ หอพักลีลาวดี 1 มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 89,298.79 $kgCO_2e$ รองลงมาคือ หอพักราชาวดี 3 มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 63,091.12 $kgCO_2e$ โดยคิดเป็นร้อยละในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 26.41 และ 18.66 ดังรายละเอียดใน (Figure 2)

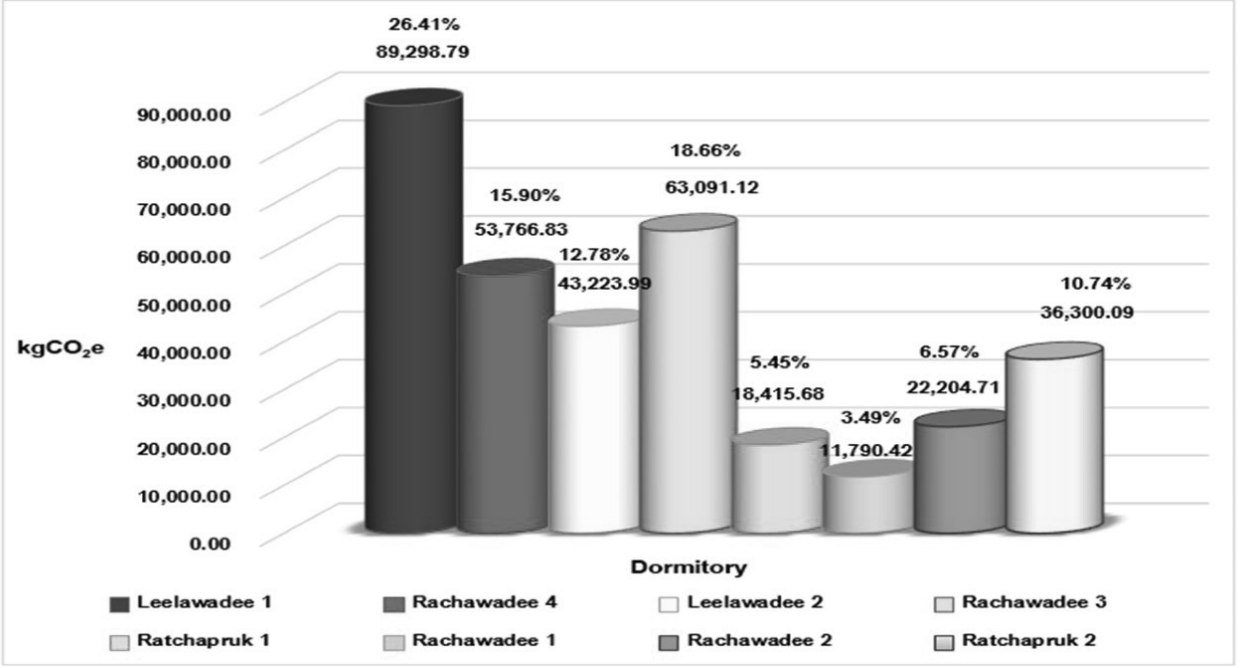


Figure 2 Carbon dioxide emission in dormitory ($kgCO_2e$)

สำหรับปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนในหอพัก ซึ่งแยกตามประเภทกิจกรรมและหอพัก พบว่า นักศึกษาหนึ่งคนจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของหอพักลีลาวดี 1 มากที่สุดเท่ากับ 305.10 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล น้อยที่สุดคือ หอพักราชาวดี 1 เท่ากับ 42.94 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล ส่วนกิจกรรมการใช้น้ำของหอพักราชพฤกษ์1 มากที่สุดเท่ากับ 3.42 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล น้อยที่สุดคือ หอพักลีลาวดี 1 เท่ากับ 1.30 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล ในขณะที่กิจกรรมการกำจัดขยะของหอพักราชพฤกษ์[1] มากที่สุดเท่ากับ 5.17 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล น้อยที่สุดคือ หอพักลีลาวดี 2 เท่ากับ 2.32 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล และกิจกรรมการกำจัดสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 1.00 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล เท่ากันทุกหอพัก ดังแสดงใน (Table 1)

Table 1 Carbon dioxide emissions per person, each event and each dormitory

Dormitory-name	Membership	Carbon dioxide emission per person, each event and each dormitory ($kgCO_2e$)								Total of activity in domitory ($kgCO_2e$)	Total per person of activity in dormitory ($kgCO_2e$/ person)
		Electricity use		Water uses		Waste disposal		Sewage disposal			
		Total	per person	Total	per person	Total	per person	Total	per person		
Leelawadee 1	288	87,868.31	305.10	373.22	1.30	770.53	2.68	286.73	1.00	89,298.79	310.07
Rachawadee 4	258	52,305.40	202.73	434.04	1.68	770.53	2.99	256.86	1.00	53,766.83	208.40
Leelawadee 2	332	41,166.18	123.99	956.74	2.88	770.53	2.32	330.54	1.00	43,223.99	130.19
Rachawadee 3	326	61,449.14	188.49	546.88	1.68	770.53	2.36	324.57	1.00	63,091.12	193.53
Ratchapruk 1	149	16,987.08	114.01	509.73	3.42	770.53	5.17	148.34	1.00	18,415.68	123.60
Rachawadee 1	243	10,434.60	42.94	343.36	1.41	770.53	3.17	241.93	1.00	11,790.42	48.52
Ratchapruk 2	189	34,939.08	184.86	402.31	2.13	770.53	4.08	188.17	1.00	36,300.09	192.06
Total	**1,785**	**305,149.79**	**-**	**3,566.28**	**-**	**5,393.71**	**-**	**1,777.14**	**-**	**315,886.92**	**176.97**

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งจากทุกกิจกรรมในทุกหอพัก พบว่านักศึกษาหนึ่งคน จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 176.97 $kgCO_2e$ ซึ่งคำนวณจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนนักศึกษาในหอพักทั้งหมด ดังนี้

$$\frac{315{,}886.92\ (kgCO_2e)}{1{,}785\ \text{person}} = 176.97\ kgCO_2e/\ \text{person}$$

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยแบ่งตามกิจกรรม พบว่า กิจกรรมที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ กิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 305,149.79 $kgCO_2e$ รองลงมาคือ กิจกรรมการกำจัดขยะมีค่าเท่ากับ 3,566.28 $kgCO_2e$ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนิตยา โฆษา[4] วีรพล ยิ้มสินสมบูรณ์[8] และ ชุติมา สุขอนันต์[9] ที่ได้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์) ขององค์กร พบว่ากิจกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันสิ่งของเครื่องใช้ในการอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันโดยส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เช่นเดียวกับสิ่งของเครื่องใช้เพื่ออำนวยความสะดวกภายในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เช่น หลอดไฟ ซึ่งมีจำนวนมากที่สุดภายในหอพักนักศึกษาโดยมีจำนวนทั้งหมด 5,684 หลอด รองลงมาเป็นพัดลมจำนวน 601 เครื่อง และเครื่องปรับอากาศจำนวน 262 เครื่อง เป็นต้น รวมถึงการมีพฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าวที่ไม่เหมาะสม[5] จึงทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยหากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นแล้ว ก็จะส่งผลให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อแยกการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตามหอพัก พบว่า หอพักที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือ หอพักลีลาวดี[1] มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 89,298.79 $kgCO_2e$ เนื่องจากเป็นหอพักที่มีเครื่องปรับอากาศทุกห้องและมีจำนวนสมาชิกภายในหอมากถึง 288 คน รวมไปถึงการที่สมาชิกทุกคนภายในหอมีพฤติกรรมในการใช้พลังงานไฟฟ้า และทรัพยากรอื่นๆ อย่างไม่คำนึงถึงความ

ประหยัด ไม่คำนึงถึงความคุ้มค่า ซึ่งได้มีการสังเกตพฤติกรรมต่างๆ เหล่านั้นในขณะที่มีการลงพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ณ หอพักต่างๆ ส่วนหอพักที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดคือ หอพักราชาวดี1 มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 11,790.42 $kgCO_2e$ เนื่องจากเป็นหอพักสวัสดิการที่มีเครื่องปรับอากาศเฉพาะห้องอ่านหนังสือ จำนวน 2 เครื่อง โดยส่วนใหญ่แล้วไม่ได้มีการเปิดใช้งานเป็นประจำทุกวัน จะมีการใช้งานส่วนใหญ่ในช่วงเทศกาลอ่านหนังสือสอบ และในส่วนสมาชิกที่อาศัยอยู่ภายในหอพักนี้ก็มีจำนวนน้อยกว่าหอพักลีลาวดี[1]

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลของสมาชิกภายในหอพักในแต่ละกิจกรรมและแต่ละหอพักพบว่า ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลในกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของหอพักลีลาวดี1 มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลเท่ากับ 305.10 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล ถ้าหากสังเกตปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของหอพักดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่าสูงสุดคือ 87,868.31$kgCO_2e$ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหอพักที่มีเครื่องปรับอากาศทุกห้อง และไม่มีการติดตามตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่นักศึกษานำเข้ามาใช้ซึ่งเป็นของใช้ส่วนตัวตามกฎข้อบังคับของหอพัก เช่น ไม่ให้นำโทรทัศน์ ตู้เย็น เข้ามาใช้ภายในหอพัก เป็นต้น และตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาไม่มีการจัดทำโครงการหรือการดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่ออนุรักษ์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในหอพักอย่างเป็นรูปธรรม จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่าหอพักอื่นๆ ในขณะที่หอพักราชาวดี 1 มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลน้อยที่สุดคือ เท่ากับ 42.94 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล เนื่องมาจากเป็นหอพักที่มีบริบทแตกต่างจากหอพักลีลาวดี 1 อย่างสิ้นเชิง เช่น เป็นหอพักที่มีเครื่องปรับอากาศเฉพาะห้องอ่านหนังสือรวมจำนวน 2 เครื่อง เป็นหอพักสวัสดิการที่เก่าแก่นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่นิยมเข้าพัก เป็นต้น สำหรับในกิจกรรมการใช้น้ำของหอพักราชพฤกษ์ 1 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.42 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหอพักสวัสดิการที่ไม่ต้องจ่ายค่าน้ำในแต่ละเดือนสมาชิกภายในหอพักส่วนใหญ่จึงมีพฤติกรรมการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือย นอกจากนี้มีท่อส่งน้ำประปาแตกชำรุดอยู่บ่อยครั้งในบริเวณหอพักและมีคนนอกที่ไม่ใช่สมาชิกภายในหอพักเข้ามาใช้น้ำในการล้างรถจักรยานยนตร์อยู่บ่อยครั้งจึงส่งผลให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคล มีค่ามากที่สุด ในส่วนของกิจกรรมการกำจัดขยะของหอพักราชพฤกษ์ 1 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.17$kgCO_2e$ ต่อบุคคลเนื่องจากหอพักราชพฤกษ์ 1 เป็นหอพักที่มีนักศึกษามารวมตัวกันเพื่อพบปะพูดคุยรวมถึงการทำงานกลุ่มค่อนข้างมากและบ่อยครั้ง ทำให้มีการซื้อสิ่งของต่างๆ มาเพื่อใช้ในการดำเนินงาน ตลอดจนอาหารและเครื่องดื่มต่างๆ ซึ่งสามารถหาซื้อได้อย่างสะดวกเนื่องจากมีร้านค้าอยู่ใกล้กับหอพัก และที่สำคัญสมาชิกภายในหอพักไม่มีการคัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้งจึงเป็นอีกส่วนหนึ่งที่เป็นประเด็นปัญหาหลักที่สำคัญทำให้ปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สำหรับปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลในกิจกรรมการกำจัดสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 1.00 $kgCO_2e$ ต่อบุคคล เท่ากันทุกหอพัก เนื่องจากมีการคำนวณโดยใช้ค่าปริมาณการเกิดสิ่งปฏิกูลเฉลี่ยต่อบุคคลต่อวันเท่ากัน

นอกจากนี้ยังพบว่าหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมีการปล่อยปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเท่ากับ 315,886.92 $kgCO_2e$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนักศึกษาหนึ่งคนมีค่าเท่ากับ 176.97 $kgCO_2e$ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อบุคคลหนึ่งคน แต่ทุกคนควรตระหนักและตื่นตัวในการช่วยลดปัญหาโลกร้อนอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคือการที่ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นจนเกินสมดุล โดยแหล่งกำเนิดหลักคือกิจกรรมของมนุษย์ เช่น กิจกรรมการใช้ไฟฟ้า กิจกรรมการใช้น้ำ กิจกรรมการกำจัดขยะ และกิจกรรมการกำจัดสิ่งปฏิกูล เป็นต้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สำนักงานที่รับผิดชอบงานด้านหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ควรมีการส่งเสริมโครงการหรือกิจกรรมที่ช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้นเพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ขององค์กร ได้แก่ 1) รณรงค์หรือจัดอบรมให้สมาชิกภายในหอพักนักศึกษาประหยัดพลังงานไม่ว่าจะเป็นในส่วนของพลังงานไฟฟ้า พลังงานน้ำที่มีการใช้ในการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ซึ่งอาจจะประกาศเป็นนโยบายของสำนักงานและติดตามผลการปฏิบัติเป็นภารกิจอีกประการหนึ่งขององค์กร 2) เน้นการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นอันดับแรกคือหอพักลีลาวดี 1 และ 3) เน้นการดำเนินโครงการคัดแยกขยะหรือโครงการธนาคารขยะ และโครงการเกี่ยวกับการประหยัดน้ำเพื่อเพื่อลดปริมาณการนำขยะไปกำจัดและลดการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลืองเป็นอันดับแรก ในหอพักราชพฤกษ์ 1

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคลากรสำนักงานบริหารทรัพย์สินและสิทธิประโยชน์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และสำนักงานบริกายภาพและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุตุนิยมวิทยา. ภาวะเรือนกระจก. [ออนไลน์] 2556 [สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน2556]; ได้จาก http://www.tmd.go.th/info/knowledge_greenhouse01_n.html
2. เกรียงไกร แสนทวีสุข. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน. [ออนไลน์] 2556 [สืบค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2556]; ได้จาก http://www.wing2rtaf.net/department/weather/images/commander/2.4%20.pdf
3. วราพร พิมพ์ประไพ. ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อการเกิดโรคสัตว์สู่คนอุบัติใหม่และอุบัติซ้ำ. [ออนไลน์] 2556 [สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2556]; ได้จากhttp://www.baanjomyut.com/library/global_warming/animal_diseases.html
4. นิตยา โฆษา. การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ปัญหาพิเศษด้านสาธารณสุขปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2555.
5. สำนักงานบริหารทรัพย์สินและสิทธิประโยชน์ ฝ่ายหอพักนักศึกษา. ข้อมูลการบริหารจัดการหอพักนักศึกษาประจำปี 2555-2556. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2556.
6. สำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อม กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม. ข้อมูลการใช้น้ำและการจัดการขยะของหอพักนักศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2555. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2556.
7. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. [ออนไลน์] 2554 [สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2556]; ได้จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?op=history
8. วีรพล ยิ้มสินสมบูรณ์, ณภัทร จักรวัฒนา และวีระวัฒน์ เมืองคำ. การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับสถาบันการศึกษา กรณีตัวอย่างวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยพะเยา. ใน: รายงานการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 11. โรงแรม โพธิ์วดล รีสอร์ท แอนด์ สปา. เชียงราย; 2555. หน้า 145.
9. ชุติมา สุขอนันต์. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.

การดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ

Adsorption of Direct Red Dye Using Rice Husk Ash

ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์[1], สุมลรัตน์ กองวี[2]

Panjai Saueprasearsit[1], Sumonrat Kongwee[2]

Received: 9 April 2016; Accepted: 12 July 2016

บทคัดย่อ

สีไดเร็กท์เรดจัดว่าเป็นสารมลพิษทางน้ำที่สำคัญที่พบในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดผลกระทบทั้งต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาบำบัดสีไดเร็กท์เรดด้วยการดูดซับโดยใช้เถ้าแกลบดำเป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาในรูปแบบการทดลองแบบทีละเท ซึ่งปัจจัยการดูดซับที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรด และอุณหภูมิ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษากลไกการดูดซับและประเมินค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของแลงก์เมียร์และฟรุนดิช และการศึกษาพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (ΔG^0, ΔH^0 and ΔS^0) โดยใช้สมการของเวนท์ ฮอฟฟ์

จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ คือ ค่าความเป็น กรด-ด่าง เท่ากับ 2 ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 60 เซลเซียส สำหรับการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับพบว่าสอดคล้องทั้งสมการแลงก์เมียร์และสมการของ ฟรุนดิช โดยความสามารถสูงสุดของการดูดซับตามสมการของแลงเมียร์ มีค่าเท่ากับ 20.08 มิลลิกรัมของสีไดเร็กท์เรดต่อ 1 กรัมของเถ้าแกลบดำ นอกจากนี้จากผลของการศึกษาพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่า ปฏิกิริยาการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous reaction) และเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า เถ้าแกลบดำจัดเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดและการใช้เถ้าแกลบดำมาเป็นวัสดุดูดซับนั้นจัดเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การดูดซับ สีไดเร็กท์เรด เถ้าแกลบดำ

Abstract

Direct red dye is a significant water pollutant that has been identified in wastewater from the textile industry. Its release into the natural resources can affect human health and the ecosystem. Therefore, this research project studied the treatment of direct red dye by adsorption while using rice husk ash as an adsorbent. All experiments were carried out in the batch technique. Adsorption factors consisted of pH, contact time, initial direct red dye concentration, and temperature. Langmuir and Freundlich isotherms were investigated for the maximum adsorption capacity and explaining the adsorption mechanism. Furthermore, Van's Hoff equation evaluated thermodynamic parameters as ΔG^0, ΔH^0 and ΔS^0

The results indicated that the appropriate condition for direct red dyes adsorption using rice husk ash is at pH 2, contact time of 30 minutes, initial direct red dye concentration of 10 mg/L and temperature of 60°C. This result is fitted with Langmuir isotherm and Freundlich isotherm. The maximum capacity is 20.08 mg of direct red dyes per g of rice husk ash follow to Langmuir isotherm. Moreover, the results presented that the adsorption can occur in natural condition and the results presented that the adsorption was a spontaneous reaction and endothermic reaction. From all results, it can be concluded that rice husk ash is an efficient adsorbent and using rice husk ash server as an eco-friendly approach.

Keywords: adsorption, direct red dye, rice husk ash

---

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์/โทรสาร (043) 754435 โทรศัพท์มือถือ (095) 6595844 อีเมล์ panjai.s@hotmail.com*

[2] *คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1] *Assistant Prefessor, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham 44150, Tel. (043) 754435, (095) 6595844, e-mail-panjai.s@hotmail.com*

[2] *Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham 44150*

บทนำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าน้ำเสียสีย้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจัดว่าเป็นมลพิษทางน้ำที่สำคัญซึ่งเมื่อเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้ว อาจก่อให้เกิดผลกระทบทั้งต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม[1] โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า องค์ประกอบของสีย้อมสามารถสะสมในร่างกายของมนุษย์ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและความผิดปกติของอวัยวะต่างๆที่เข้าไปสะสม นอกจากนี้สีย้อมที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดการย่อยสลายและดึงออกซิเจนไปใช้ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้[2] จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจำนวนมากพยายามหาวิธีที่จะบำบัดสีย้อมโดยวิธีการบำบัดมีได้หลายรูปแบบ เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation) กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment) สำหรับวิธีการดูดซับนั้นจัดว่าเป็นวิธีการบำบัดอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้หลักการขั้นพื้นฐานเป็นกระบวนการที่เข้าใจง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ความชำนาญการมากนัก[3] รวมทั้งวัสดุดูดซับที่นำมาใช้นั้นสามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาถูกหลายชนิดมาใช้เป็นตัวดูดซับได้ เช่น แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กะลามะพร้าว[4-11] สำหรับงานวิจัยนี้วัสดุดูดซับที่นำมาใช้ คือ เถ้าแกลบดำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าร้อยเอ็ดกรีน จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งในแต่ละปีโรงไฟฟ้าดังกล่าว มีปริมาณเถ้าแกลบดำที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยเถ้าแกลบดำที่ผลิตได้บางส่วนจะมอบให้แก่เกษตรกรเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก การเพาะชำกล้าไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์กับปริมาณที่ผลิตได้พบว่ายังเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก ทำให้ทางโรงไฟฟ้าประสบปัญหาในการจัดการเถ้าแกลบดำดังกล่าว และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณลักษณะของเถ้าแกลบ ดำพบว่า เถ้าแกลบดำ ประกอบด้วย ซิลิกาประมาณ 70-95 % และมีคาร์บอนประมาณ 5-30 % ที่เหลือ เป็น CaO, MgO, NaO_2, K_2O, Al_2O_3, Fe_2O_3 และ Sulfate[12] และเถ้าแกลบดำมีพื้นที่ผิวสูงทำให้ถูกนำไปใช้เป็นตัวดูดซับสารหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ระเหยได้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ทองแดง ดูดซับไอออนของตะกั่วและปรอท[13] เป็นต้น จากข้อมูลทั้งหมดดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำเถ้าแกลบดำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมในงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ สีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ และทราบถึงกลไกการดูดซับสีไดเร็กท์โดยใช้เถ้าแกลบดำ ทั้งในส่วนของการเข้าไปยึดจับของอนุภาคสีบนเถ้าแกลบดำ (จากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ) และพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการดูดซับ (จากการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับ) ซึ่งประโยชน์ของงานวิจัยนี้ นอกเหนือจากการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งตลอดจนเป็นการช่วยลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมในกรณีที่มีการจัดการวัสดุดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จัดว่าเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

นำสีไดเร็กท์เรด โดยสีดังกล่าวเป็นสีย้อมไหมตราช้างเป็นสีเบอร์ 12 B (สีบานเย็น: Direct Red 31) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ซึ่งมีโครงสร้างดัง (Figure 1)[14] ปริมาณ 1 กรัม บรรจุลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่าจนสีไดเร็กท์เรดละลายหมด ทำการบรรจุสารละลายที่ได้ลงในขวดบรรจุสาร ปิดฝาให้สนิท เพื่อใช้เป็น Stock Solution ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่นำมาเจือจางให้ได้สีไดเร็กท์เรด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามการทดลองในลำดับต่อไป

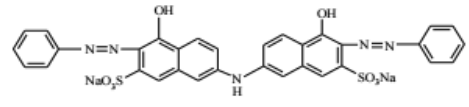


Figure 1 Structure of Direct Red 31[14]

2. การเตรียมเถ้าแกลบดำ

นำเถ้าแกลบดำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 250 ไมครอนและ 500 ไมครอน เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำเถ้าแกลบดำที่ค้างบนตะแกรงขนาด 250 ไมครอน มาทำการล้างน้ำกลั่นเพื่อทำความสะอาดจนน้ำที่ผ่านการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) เท่ากับค่า pH ของน้ำกลั่น นำเถ้าแกลบดำที่ผ่านการล้างมาทำการอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นบรรจุลงถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นเพื่อป้องกันความชื้น

3. การศึกษาปัจจัยที่มีผลในการดูดซับ

3.1 การศึกษาผลของค่า pH

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร มาทำการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 และทำการเทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร

ทำการเติมเถ้าแกลบดำลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์บรรจุอยู่จำนวน 3 ขวด (1 ขวดที่เหลือเป็น Blank) ขวดละ 0.5 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำของผสมที่ได้ไปทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 จากนั้นนำสารละลาย ส่วนที่ใสไปทำการหาความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น 20 GENESYS ยี่ห้อ SPECTRONIC) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนค่า pH เป็น 3 – 7 และนำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ และหาค่า pH ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองลำดับถัดไป

3.2 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับค่า pH ที่เหมาะสม เทน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับค่า pH เรียบร้อยแล้วในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 36 ขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นทำการแบ่งขวดรูปชมพู่ออกเป็น 9 ชุด ชุดละ 4 ขวด เติมเถ้าแกลบดำลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 0.5 กรัม จำนวน 3 ขวดต่อ 1 ชุด จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ทั้งหมดไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360 นาที (1 ชุด = 1 ระยะเวลา) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด นำชุดขวดรูปชมพู่ของระยะเวลาดังกล่าวมาทำการกรองของผสมด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 และนำสารละลายส่วนใสไปทำการหาค่าความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนค่าความเข้มข้นเป็น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาหาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ และหาค่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองลำดับถัดไป

3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิ

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด 5, 10, 25 , 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาความเข้มข้นละ 200 มิลลิลิตร บรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับค่า pH ที่เหมาะสม จากนั้นทำการแบ่งน้ำเสียสังเคราะห์ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร (4 ขวดต่อ 1 ความเข้มข้น) ทำการเติมเถ้าแกลบดำ 0.5 กรัมลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวดต่อ 1 ความเข้มข้น จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม ทำการกรองของผสมด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 และนำสารละลายส่วนใสไปทำการหาค่าความเข้มข้นโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทำซ้ำแต่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 45 และ 60 องศาเซลเซียส และนำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาไอโซเทอร์มและกลไกทางเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับ นอกจากนี้ จากการศึกษานี้จะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการศึกษาของผลของปัจจัยการดูดซับที่มีต่อการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ (3.1 – 3.3) จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับประสิทธิภาพการดูดซับ (Adsorption efficient; %) หรือความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity; mg/l) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ (2)[15]

$$\text{Adsorption efficiency (\%)} = ((C_i - C_f)/C_i)\times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Adsorption capacity (mg/g)} = (C_i - C_f)/m)\times V \quad (2)$$

เมื่อ C_i คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรด (mg/l), C_f คือความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด (mg/l) หลังผ่านการดูดซับ, m = ปริมาณของเถ้าแกลบดำ (g) และ V = ปริมาตรของสารละลาย (l)

3.4 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับเพื่ออธิบายลักษณะการดูดซับของสีไดเร็กท์เรดบนพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบดำในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของแลงก์เมียร์และฟรุนดิช ซึ่งรายละเอียดของสมมติฐานในการสร้างสมการและรูปของสมการมีดังนี้[15,16]

1) แลงก์เมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir isotherm)

สมมติฐาน: การดูดซับสีไดเร็กท์เรดบนเถ้าแกลบดำจะอยู่ในรูปแบบการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคือ พื้นที่ผิวของเถ้าแกลบดำ ขนาดของรูพรุนของเถ้าแกลบดำ และขนาดของอนุภาคของสีไดเร็กท์เรด และปฏิกิริยาระหว่าง สีไดเร็กท์เรดและเถ้าแกลบดำ

สมการ: $C_e/q_e = (1/q_m)C_e + 1/q_m.K_L$ (3)

$$1/q_e = (1/K_L.q_m)(1/C_e) + 1/q_m \quad (4)$$

2) ฟรุนดิชไอโซเทอร์ม (Freundlich isotherm)

สมมติฐาน: การดูดซับสีไดเร็กท์เรดบนเถ้า

แกลบดำจะอยู่ในรูปแบบการดูดซับมากกว่าหนึ่งชั้น (Multi-layer) นอกจากปัจจัยที่มีผลที่กล่าวในส่วนของ Monolayer แล้ว แรงปฏิกิริยาระหว่างชั้นของอนุภาคของสีไดเร็กท์เรดจะมีผลต่อการดูดซับด้วย

สมการ: $\ln q_e = (1/n)\ln C_e + \ln K_F$ (5)

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรด ณ จุดสมดุลของการดูดซับ (mg/l), q_e = ความสามารถในการดูดซับ ณ จุดสมดุลของการดูดซับ (mg/g), q_m = ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (mg/l), K_L = ค่าคงที่ของแลงก์เมียร์ และ K_F = ค่าคงที่ของฟรุนดิช

3.5 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับ

การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีไดเร็กท์-เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ เป็นการศึกษาเพื่ออธิบายพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการดูดซับ โดยพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ศึกษา ประกอบด้วย (1) ค่าพลังงานอิสระ (ΔG^0) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่ามีความจำเป็นต้องให้พลังงานเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการดูดซับหรือไม่ หากค่าดังกล่าวเป็น + แสดงว่าต้องการพลังงานเพิ่มเติมไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเองได้ ถ้าค่าเป็น – แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง หรือที่เรียกว่า Spontaneous reaction (2) ค่าเอนทาลปี (ΔH^0) หรือค่าพลังงานของปฏิกิริยาเกิดจากการนำค่าพลังงานของผลิตภัณฑ์ – พลังงานของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ถ้าค่านี้เป็น – แสดงว่าค่าพลังงานของสารตั้งต้นมากกว่าพลังงานของผลิตภัณฑ์แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าเป็น + แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endo-thermic reaction) และ (3) ค่าเอนโทรปี (ΔS^0) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความไม่เป็นระเบียบของระบบที่มีความสัมพันธ์ต่อความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ หาค่าเอนโทรปีเป็น – แสดงว่าระบบมีความเป็นระเบียบมากการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือปฏิกิริยาย่อมทำได้ยาก แต่หากค่าดังกล่าวเป็น + แสดงว่าระบบมีความไม่เป็นระเบียบมากการที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อมทำได้ง่าย สำหรับ สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าทั้งสาม เป็นดังสมการ (6) – (8)

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_L \quad (6)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (7)$$

$$\ln K_L = \Delta H^0/-RT + \Delta S^0/R \quad (8)$$

เมื่อ ΔG^0 คือพลังงานอิสระของ Gibbs (kJ.mol^{-1}), ΔH^0 คือการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (kJ.mol^{-1}), ΔS^0 คือการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (kJ.mol^{-1}.K^{-1}), R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 J.mol^{-1}.K^{-1}), K_L คือค่าคงที่สมดุลทางเทอร์โม-ไดนามิกส์ และ T คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (K)

ผลและอภิปรายผล

1.1 ผลของค่า pH

จากการศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ พบว่า ได้ผลการศึกษาแสดงได้ดัง (Figure 2)

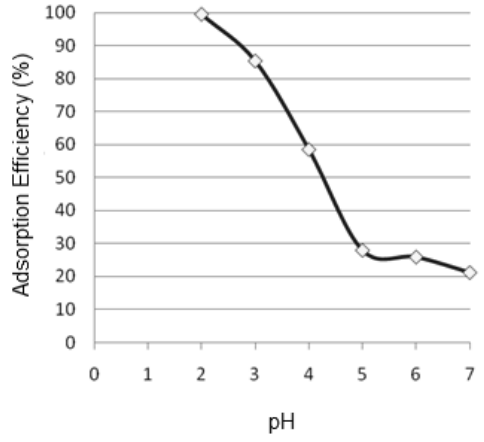


Figure 2 Effects of pH on direct red dye adsorption

จาก (Figure 2) แสดงให้เห็นว่าช่วงค่า pH ต่ำประสิทธิภาพการดูดซับสีไดเร็กท์เรดจะมีค่าสูงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วง pH ต่ำ ปริมาณของ H^+ ที่ล้อมรอบเถ้าแกลบดำมีเป็นจำนวนมาก ในขณะที่จากการศึกษาโครงสร้างสีไดเร็กท์เรด พบว่า มีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งมีประจุลบทำให้เกิดแรงดึงดูด เนื่องจากความแตกต่างของประจุส่งผลให้การดูดซับมีประสิทธิภาพสูง[17,18] และเมื่อ pH ของสารละลายสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณ H^+ มีค่าลดลงส่งผลให้แรงดึงดูดเนื่องจากความแตกต่างของประจุลดลงตามไปด้วยประสิทธิภาพการดูดซับจึงลดต่ำลงตามไปด้วย[19, 20] จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำคือ ค่า pH เท่ากับ 2

1.2 ผลของระยะเวลาสัมผัส

จากการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้ เถ้าแกลบดำ พบว่า ผลการศึกษาแสดงได้ดัง (Figure 3)

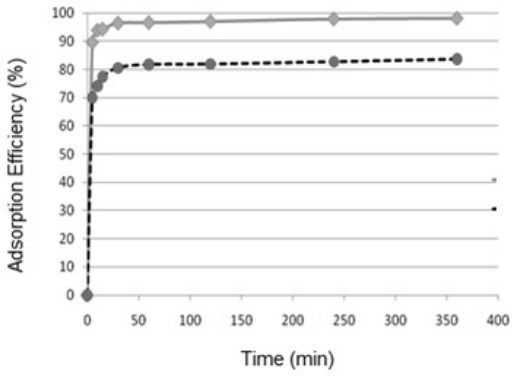


Figure 3 Effects of contact time on direct red adsorption

จาก (Figure 3) ประสิทธิภาพการดูดซับสีไดเร็กท์เรดที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆกัน พบว่า ที่ความเข้มข้น 10 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ประสิทธิภาพการดูดซับจะสูงขึ้นในช่วง 0-30 นาทีแรกของการดูดซับเนื่องจากในระยะแรกพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบดำยังไม่มีอนุภาคเข้าไปยึดจับทำให้การเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือการดูดซับระหว่างสีไดเร็กท์เรดและพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบดำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว[21] จากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับ สีไดเร็กท์เรดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและเริ่มเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ (ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่) หรืออัตราการ ดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ดังนั้นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้คือ 30 นาที

1.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำพบว่า ผลการศึกษาแสดงได้ดัง (Figure 4)

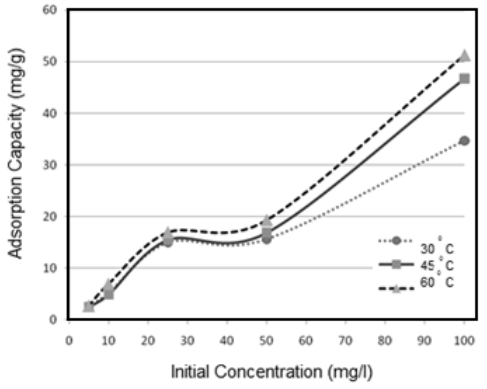


Figure 4 Effects of initial direct red dye concentration and temperature on adsorption

จาก (Figure 4) จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดของเถ้าแกลบดำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากการเพิ่มแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับและ สีย้อมทำให้ความสามารถในการดูดซับมีค่ามากขึ้น[21] นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากอุณหภูมิที่แตกต่างกันพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีไดเร็กท์เรดด้วยเถ้าแกลบดำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจัดว่าเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอนุภาคของสีทำให้อนุภาคของสีมีการเคลื่อนที่ได้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่อนุภาคของสีจะเข้าไปทำปฏิกิริยาการดูดซับกับอนุภาคของเถ้าแกลบดำโดยลักษณะที่ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้นโดยทั่วไปจะสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยา ดูดความร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษาในครั้งนี้ คือ 60 องศาเซลเซียส

2. ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ สามารถนำผลการศึกษาที่ได้มาศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกแลงก์เมียร์ไอโซเทอร์ม และฟรุนดิชไอโซเทอร์มมาใช้ในการศึกษา ซึ่งผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแสดงได้ดัง (Figure 5 – 6) และ (Table 1)

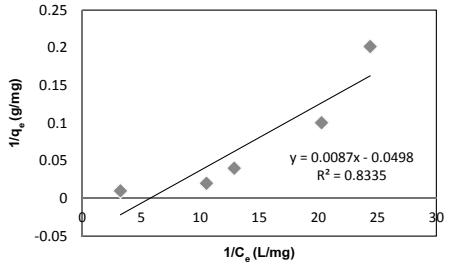


Figure 5 Langmiur isotherm of direct red dye adsorption

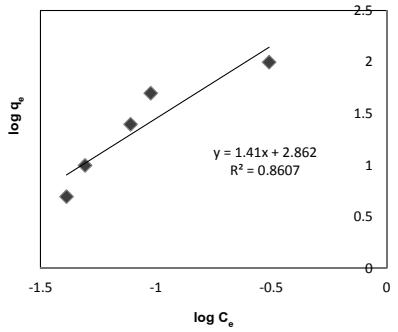


Figure 6 Freundlich isotherm of direct red dye adsorption

Table 1 Langmuir and Freundlich constants of direct red dye adsorption

Langmuir Isotherm		R^2	Freundlich Isotherm		R^2
q_m(mg/g)	b		K_f(mg/g)	n	
20.08	5.72	0.83	727.77	0.70	0.86

จาก (Figure 5 – 6) และ (Table 1) พบว่าผลของการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำสอดคล้องทั้งกับแลงก์เมียร์ ไอโซเทอรม์และฟรุนดิชไอโซเทอร์ม เนื่องจากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 0.83 และ 86 ตามลำดับและมื่อนำค่าคงที่ของแลงก์เมียร์ (q_m) ไปเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับอื่นๆ พบว่าได้ผลดัง (Table 2)

Table 2 Adsorption capacity of rice husk ash and the other adsorbents

Adsorbent	q_m (mg/g)	References
Almond shell (mixture, external and internal)	16.4 – 20.5	[13]
Native bamboo sawdust	6.43	[22]
Citric acid modified bamboo sawdust	13.83	[22]
Rice husk ash	20.08	This research

3. เทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กท์เรดและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ สามารถนำมาศึกษาเพื่อหาค่าคงที่ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ได้ผลการศึกษาแสดงได้ดัง (Table 3)

Table 3 Thermodynamic constants of direct red dye adsorption

T (^oC)	T (^oK)	$\triangle G^0$ (kJ.mol^{-1})	$\triangle H^0$ (kJ.mol^{-1})	$\triangle S^0$ (kJ.mol^{-1}.K^{-1})
30	303	-64.21	651.8	2.36
45	318	-99.64		
60	333	-135.1		

จาก (Table 3) สรุปได้ว่าปฏิกิริยาการดูดซับสีไดเร็กท์ด้วยเถ้าแกลบดำเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เองทุกค่าอุณหภูมิที่ทำการศึกษา ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าพลังงานอิสระมีค่าติดลบแสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาไม่จำเป็นต้องใส่พลังงานเพิ่มเติมให้กับระบบก็สามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้เอง และปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าเอนทราปีมีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าพลังงานของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าพลังงานของวัตถุดิบซึ่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการดูดพลังงานเข้าไปในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าเอนโทรปี ซึ่งผลจากการคำนวณมีค่าเป็นบวกจะเห็นว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้โดยง่ายเนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของระบบมีค่าสูงสอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าพลังงานอิสระที่กล่าวมาข้างต้น

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีไดเร็กท์เรดโดยใช้เถ้าแกลบดำ คือ ค่า pH เท่ากับ 2 ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ความเข้มข้นของสีไดเร็กท์เรดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ณ สภาวะดังกล่าว ความสามารถสูงสุดของการดูดซับมีค่าเท่ากับ 20.08 มิลลิกรัมของสีไดเร็กท์เรดต่อ 1 กรัมของเถ้าแกลบดำ สำหรับการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับพบว่าสอดคล้องทั้ง

สมการไอโซเทอร์มของแลงก์เมียร์และ ฟรุนดิช นอกจากนี้จากผลของการศึกษาพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าปฏิกิริยาการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เองและเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

Reference

[1] Chakraborty S, Purkait MK, Das Gupta S, De S, Basu JK. Nanofiltration of textile plant effluent for color removal and reduction in COD. Separation and Purification Technology 2003;31 (2): 141–151.

[2] Allen SJ, McKay G, Porter JF. Adsorption isotherm model for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems. Journal of Colloid and Interface Science 2004; 280(2): 322–333.

[3] Meshko V, Markovska L, Minchev M, Rodrigues AE. Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite. Water Research 2001;35(14): 3357-66.

[4] Khokhlova TD, Nikitin YS, Detistova AL. Modification of silicas and their investigation by dye adsorption. Adsorption Science and Technology 1997;15(5):333-340.

[5] Hsu YC, Chiang CC, Yu MF. Adsorption behavior of basic dyes on activated clay. Separation Science and Technology 1997;32(15):2513-2534.

[6] Namasiyam C, Prabha D, Kumutha M. Removal of direct red and acid brilliant blue by adsorption on to banana pith. Bioresources Technology 1998;64(1):77-79.

[7] Liu R, Tang H. Oxidative decolorization of direct light red F3B dye at natural manganese mineral surface. Water Research 2000;34(16): 4029-4035.

[8] Kato N, Arami M, Mitamura J, Takahashi F. Adsorption of Orange II to goat hair. Nippon Kagaku Kaishi 2001;1:11-17.

[9] Chu W. Dye removal from textile wastewater using recycled alum sludge. Water Research 2001; 35(13): 3147-52.

[10] Albanis TA, Hela DG, Sakellarides TM, Danis TG. Removal of dyes from aqueous solutions by adsorption on the mixtures of fly ash and soil in batch and column techniques. Global NEST International Journal 2000; 2(3): 237-244.

[11] Walker GM, Wealtherlay LR. Kinetics of acid dye adsorption on GAC. Water Research 1999; 33(8): 1895-1899.

[12] ปริญญา จินดาประเสริฐ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, วิเชียร ชาลี, ประสิทธิ์อุตส่าห์พานิช. ความคงทนของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการนำเถ้าถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2546:79-92.

[13] Feng Q, Lin Q, Gong F, Sugita S, Shoya M. Adsorption of lead and mercury by rick husk ash. Journal of Colloid and Interface Science 2004; 278(1): 1-8.

[14] Fathi, MR, Asafaram A. Investigation of Kinetics and Equilibrium Isotherm of Direct Red 12 B Dye Adsorption on Hazelnut Shells. Journal of Chemical Health Risks 2011;1(2):1-12.

[15] Dada AO, Olalekan AP, Olatunya AM, DADA O. Langmuir, freundlich, temkin and dubinin–radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn^{2+} unto phosphoric acid modified rice husk. Applied chemistry 2012;3(1):38-45.

[16] Saueprasearsit P. Adsorption of chromium (Cr^{+6}) using durian peel, Proceedings of the international conference on biotechnology and environment management Singapore 2011;18(1).

[17] Malik PK. Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: Adsorption equilibrium and kinetics". Journal of Hazardous Materials 2004;113: 81-88.

[18] Mohamed MM. Acid dye removal: Comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk". Journal of Colloid and Interface Science 2004;272: 28-34.

[19] Khattri SD, Singh MK. Removal of malachite green from dye wastewater using neem sawdust by adsorption. Journal of Hazardous Materials 2009; 167:1089-1094.

[20] Baztias FA, Sidiras DK. Dye adsorption by prehydrolysed beech sawdust in batch and fixed-bed systems". Bioresource Technology 2007;98:1208-1217

[21] Naamura T, Kubo T, Tourmaline group crystal reaction with water (J), Ferroelectrics 1992;137:13-31.

[22] Ali I, Dahiya S, Khan T. Removal of Direct Red 81 Dye from Aqueous Solution by Native and Citric Acid Modified Bamboo Sawdust - Kinetic Study and Equilibrium Isotherm Analyses . GAZI UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE 2012; 25(1): 59-87.

ผลของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ไพลและน้ำมันไพลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

Antibacterial Activity of Peel Extracted from Magosteen (*Garcinia Mangostana* Linn.) and Phlai (*Zingiber Montanum* Koenig) Root Extractedand Phlai Oil

วรรณี สมัปปิโต[1*], ศุภชัย สมัปปิโต[2], ลือชัย บุตคุป[3]

Wannee Samappito[1], Supachai Samappito[2], Luchai Butkhup[3]

Received: 1 May 2016; Accepted: 15 September 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียและปริมาณสารสำคัญในตัวอย่างเปลือกมังคุดและเหง้าไพลที่สกัดด้วยวิธีการแช่ในเอธานอล 95% และน้ำมันไพลที่สกัดด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำจากการทดลองพบว่าน้ำมันไพลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย 8 ชนิดที่ทดสอบ (*Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis, Bacillus cereus, B. subtilis, Salmonella typhi, Pseudomonas aeruginosa, Serratia marcescens* และ *Escherichia coli*) เมื่อใช้วิธี broth microdilution assay โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) ต่ำกว่า 12.50 µl/ml องค์ประกอบทางเคมีของสารออกฤทธิ์สำคัญของน้ำมันไพลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่ Sabinene, Terpinen-4-ol, Terpinene และ Pinene การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไพลมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียได้ จึงสามารถนำน้ำมันไพลไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กำจัดเชื้อที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการใช้สารเคมี และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรไทยพื้นบ้านอีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: กิจกรรมการต้านแบคทีเรีย พืชสมุนไพร น้ำมันระเหย

Abstract

Antibacterial activity and the chemical composition of mangosteen peel and phlai root extracted by macerationin 95% ethanol and phlai oil extracted by using hydro-distillation were investigated in this study. The result showed that phlai oil was the most effective in inhibiting growth of 8 tested bacteria (*Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis, Bacillus cereus, B. subtilis, Salmonella typhi, Pseudomonas aeruginosa, Serratia marcescens*and*Escherichia coli*), by broth microdilution assaywith the MIC less than 12.50 µl/ml. Major chemical composition in the oil were Sabinene, Terpinen-4-ol, Terpinene and Pinene. The results of antibacterial testing suggest that the phlai oil could be used as that the active ingredient in value added eco-friendly disinfectant products based on Thai traditional herb, replacing some currently conventional chemical agents.

Keywords: antibacterial activity, medicinal plant, essential oil

[1] อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2] รองศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[1] Corresponding author, Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand*

[2] Associate professor, [3]Assistant professor, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand

บทนำ

โรคติดเชื้อนับเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตในปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำประกอบกับจำนวนของเชื้อโรคที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นก็ยิ่งทำให้โอกาสที่จะรักษาโรคติดเชื้อเหล่านี้ให้หายอย่างรวดเร็วเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้นการรักษาในปัจจุบันจะใช้ยาที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งเป็นสารเคมีมีผลทั้งทำให้เชื้อโรคดื้อยาและมีผลข้างเคียง (side effect) ต่อผู้ป่วยด้วย ดังนั้นนักวิจัยในปัจจุบันจึงได้เริ่มมีการค้นหาผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งสมุนไพรมาใช้ในการรักษาเนื่องจากสมุนไพรเหล่านี้มีความหลากหลายทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพโอกาสที่ทำให้เชื้อโรคดื้อยาและผลข้างเคียงต่อผู้ป่วยจึงมีน้อยกว่าการใช้ยาเคมีสังเคราะห์[1]มากไปกว่านั้นคนไทยในสมัยโบราณอดีตก็นิยมใช้สมุนไพรกันเป็นจำนวนมากเพื่อรักษาโรคอยู่แล้วก่อนที่จะมีการนำยาสังเคราะห์แผนปัจจุบันมาใช้

พืชสมุนไพรมีความหลากหลายขององค์ประกอบทางพฤกษเคมี (phytochemicals) และฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) เนื่องจากสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่สมุนไพรสร้างขึ้นมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทุกส่วนของพืชไม่ว่าจะเป็นราก ลำต้น เปลือก ใบ ผลหรือน้ำมันระเหย (essential oil) ก็จะมีสรรพคุณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางพฤกษเคมีที่มีอยู่ในส่วนนั้นๆ การใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกันก็จะช่วยเสริมฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์จากรายงานก่อนหน้านี้พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุด *(Garcenia mangostana* Linn.)มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนอง (*Staphylococcus aureus*) ทั้งสายพันธุ์ปกติ และสายพันธุ์ที่ดื้อยาเพนิซิลลิน สารสำคัญที่แสดงฤทธิ์ คือ แมงโกสติน (mangostin) และอนุพันธ์ของแมงโกสตินซึ่งแสดงฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียเทียบเท่ายาปฏิชีวนะ[2]นอกจากนี้จากรายงานของHabsah และคณะ[3] พบว่าสารสกัดเหง้าไพล (*Zingiber cassumunar* Roxb) ด้วยไดคลอโรมีเทนแสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus substilis* (แบคทีเรียแกรมบวก) และ *Pseudomonas aeruginosa* (แบคทีเรียแกรมลบ) โดยมีค่า MIC เท่ากับ 250 และ 125 µg/แผ่นตามลำดับขณะที่ แสงจันทร์[4] พบว่าสาร Terpinene-4-ol ที่อยู่ในน้ำมันไพลมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 2–5 mg/ml จาก

รายงานการวิจัยดังกล่าวข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์เภสัชวิทยาด้านการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและองค์ประกอบทางเคมีของสารออกฤทธิ์ของเปลือกมังคุด เหง้าไพลและน้ำมันไพล ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่หาได้ทั่วไปในท้องถิ่น เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาทางการแพทย์และลดการนำเข้าของสารปฏิชีวนะจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาสมุนไพรไทยให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า และทัดเทียมกับต่างชาติ

วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

การสกัดสารจากเปลือกมังคุดและเหง้าไพล

นำเปลือกมังคุดหรือเหง้าไพลที่บดไว้แล้ว 1 กิโลกรัม มาสกัดแบบการหมัก (Maceration) ด้วยเอทานอล 95 % ปริมาณ 4 ลิตรเป็นเวลา 7 วันจากนั้นนำมากรองเพื่อแยกกากนำสารละลายที่ได้จากการกรองมาทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 45 - 47 °C ส่วนที่เหลือนำมาทำเป็นผงแห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer นำผงที่ได้เก็บไว้ในขวดสีชาในอุณหภูมิ 4 °C รอการวิเคราะห์

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าไพล

นำตัวอย่างผงแห้งไพล 100-200กรัมใส่ลงในฟลาสแก้วก้นกลมทนไฟ ขนาด 2 ลิตร แล้วเติมน้ำให้ท่วมตัวอย่างแต่ไม่เกิน 3 ใน 4 ของความจุฟลาสประกอบเครื่องกลั่นด้วยไอน้ำ (hydro-distillation) และต่อท่อระบายน้ำหล่อเย็นในท่อควบแน่น เปิดเครื่องกลั่น ตั้งอุณหภูมิที่ 65-70°C เก็บน้ำมันไพลที่ได้ใส่ขวดสีชารอการวิเคราะห์

การเตรียมเชื้อแบคทีเรียในการทดสอบ

นำเชื้อแบคทีเรีย 8 ชนิดได้แก่ *Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis,Bacillus cereus, B. subtilis, Salmonella typhi, Pseudomonas aeruginosa, Serratia marcescens* และ *Escherichia coli* ที่จะใช้ทดสอบมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมงทำการเจือจางเชื้อแบคทีเรียให้ได้ 10^4 CFU/ml ก่อนนำไปเลี้ยงในจานเพาะเลี้ยงเพื่อทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของตัวอย่าง

การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดต่อการยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disc diffusion techniques[5]

การหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด เหง้าไพล และน้ำมันไพลที่ความเข้มข้น 1 mg/ml และ 200 µl/ml ตามลำดับ โดยใช้ 10% Dimethyl Sulfoxide (DMSO) เป็นตัวทำละลายทำการปิเปต 5 µl ของสารสกัด ลงบนกระดาษกรองที่ปราศจากเชื้อขนาด 6 มิลลิเมตร รวมทั้งหมด 3 ตำแหน่งโดยตัวทำละลาย 10% DMSO เป็น control แล้ววางกระดาษกรองบนจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ นำ

ไปบ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 ^{0}C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง แล้วทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ยับยั้งแบคทีเรีย (Inhibition zone) ที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อโดยวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยจะใช้ Tetracycline (30 µg/ml) เป็นตัวยามาตรฐานในการเปรียบเทียบทำการทดลอง แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การหาค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) ของสารสกัดสมุนไพร

การหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมุนไพรที่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค (MIC) โดยทำการทดสอบกิจกรรมการต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ด้วยวิธี broth microdilution assay ในถาดหลุมแบบ 96 หลุม ที่ปลอดเชื้อ แต่ละหลุมมีปริมาตรเท่ากับ 200 µl ซึ่งประกอบไปด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว NB ปริมาตร 100 µl ทดสอบ 3 สภาวะ คือ

1. สภาวะที่ 1 เป็นสภาวะควบคุม ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียอายุ 18 ชั่วโมงมีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 4 log CFU/ml ในอาหารเลี้ยงเชื้อความเข้มข้นเป็นสองเท่า (2 x สูตรความเข้มข้นอาหารเลี้ยงเชื้อปกติ) ปริมาตร 100 µl กับน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 100 µl

2. สภาวะที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดสมุนไพร ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อความเข้มข้นเป็นสองเท่าปริมาตร 100 µl เติมสารสกัดสมุนไพรที่ความเข้มข้นต่างๆ 50 µl (10%, 5%, 2.5%, 1.25%, 0.625%, 0.312%, 0.156%, 0.078%. 0.039%, 0.019% w/v) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายในปริมาตรทั้งหมดในแต่ละหลุม และน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 50 µl

3. สภาวะที่ 3 เป็นตัวอย่าง Blank ประกอบด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 50 µl และเติมสมุนไพรที่ความเข้มข้นเดียวกับที่ทดลองในสภาวะที่ 2 ปริมาตร 50 µl แต่ไม่เติมเชื้อ เพื่อขจัดค่ารบกวนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อและสีของสารสกัดสมุนไพร อาหารเลี้ยงเชื้อ 100 µl

หลังจากเตรียมการทดลองที่สภาวะต่างๆ เรียบร้อยให้นำไมโครเพลทไปเพาะเชื้อที่ อุณหภูมิ 37 ^{0}C เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไมโครเพลทไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบ vertical ความเร็ว 70 rpm เป็นเวลา 5 นาทีก่อนทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 630 nm (OD_{630} nm) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงสำหรับไมโครเพลท เพื่อหาค่า MIC ที่เวลาเริ่มต้น (0 ชั่วโมง), 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

วิธีการหาค่า MIC จากการทดสอบประสิทธิภาพสารยับยั้งด้วยวิธี broth microdilution assay เป็นการนำค่าดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 630 nm(OD_{630} nm) ของเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบชนิดหนึ่งจากสภาวะที่เลี้ยงเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่า OD_{630} nm เฉลี่ยของการทดสอบ ชนิดนั้นที่ 0 ชั่วโมง ถ้าค่า OD_{630} nm ของเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบของชนิดนั้นในสภาวะทรีทเมนต์ที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับหรือน้อยกว่าค่า OD_{630} nm เฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบชนิดเดียวกันที่ 0 ชั่วโมง ค่า OD_{630} nm นั้นเป็นค่า MIC กล่าวคือไม่มีการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ทดสอบ หรือสารสกัดนั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นที่ทดสอบนั้นๆ

วิธีการหาค่า OD_{630} nm ของเชื้อจากสภาวะที่ 24 ชั่วโมง ทำโดยการนำค่า OD_{630} nm ของเชื้อจากสภาวะดังกล่าวหักออกด้วยปัจจัยที่รบกวนค่า OD_{630} nm ของเชื้อ ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

1. OD_{630} nm สภาวะควบคุม - OD_{630} nm สภาวะที่ 3 เป็นตัวอย่าง Blank ค่าที่ได้คือค่าดูดกลืนแสงของเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบที่เพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมสารสกัดสมุนไพร แต่กำจัดค่ารบกวนการดูดกลืนแสงของสีอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว

2. OD_{630} nm สภาวะที่ 2 - OD_{630} nm เป็นตัวอย่าง Blank ค่าที่ได้คือค่าดูดกลืนแสงของเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบที่เพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมสารสกัดสมุนไพร แต่กำจัดค่ารบกวนการดูดกลืนแสงของสีของสารสกัดสมุนไพรแล้ว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพล

นำน้ำมันหอมระเหยจากไพลมาวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC—MS) นำน้ำมันไพลมากรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 µm แล้วจึงนำตัวอย่างมา 1 ml เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้ อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 45°C และเพิ่มขึ้นในอัตรา 5°C ต่อนาที จนถึง 100°C จากนั้นเพิ่มขึ้นในอัตรา 3°C ต่อนาที จนถึง 150°C และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นในอัตรา 6°C ต่อนาที จนถึง 200°C ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมด 37 นาที อุณหภูมิ injection port ที่ 280°C และ detector transfer line ที่ 250°C ใช้คอลัมน์ขนาด 30 m × 0.25 mm Rtx® -5MS (Crossbond 5% diphenyl-95% dimethyl polysiloxane) ซึ่งฉาบฟิล์มหนา 0.25 µm ใช้ฮีเลียมเป็นแก๊ซพาที่อัตราไหล 51.6 cm ต่อวินาที ใช้โหมดการฉีดแบบ split และใช้อิเล็กตรอนที่ความต่างศักย์ 70 eV ใช้สแกนโหมดอยู่ในช่วง 40-500 amu จำแนกชนิดของสารหอมระเหยด้วยการเทียบ Mass Spectra กับฐานข้อมูลของ Wiley 5.0 (Wiley, New York, NY, USA)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุด สารสกัดจากเหง้าไพล และน้ำมันไพลที่ความเข้มข้น 1 mg/ml สำหรับสารสกัดจากเปลือกมังคุดและเหง้าไพลและน้ำมันไพล 100µl/ml ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 8 ชนิดได้แก่ *S. aureus,S. epidermidis,B. cereus, B.subtilis, S. typhi, P. aeruginosa, S. marcescens* และ *E. coli* พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุด สารสกัดจากเหง้าไพลและน้ำมันไพลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมากกว่าแกรมลบ (Table 1) สาเหตุที่แบคทีเรียแกรมลบมีความต้านทานต่อสารสกัดจากพืชสมุนไพรได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวกเนื่องมาจากแบคทีเรียแกรมลบมีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (outer membrane) และ periplasmic space ซึ่งไม่พบในแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งสารไลโพพอลิแซกคาไรด์ (lipopolysaccharide) ที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกจะเป็นตัวกั้นการซึมผ่านของสารต่างๆ ได้ดีขณะที่แบคทีเรียแกรมบวกไม่มีโครงสร้างเหล่านี้สารต่างๆ จึงซึมผ่านเข้าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมลบ[6]สารสกัดจากเปลือกมังคุดยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cereus*, *S. epidermidis* และ *S.aureus* ได้ดีสอดคล้องกับการรายงานของสุคนธ์และคณะ[1] ซึ่งรายงานไว้ว่าสารสกัดเอธานอลและอะซิโตนจากเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* รายงานของ Chomnawang และคณะ[7] ที่พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิวชนิด *S. epidermidis* และ *P. acnes* ได้ดีเนื่องจากเปลือกมังคุดมี mangostin และอนุพันธ์ของ mangostin ที่เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์[8] สารสกัดจากเหง้าไพลและน้ำมันไพลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมากกว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุด ซึ่งทั้งสารสกัดจากเหง้าไพลและน้ำมันไพลมีประสิทธิภาพสูงมากในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *S. epidermidis* และ *B. cereus* ในบรรดาเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบ *S. aureus, S. epidermidis* และ *B. cereus* มีความไวต่อสารสกัดจากพืชที่ใช้ทดสอบกว่าจุลินทรีย์อื่นๆ

จากการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cereus* สูงกว่าเชื้อแบคทีเรียอื่นเนื่องจากมีค่า MIC ต่ำสุด (3.13 µg/ml) (Table 2) ขณะที่สารสกัดจากเหง้าไพลมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. epidermidis* สูงกว่าเชื้อแบคทีเรียอื่นเนื่องจากมีค่า MIC ต่ำสุด (3.13 µg/ml) ขณะที่น้ำมันไพลมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. epidermidis* และ *B. cereus* สูงกว่าเชื้อแบคทีเรียอื่นเนื่องจากมีค่า MIC ต่ำสุดเท่ากับ 1.57 และ 3.13 µl/ml ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าส่วนของน้ำมันไพลมีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียซึ่งน้ำมันจากสมุนไพรจะมีฤทธิ์สูงมากกว่าสารสกัดเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kamazeri และคณะ[9] ที่พบว่าน้ำมันของพืชตระกูลขิง (*Curcuma mangga*) ที่ปลูกในมาเลเซียมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* และ *B. cereus* สูงโดยมีค่า MIC เท่ากับ 1.2 และ 11.1 µl/ml ตามลำดับ ดังนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำมันไพลไปวิเคราะห์สารออกฤทธิ์สำคัญต่อไป

Table 1 Antibacterial activity of mangosteen peel and Phlai root ethanolic extractsand Phlai oil.

Microorganisms	Zone of inhibition (mm)			
	mangosteen peel	Phlai root	Phlai oil	Ref*
Gram positive				
Staphylococcus aureus	11.7± 0.5	10.4± 0.4	10.8± 0.7	16.2± 0.6
Staphylococcus epidermidis	10.4± 0.8	14.1± 0.7	15.2± 0.5	18.3± 0.8
Bacillus cereus	12.6± 0.4	15.3± 0.5	16.2± 0.6	20.5± 0.7
Bacillus subtilis	9.5± 0.7	7.6± 0.3	9.3± 0.3	17.8± 0.5
Gram negative				
Salmonella typhi	7.7± 0.2	8.7± 0.2	8.6± 0.2	17.2 ± 0.9
Pseudomonas aeruginosa	8.2± 0.4	7.5± 0.4	9.3± 0.4	19.5 ± 0.7
Serratia marcescens	8.4± 0.5	8.6± 0.3	9.7± 0.2	15.4 ± 0.5
Escherichia coli	9.6± 0.8	8.4± 0.6	10.5± 0.7	17.8 ± 0.4

Data expressed as mean ± standard deviation (SD) including the disc diameter (6 mm), All values were rounded to one decimal place,* Positive control: tetracycline(30 µg/ml).

Table 2 Minimum inhibitory concentration (MIC) of ethanolic extracts from mangosteen peel and Phlai root and Phlai oil.

Microorganisms	mangosteen peel (µg/ml)	Phlai parts	
		root(µg/ml)	oil(µl/ml)
Gram positive			
Staphylococcus aureus	6.25	12.50	6.25
Staphylococcus epidermidis	12.50	3.13	1.57
Bacillus cereus	3.13	6.25	3.13
Bacillus subtilis	6.25	25.00	12.50
Gram negative			
Salmonella typhi	12.50	12.50	6.25
Pseudomonas aeruginosa	12.50	12.50	6.25
Serratia marcescens	50.00	25.00	12.50
Escherichia coli	25.00	50.00	12.50

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพล

จากการนำน้ำมันหอมระเหยจากไพล ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS) จะได้โครมาโตแกรมของน้ำมันไพลดังแสดงใน (Figure 1) ซึ่งประกอบด้วยพีค 26 พีคใช้เวลาในการวิเคราะห์ 26 นาที และแมสสเปคตรัมของตัวอย่างเมื่อเทียบผลของแมสสเปคตรัมกับฐานข้อมูล NIST ทำให้สามารถระบุชื่อและสูตรโครงสร้างที่เป็นไปได้ของแต่ละองค์ประกอบในน้ำมันไพล รวมทั้งร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้พีกของโครมาโทแกรมจากเครื่อง GC-MS พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าไพลมีองค์ประกอบของสารหอมระเหยที่สำคัญหลายชนิด ดังแสดงในTable3โดยสามารถแบ่งสารหอมระเหยกลุ่มที่พบได้ 3 กลุ่ม ตามเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใต้พีครวมทั้งหมดได้แก่

1) สารหอมระเหยที่มีสัดส่วนมากที่สุดตั้งแต่ 10% ขึ้นไป ได้แก่ Sabinene มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 58.49% รองลงมาคือ Terpinen-4-ol มีสัดส่วนเท่ากับ 14.61% เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานก่อนหน้านี้พบว่าทั้ง Sabinene และ Terpinen-4-ol มีสัดส่วนในช่วงเดียวกันกับรายงานของ Bua-in และ Paisoo ksantivatana[10]ได้รายงานสัดส่วน Sabinene และ Terpinen-4-ol ในน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าไพลที่เก็บมาจากภาคต่างๆ ในประเทศไทย พบว่า Sabinene และ Terpinen-4-ol มีสัดส่วนอยู่ในช่วง 38.99-47.54% และ 11.50-24.36% ตามลำดับ

2) สารหอมระเหยที่มีสัดส่วนปานกลางตั้งแต่ 1-10% ขึ้นไป ได้แก่ γ-Terpinene (4.27%), β-Sesquiphellandrene (3.31%), β-Pinene (3.24%), β-Phellandrene (2.63%), α-Terpinene (2.15%), α-Pinene (1.97%), β-Myrcene (1.71%), Eucalyptol (1.26%) และ Linalool (1.24%)

3) สารหอมระเหยที่มีสัดส่วนต่ำ มีน้อยกว่า 1% ได้แก่ Linalool acetate (0.82%), Terpinolene (0.72%), Cymene (0.59%), α—Thujene (0.57%), α-Terpineol acetate (0.55%), α-Terpineol (0.28%), Zingibene (0.24%), γ-Elemene (0.19%), α-Thujene (0.09%), γ-Terpinene (0.07%), Campene (0.05%) และ *trans*-Piperitol (0.05%)

จากงานวิจัยของ Wungsintaweekul และคณะ[11] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ต้านอนุมูลอิสระ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลซึ่งปลูกในประเทศไทย พบว่า Terpinen-4-ol มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 40.65% รองลงมาคือ Sabinene (18.03%), γ-Terpinene (7.02%),p-Cymene (5.72%) และ α-Terpinene (3.42%) จะพบว่ามีกลุ่มของสารหอมระเหยเป็นกลุ่มเดียวกับที่พบในงานวิจัยนี้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bhuiyan และคณะ[12] ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลที่ปลูกในประเทศบังคลาเทศ และจากการศึกษาพบว่า Triquinacene,1,4-bis (methoxy) มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 26.47% รองลงมาคือ (Z)-Ocimene (21.97%), Terpinen-4-ol (18.45%), γ-Terpinene (3.86%), β-Phellandrene (3.49%), Cis-Sabinenehydrate (3.00%) และ β-Sesquiphellandrene (2.45%) อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณสารหอมระเหยในไพลที่ปลูกในประเทศมาเลเซียกลับไม่เหมือนกัน โดยจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Kamazeri และคณะ[9] พบว่าไพลมีสารหอมระเหยที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือ 2,6,9,9-Tetramethyl-2,6,10-cycloundecatrien-1-one มี

สัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 60.77% รองลงมาคือ α-Caryophyllene (23.92%), Caryophyllene oxide (4.79%), 1,5,5,8-Tetramethyl-12-oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene (3.32%) และ Caryophyllene (2.03%)ความแตกต่างกันของชนิดและปริมาณสารหอมระเหยในน้ำมันไพลนี้เป็นไปได้ว่าเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น พันธุ์ เทคนิคการเพาะปลูก สภาพอากาศ อายุการเก็บเกี่ยว และวิธีการสกัด เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าสารประกอบหลักๆ ที่พบในน้ำมันไพล คือ Sabinene, Terpinen-4-ol, Terpinene และ Pinene เมื่อนำสารมาตรฐานเหล่านี้มาสร้างวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณพบว่าสามารถเรียงลำดับการออกจากคอลัมน์ได้ดังนี้ α-Pinene (RT=5.550),α-Terpinene (RT=7.625), γ-Terpinene (RT=8.767), Sabinene (RT=9.042) และ Terpinen-4-ol (RT=12.174) (Table 3 and 4)

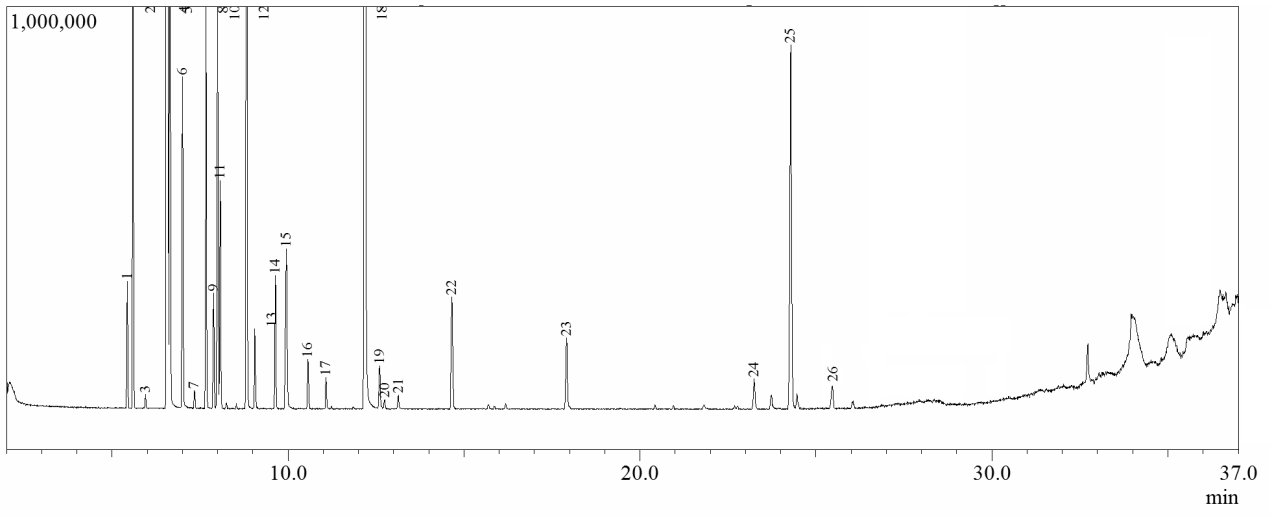


Figure 1 GC-MS chromatogram of Phlai oil

Table 3 Chemical profile of Phlai oil

Peak No.	Compounds	Rt (min.)	Area (%)	% similarity (NIST database)
1	α-Thujene	5.435	0.57	97
2	α-Pinene	5.597	1.97	98
3	Campene	5.953	0.05	88
4	Sabinene	6.566	58.49	96
5	β-Pinene	6.645	3.24	97
6	β-Myrcene	7.003	1.71	97
7	α-Thujene	7.345	0.09	96
8	α-Terpinene	7.671	2.15	95
9	Cymene	7.885	0.59	96
10	β-Phellandrene	8.000	2.63	92
11	Eucalyptol	8.074	1.26	98
12	γ-Terpinene	8.822	4.27	96
13	Sabinene	9.058	0.44	93
14	Terpinolene	9.642	0.72	96
15	Linalool	9.955	1.24	95

Peak No.	Compounds	Rt (min.)	Area (%)	% similarity (NIST database)
16	Sabinene	10.569	0.27	91
17	Sabinene	11.080	0.17	89
18	Terpinen-4-ol	12.183	14.61	93
19	α-Terpineol	12.600	0.28	93
20	*trans*-Piperitol	12.750	0.05	79
21	γ-Terpinene	13.134	0.07	80
22	Linalool acetate	14.657	0.82	94
23	α-Terpineol acetate	17.914	0.55	90
24	Zingibene	23.244	0.24	89
25	β-Sesquiphellandrene	24.282	3.31	91
26	γ-Elemene	25.466	0.19	85

Table 4 Chemical composition of Phlai oil

Compounds	Rt(min)	Calibration curve	R^2	Content (g/L)	Percentage (%)
α-Pinene	5.550	$Y = 3 \times 10^8X + 2 \times 10^6$	0.9999	0.88 ±0.01	0.39
α-Terpinene	7.625	$Y = 2 \times 10^8X + 3 \times 10^6$	0.9999	1.40 ± 0.02	0.62
γ-Terpinene	8.767	$Y = 2 \times 10^8X + 1 \times 10^6$	0.9970	3.08 ± 0.13	1.36
Sabinene	9.042	$Y = 4 \times 10^7X + 12045$	0.9996	210.66 ± 2.14	92.68
Terpinen-4-ol	12.174	$Y = 2 \times 10^8X - 1 \times 10^6$	0.9984	11.29±1.16	4.96

Data express as mean±standard deviation (n = 3)

เมื่อวิเคราะห์น้ำมันไพลด้วยเครื่อง GC-MS โดยเปรียบเทียบแมสสเปคตรัมของตัวอย่างกับและแมสสเปคตรัมของสารมาตรฐานและแมสสเปคตรัมจากฐานข้อมูลของ NIST ได้ผลดังแสดงไว้ใน (Table 4) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากไพลมีปริมาณ α-Pinene, α-Terpinene, γ-Terpinene, Sabinene และ Terpinen-4-ol เท่ากับ 0.88, 1.40, 3.08, 210.66 และ 11.29 g/L ตามลำดับโดยพบ Sabinene เป็นสารหอมระเหยที่พบมากที่สุดในน้ำมันไพล คิดเป็นสัดส่วน 92.68%รองลงมาคือ Terpinen-4-ol และ γ-Terpinene ในขณะที่พบ α-Pinene ปริมาณต่ำที่สุด จากรายงานการวิจัยของ Obame และคณะ[13] รายงานไว้ว่าในผล African pear หรือ Safou ของแอฟริกามีองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญคือ sabinene (21.8%), terpinene-4-ol (19.8%) และ α-pinene (17.5%) สารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและราหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงอีกด้วย

สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไพลประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์สำคัญในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่ Sabinene, Terpinen-4-ol, Terpinene และ Pinene มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus, B. cereus* และ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารหรือมีส่วนในการทำให้อาหารเน่าเสียจึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันไพลไปพัฒนาเป็นสารถนอมอาหารชนิดใหม่เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารหรือใช้ในการรักษาโรคทางเดินอาหารที่เกิดจากแบคทีเรียเหล่านี้นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. epidermidis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันไพลไปพัฒนาเป็นเครื่องสำอางรักษาสิวได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในการเครื่องมือ และสถานที่ในการทดลอง จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

1. สุคนธ์ ตันติไพบูลย์ วุฒิเทียนชัย น่วมเศรษฐี เพชรลดา เดชายืนยง. ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกผลไม้บางชนิด. KKU Res J 2012;17:880-94.
2. Tadtong S, Viriyaroj A, Vorarat S, Nimkulrat S, Suksamrarn S. Antityrosinase and antibacterial activitiesof mangosteen pericarp extract. J Health Res 2009;23:99-102.
3. Habsah M, Amran M, Mackeen MM. Sceening of Zingiberaceae extracts for antimicrobial and antioxidant activities. J Ethnopharmacol 2000;72: 403-10.
4. แสงจันทร์ เอี่ยมธรรมชาติ.การศึกษาผลของสมุนไพรบางชนิดในวงศ์ซิงกิเบอเรซี (Zingiberaceae) ต่อการเจริญของแบคทีเรียบางชนิด.รวมบทคัดย่องานวิจัยการแพทย์แผนไทยและทิศทางการวิจัยในอนาคตสถาบันการแพทย์แผนไทย 2543;207.
5. นุศวดี พจนานุกิจ สมใจ ขจรชีพพันธ์งาม. การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อเกิดสิวของสารสกัดจากพืชสมุนไพร. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น2553.
6. Shan B, Cai Y-Z, Brooks JD, Corke H. The *invitro* antibacterial activity of dietary spice and medicinal herb extracts. Int J Food Microbiol 2007;117:112-9.
7. Chomnawang MT, Surassmo S, Nukoolkarn VS, Gritsanapan W. Antimicrobial effects of Thai medicinal plants against acne-inducing bacteria. J Ethnopharmacol 2005;101:330-3.
8. เสาวลักษณ์ พงษ์ไพจิตรเมตตา องค์สกุลลัดดา นิลรัตน์ ประสิทธิ์ ธราวิจิตรกุล ศิริพรรณ บุญชู ธวัชชัย เชื้อประไพศิลป์ พิเชษฐ์ วิริยะจิตรา. ฤทธิ์ของสารสกัดเปลือกมังคุดต่อ *Staphylococcus aureus* ที่ดื้อต่อยา methicillin (MRSA) และ *Enterococcus* species. วารสารสงขลานครินทร์, 2537. 16:399-405.
9. Kamazeri TSAT, Samah OA, Taher M, Susanti D, Qaralleh H. Antimicrobial activity and essential oils of *Curcuma aeruginosa*, *Curcuma mangga*, and *Zingiber cassumunar* from Malaysia. Asian Pac J Trop Med 2012;5:202-9.
10. Bua-in S, Paisooksantivatana Y. Essential oil and antioxidant activity of cassumunar ginger (Zingiberaceae: *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr.) collected from various parts of Thailand. Kasetsart J (Nat Sci)2009;43:467-75.
11. Wungsintaweekul J, Sitthithaworn W, Putalun W, Pfeifhoffer HW, Brantner A. Antimicrobial, antioxidant activities and chemical composition of selected Thai spices. Songklanakarin J Sci Technol 2010; 32:589-98.
12. Bhuiyan MNI, Chowdhury JU, Begum, J. Volatile constituents of essential oils isolated from leaf and rhizome of *Zingiber cassumunar* Roxb. Bangladesh J Pharmacol 2008; 3: 69-73.
13. Obame LC, Edou P, Bassolé IHN, Koudou J, Agnaniet H, EbaF, Traore AS. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oil of *Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam from Gabon. Afr J Microbiol Res 2008;2:148-52.

การพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อขายสินค้าบนสมาร์ททีวีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

The Development of a Prototype Application for Product Selling through the Smart Television on an Android Operating System

ชุมศักดิ์ สีบุญเรือง[1]

Chumsak Sibunruang[1]

Received: 21 February 2016; Accepted: 9 May 2016

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแนวโน้มการใช้งานสมาร์ททีวี (Smart TV) หรือโทรทัศน์ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้นั้นกำลังเติบโตไปทั่วโลก ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งซื้อสินค้าหรือการบริการผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยสมาร์ททีวีได้ โครงการวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อขายสินค้าบนโทรทัศน์ดิจิทัลระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบการขายสินค้าคู่กับรายการโทรทัศน์ที่เผยแพร่ในประเทศไทย โครงการวิจัยแบ่งขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การสร้างเครื่องมือในการประเมินแอปพลิเคชัน (2) การออกแบบฐานข้อมูล (3) การออกแบบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน (4) การออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และ (5) การประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชัน โครงการวิจัยได้ทดสอบการทำงานแอปพลิเคชันและสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่เคยซื้อสินค้าผ่านอินเทอร์เน็ตรวมทั้งหมด 8 ด้าน โดยมีผลความพึงพอใจแต่ละด้านดังนี้ ด้านที่ 1. ความสะดวกในการใช้งานแอปพลิเคชันมีค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.84 ด้านที่ 2. รูปแบบสีพื้นหลังและการวางตำแหน่งส่วนต่างๆ ในหน้าจอแอปพลิเคชันมีค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.86 ด้านที่ 3. ความสามารถในการรับชมรายการโทรทัศน์ (ช่อง 3, 5, 7 และ 9) มีค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.60 ด้านที่ 4. ความเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน มีค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.59 ด้านที่ 5. รูปแบบและความชัดเจนของตัวอักษร มีค่าความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 ด้านที่ 6. รูปแบบการแสดงรายการโทรทัศน์ มีค่าความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.81 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.92 ด้านที่ 7. รูปแบบการโฆษณาสินค้า ได้ค่าความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.66 และ ด้านที่ 8. ความสะดวกในการสั่งซื้อมีค่าความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62

คำสำคัญ: สมาร์ททีวี แอปพลิเคชันการขายสินค้าบนสมาร์ททีวี การโฆษณาบนสมาร์ททีวี สมาร์ททีวีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

Abstract

Nowadays, smart TV seems to be very popular especially since it can be connected to the internet it is very convenient for people to purchase their desired online products. For that reason, this research develops an application for product selling through the smart TV on the Android operating system. The objective is to verify a prototype system for selling products on the smart TV in five main steps: 1) creating a questionnaire to evaluate the application's efficiency; 2) database design; 3) designing the algorithms for the application, 4) designing and developing the graphic display and user interface; and 5) examining the user's satisfaction toward the application. This research tested the applica-

[1] *อาจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1] *Lecturer, Intellect Laboratory, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Khamriang Sub-District, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 44150, Thailand.*

* *Corresponding author; inspire.ch@gmail.com*

tion's functionality and explored the satisfaction of the users, and the people who purchased the online product in 8 topics as follows: 1) Ease of use – most of the users were very satisfied with the application (Mean = 4.00, S.D. = 0.84); 2) Background color and feature design - the users were mostly satisfied (Mean = 4.05, S.D. = 0.86); 3) Availability on TV programs (Channel 3, 5, 7 and 9) – the users were satisfied (Mean = 4.43, S.D. = 0.60); 4) Application's processing time - the users were mostly satisfied (Mean = 4.05, S.D. = 0.59); 5) Font design - the users were very satisfied (Mean = 3.90 S.D. = 0.54); 6) The TV program design - the users were very satisfied (Mean = 3.81, S.D. = 0.92); 7) Product advertisement - the users were very satisfied (Mean = 3.67, S.D. = 0.66); 8) Ease of Purchase - the users were very satisfied (Mean = 3.90, S.D. = 0.62).

Keywords: smart TV, product selling application on smart TV, advertisement on smart TV, smart TV on the android operating system

บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตเข้ามามีบทบาทสำคัญในการทำธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวันของคนหลายพันล้านคนทั่วโลกมีการค้าขายสินค้าผ่านเว็บไซต์ต่าง ๆและผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นการเพิ่มช่องทางในการขายสินค้าเพื่อให้ลูกค้ามีความสะดวกในการซื้อสินค้ามากขึ้นโดยช่องทางในการเข้าถึงระบบอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันมีหลากหลายด้วยอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์โทรศัพท์มือถือแท็บเล็ทและโทรทัศน์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตหรือสมาร์ททีวีเป็นต้นอุปกรณ์เหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการซื้อขายสินค้าและสำหรับโทรทัศน์ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้นั้นการซื้อขายสินค้าด้วยวิธีการเลือกสินค้าและกรอกรายละเอียดในการสั่งซื้อยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของอุตสาหกรรมดังนั้นการโฆษณาในช่องรายการโทรทัศน์ที่พบส่วนใหญ่ทั่วโลกจึงมักจะเป็นในลักษณะการโฆษณาสินค้าการแจ้งเบอร์โทรศัพท์หรือแจ้งชื่อเว็บไซต์ที่ลูกค้าสามารถสั่งซื้อสินค้าได้ในภายหลัง

สินค้าประเภทสมาร์ททีวีในปัจจุบันมีแนวโน้มอัตราการบริโภคสูงขึ้นทั่วโลกอย่างชัดเจน[1] เนื่องจากผู้ผลิตต่างได้พัฒนาหรือติดตั้งระบบปฏิบัติการลงในโทรทัศน์เพื่อที่จะทำให้โทรทัศน์สามารถใช้ประโยชน์จากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้โดยตรงซึ่งเป็นแนวโน้มสำคัญของการหลอมรวมเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมสินค้าเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์แทบทุกประเภท

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบการขายสินค้าบนสมาร์ททีวีหรือโทรทัศน์ดิจิทัลที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบการขายสินค้าคู่กับรายการโทรทัศน์ที่เผยแพร่ในประเทศไทยเพื่อให้ผู้ชมรายการโทรทัศน์สามารถสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ได้ทันทีผลวิจัยที่ได้จากโครงการวิจัยนี้จะก่อให้เกิดองค์ความรู้และระบบต้นแบบที่เป็นช่องทางการโฆษณาและการซื้อขายสินค้าใหม่ให้แก่อุตสาหกรรมโทรทัศน์ไทย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พฤติกรรมการรับชมโทรทัศน์ของคนยุคปัจจุบันแตกต่างจากในอดีตเนื่องจากผู้ชมสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตบนอุปกรณ์ที่หลากหลายทั้งจากเครื่องคอมพิวเตอร์โทรศัพท์มือถือแท็บเล็ทรวมถึงสมาร์ททีวีทำให้ผู้ชมสามารถชมรายการโทรทัศน์ได้ทุกที่ทุกเวลาตามความสะดวกรวมทั้งสามารถสืบค้นรับชมเฉพาะรายการย้อนหลังที่ตนสนใจได้

พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์โทรทัศน์หรือการซื้อขายแบบออนไลน์ที่เกิดขึ้นบนโทรทัศน์เรียกว่าพาณิชย์บนโทรทัศน์ (TV Commerce) ซึ่งผู้ชมรายการโทรทัศน์สามารถเลือกซื้อสินค้าหรือการบริการในขณะที่รับชมโทรทัศน์ได้ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่คาดว่าจะมาทดแทนหรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบการโฆษณาคั่นเวลาระหว่างรายการโทรทัศน์แบบเดิมที่ผู้ชมไม่ค่อยชื่นชอบเพราะเกิดการรอคอยการรับชม

นอกจากนี้ปัจจุบันผู้ผลิตต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นบริษัท Apple, Google, Samsung, LG, Toshiba, Panasonic, Sony, Boxeeต่างได้พัฒนาระบบนิเวศทางดิจิทัลที่เชื่อมโยงระหว่างอุตสาหกรรมโทรทัศน์กับอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์โดยเปิดโอกาสให้นักพัฒนาซอฟต์แวร์ทั่วโลกสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันใช้งานบนสมาร์ททีวีตนเองได้รวมทั้งผู้ผลิตอุปกรณ์ Set-top Box ที่ผลิตอุปกรณ์เพื่อให้สามารถต่อเครื่องโทรทัศน์ธรรมดาแบบเดิมให้มีคุณสมบัติเหมือนสมาร์ททีวีได้

อินเทอร์เน็ต[2] หมายถึงระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่งเกิดจากการรวมกันระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ย่อยหลาย ๆ เครือข่ายโดยเครือข่ายเหล่านี้เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์[2] เครื่องหรือมากกว่าขึ้นไปผ่านทางสายเคเบิ้ล (Cable) สายโทรศัพท์ดาวเทียมโครงข่าย

อินเทอร์เน็ตฯลฯซึ่งการติดต่อสื่อสารภายในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างผู้ใช้คอมพิวเตอร์

ธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์[3] หมายถึงกระบวนการดำเนินธุรกิจโดยอาศัยเทคโนโลยีเครือข่ายที่เรียกว่าองค์กรเครือข่ายร่วม (Internetwoked Enterprise) โดยเทคโนโลยีนี้จะใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันผ่านช่องทางโครงข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication Network) ไม่ว่าจะเป็นการพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Commerce) การติดต่อสื่อสารและการทำงานร่วมกัน (Enterprise Communication Collaboration) หรือแม้แต่ระบบธุรกิจภายในองค์กร (Internal Business System)

แนวคิดส่วนประสมทางการตลาดของโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกว่าส่วนประสมทางการตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ MMM[4] ประกอบด้วย

(1) แอปพลิเคชัน (Application) เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ขนาดเล็กที่เน้นติดตั้งบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือสมาร์ททีวี (Smart TV App.)[5] ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาทำงานเพื่อจุดประสงค์ใดประสงค์หนึ่งเช่นแอปพลิเคชันเครือข่ายสังคมออนไลน์แอปพลิเคชันเครื่องคิดเลขแอปพลิเคชันข่าวเกมแอปพลิเคชันแผนที่เป็นต้นผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งแอปพลิเคชันในโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้โดยง่าย

(2) โฆษณาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Advertising) เป็นข้อมูลประเภทต่างๆ ทั้งข้อความรูปภาพเสียงวีดิทัศน์เพื่อวัตถุประสงค์การโฆษณาที่ปรากฏอยู่ในแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่รูปแบบโฆษณาเหมือนในเว็บไซต์ซึ่งเป็นช่องทางโฆษณาแบบใหม่ที่ส่งถึงผู้ใช้โดยตรงแต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดหน้าจอหรือการแสดงผลบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

(3) พาณิชย์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือพาณิชย์บนมือถือ (M-commerce) เป็นระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผู้ซื้อสามารถสั่งซื้อสินค้าหรือการบริการได้อย่างสะดวกรวดเร็วระบบพาณิชย์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วตามปริมาณการขยายตัวของโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ปัจจุบันยังขาดความน่าเชื่อถือในด้านการรักษาความปลอดภัย

(4) คูปองบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Coupons) เป็นคูปองอิเล็กทรอนิกส์หรือข้อความที่ถูกส่งไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้เพื่อกระตุ้นการซื้อสินค้าโดยส่งผ่านทางข้อความ (SMS) ข้อความมัลติมีเดีย (MMS) หรือผ่านโดยตรงไปยังแอปพลิเคชันของผู้ขายสินค้าผู้ใช้งานจะได้รับข้อเสนอพิเศษประเภทส่วนลดสินค้าหรือการบริการ

(5) การตลาดตามตำแหน่งพื้นที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Location Based Mobile Marketing) เป็นการระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการตรวจสอบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ผู้ใช้จากนั้นจะมีการส่งข้อมูลข่าวสารเพื่อหวังผลทางการตลาดไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้โดยตรงบางครั้งอาจเป็นข้อมูลทางการตลาดที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของผู้ใช้งานเช่นเมื่อผู้ใช้เดินทางเข้าใกล้ร้านอาหารแห่งหนึ่งในระยะห่างที่กำหนดข้อมูลเชิญชวนหรือคูปองอิเล็กทรอนิกส์ส่วนลดร้านอาหารแห่งนั้นจะถูกจัดส่งไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้

(6) การชำระเงินผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Payments) เป็นช่องทางหนึ่งที่ผู้ใช้สามารถจ่ายเงินชำระค่าสินค้าหรือการบริการผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

(7) เว็บไซต์แสดงผลบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Websites) เป็นเว็บไซต์ที่ออกแบบมารองรับการแสดงผลในหน้าจอของโทรศัพท์เคลื่อนที่

โทรทัศน์ระบบดิจิทัล[6] คือระบบการแพร่สัญญาณคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินเหมือนกับระบบของฟรีทีวีในปัจจุบันแต่เปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเป็นแบบดิจิทัลแทนระบบแอนะล็อกแบบเดิมทำให้การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลมีภาพที่คมชัดมากกว่าเดิมใช้ช่วงคลื่นน้อยลงกว่าเดิมแต่สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมากมีความสามารถอื่นๆเข้ามาอำนวยความสะดวกแก่ผู้รับชมโทรทัศน์เช่นมีผังรายการแสดงบนหน้าจอโดยที่โครงการวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะรายการโทรทัศน์ที่ส่งผ่านไปถึงผู้รับชมจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่เป็นสมาร์ททีวีหรือแท็บเล็ต

งานวิจัย[7] ได้นำเสนอปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าไอทีผ่านระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อนำผลวิจัยที่ได้ไปใช้ในการวางแผนปรับปรุงการดำเนินธุรกิจบนอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้ประกอบการและใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับผู้บริโภคที่ซื้อหรือกำลังจะซื้อสินค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิเป็นกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคที่เคยซื้อหรือกำลังจะซื้อสินค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทั้งสิ้น 400 รายผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ (เพศอายุอาชีพการศึกษาสถานภาพสมรสรายได้) ที่แตกต่างกันมีผลต่อพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านระบบ

งานวิจัย[8] ได้นำเสนอส่วนประสมทางการตลาดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคช่องทางบนโทรศัพท์ทำการสำรวจเฉพาะกลุ่มคนที่มีการซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านช่องทางโทรศัพท์โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเก็บรวบรวม

ข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุระหว่าง18 – 56 ปีขึ้นไปจำนวนทั้งสิ้น 350 ชุดผลการวิจัยพบว่าส่วนประสมทางการตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากและมีการพิจารณารายด้านอื่นๆเช่นประเด็นด้านการชำระเงินประเด็นแอปพลิเคชันประเด็นด้านเว็บไซต์โทรศัพท์เคลื่อนที่ประเด็นด้านคูปองเคลื่อนที่เป็นต้น

งานวิจัย[9] ได้นำเสนอการออกแบบโครงสร้างสำหรับสมาร์ททีวีที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นไม่ว่าจะเป็นระบบปฏิบัติการใดๆ เช่นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ระบบปฏิบัติการไอโอเอสและสามารถทำงานบนสภาพแวดล้อมคลาว์ดซึ่งเหมาะสมกับพฤติกรรมผู้ใช้ปัจจุบันที่มีอุปกรณ์หลายประเภทนอกจากนี้งานวิจัยยังเป็นการทำแม่แบบส่วนแสดงผล (Template) ของรูปแบบทีวีดิจิทัลเพื่อให้ใช้งานง่ายและใช้ได้หลากหลายระบบปฏิบัติการเน้นการออกแบบอินเทอร์เฟส จะไม่เน้นการขายสินค้าบนทีวีดิจิทัลเช่นงานวิจัยนี้

งานวิจัย[10] ได้นำเสนอการพัฒนาระบบโฆษณาบนสมาร์ททีวีด้วยเทคโนโลยี HTML5 เพื่อแก้ปัญหาความไม่เข้ากันของระบบที่ใช้งานบนสมาร์ททีวีในอุตสาหกรรมโทรทัศน์โดยเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบโฆษณาคั่นรายการเป็นโฆษณาแบบที่ผู้ชมสามารถเลือกได้ในงานวิจัยได้เสนอการใช้เทคโนโลยี HTML5, CSS3 และ JavaScript พัฒนาระบบโฆษณาแบบมีปฏิสัมพันธ์ที่ใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการต่างๆ และมีความแตกต่าง 3 ด้านกับงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ ได้แก่

1. รูปแบบของการใช้งาน งานวิจัยจะเข้าใช้งานโดยเว็บเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser)แต่งานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ติดตั้งแอปพลิเคชันบน Android เวอร์ชัน 5.0 ขึ้นไป

2. ลักษณะการโฆษณาในงานวิจัยที่ศึกษาจะมีโฆษณาทุกๆ อย่างบนหน้าจอ แต่งานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้จะมีรายการสินค้าที่ต้องการขายหรือโฆษณาตามวันเวลาที่ผู้ดูแลระบบหรือเจ้าของช่องทีวีกำหนดให้

3. งานวิจัยที่ศึกษาเน้นการโฆษณา แต่งานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้มีส่วนการโฆษณาและสามารถสั่งซื้อสินค้าได้

ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเป็นการศึกษาวิจัยประเด็นทางการตลาดการโฆษณาประชาสัมพันธ์รวมถึงการพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาความไม่สอดประสานทำงานร่วมกันของเทคโนโลยีจากแต่ละผู้ผลิตบนสมาร์ททีวีหรือการนำเสนอใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นหน้าจอที่สอง (Second Screen) เพื่อรับข้อมูลข่าวสารระหว่างการชมรายการโทรทัศน์[11] โครงการวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการศึกษาวิจัยที่พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการขายสินค้าบนสมาร์ททีวีคู่กับรายการโทรทัศน์เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ชมรายการโทรทัศน์สามารถสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ได้แบบทันที

แอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อการขายสินค้าบนสมาร์ททีวี

โครงการวิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อการซื้อขายสินค้าบนสมาร์ททีวีด้วย Android Studio V 1.4.1 โดยภาษาจาวา มี Appserv ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล MySQL และได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

(1) การสร้างเครื่องมือในการประเมินแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้งานแอปพลิเคชันของโครงการวิจัยนี้แบบสอบถามได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและด้านสื่อสารมวลชนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการวิจัย ผู้เชี่ยวชาญได้เสนอการใช้งานระบบในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อเป็นต้นแบบให้ผู้ที่สนใจศึกษาสามารถนำประเด็นต่างๆ ไปพัฒนาต่อยอดงานวิจัยได้ในอนาคตโดยเก็บข้อมูลทางกายภาพของผู้ตอบแบบสอบถามเช่นเพศแหล่งซื้อสินค้าผ่านทางอินเทอร์เน็ตและเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการซื้อสินค้าผ่านสมาร์ททีวีเช่นความสะดวกในการใช้งานแอปพลิเคชันรูปแบบและความชัดเจนของตัวอักษรรูปแบบการแสดงรายการโทรทัศน์เป็นต้น

(2) การออกแบบฐานข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูลให้รองรับการจัดการข้อมูลของแอปพลิเคชันซึ่งประกอบด้วยข้อมูลช่องทีวีข้อมูลสมาชิกโดยจะแบ่งสถานะออกเป็นผู้ดูแลระบบสมาชิกที่เป็นผู้ขายสมาชิกที่เป็นผู้ฝากขายข้อมูลสินค้าข้อมูลการโฆษณาข้อมูลการขายหรือการสั่งซื้อแผนภาพ ER-Diagram ฐานข้อมูลแสดง (Figure 1)

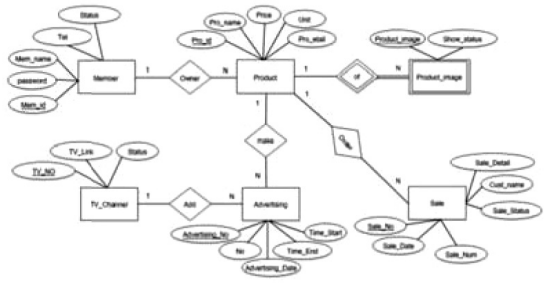


Figure 1 The Database ER-Diagram

จาก (Figure 1) แสดงการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลและความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลประกอบด้วยสมาชิกประเภทสินค้าสินค้ารูปภาพสินค้าช่องโทรทัศน์การโฆษณา และการขาย โดยที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

1. ช่องทีวีและสินค้าจะระบุอยู่ในโฆษณาสินค้าว่า สินค้าตัวใดโฆษณาในช่องไหน วันเวลาใด

2. สินค้าสามารถมีรูปภาพได้ 1 ภาพเป็นต้นไป

3. สมาชิกจะเกี่ยวข้องกับสินค้าที่ตนเองเป็นผู้จำหน่ายหรือขาย

4. การขายหรือสั่งซื้อจะเกี่ยวข้องกับสินค้าที่ลูกค้าต้องการสั่งซื้อ

(3) การออกแบบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันโดยสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดัง (Figure 2) ซึ่งเป็นแผนภาพไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันโดยเริ่มต้นการอ่านข้อมูลลิงค์ของรายการโทรทัศน์ดิจิทัลจากฐานข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้เลือกรับชมในรูปแบบเมนูถ้าผู้ใช้ไม่ต้องการเลือกชมรายการโทรทัศน์สามารถออกจากแอปพลิเคชันได้ถ้าผู้ใช้เลือกรับชมระบบก็จะแสดงรายการโทรทัศน์รวมทั้งสามารถที่จะทำการเลือกชมรายการสินค้าที่ถูกอ่านจากฐานข้อมูลตามช่วงวันเวลาที่ผู้ดูแลระบบได้ทำการบันทึกไว้

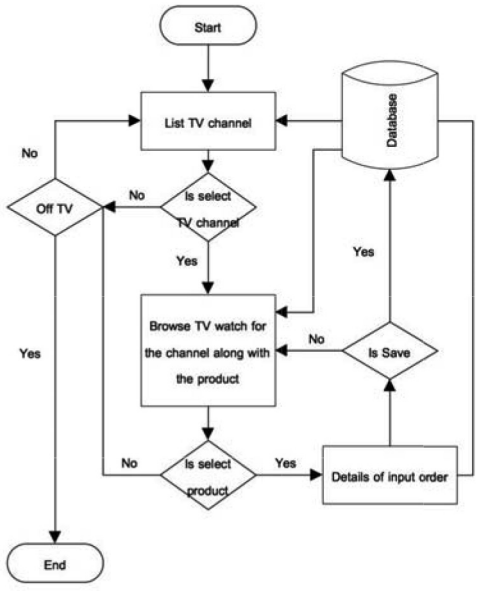


Figure 2 The Application Processing Procedure

ถ้าหากผู้ใช้ต้องการรายละเอียดสินค้าก็สามารถกดเลือกรายการสินค้าต่างๆโดยระบบจะอ่านข้อมูลรายละเอียดสินค้าจากฐานข้อมูลออกมาแสดงผลและผู้ใช้สามารถทำการสั่งซื้อได้ด้วยการป้อนข้อมูลผู้ใช้และบันทึกลงฐานข้อมูล แต่ถ้าผู้ใช้ไม่ต้องการเลือกชมรายการโทรทัศน์สามารถเลือกออกจากโปรแกรมได้

(4) การออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้หรือส่วนแสดงผลหน้าจอของแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ใช้สั่งการควบคุมแอปพลิเคชันโดยออกแบบยึดหลักการช่วยให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกง่ายต่อการใช้งานผู้ใช้งานสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้อย่างสบายตาใช้สีพื้นหลังสีขาวตัวอักษรมีขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วย

หน้าจอหลักเป็นหน้าจอที่แสดงเมนูรายการโทรทัศน์สำหรับให้ผู้ใช้เลือกรับชมประกอบไปด้วยรูปภาพที่แสดงช่องโทรทัศน์และชื่อสถานีโทรทัศน์ขนาดใหญ่เรียงลำดับหมายเลขช่องจากน้อยไปหามากคือ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกรับชมได้สะดวกหน้าจอหลักแสดงดัง (Figure 3)

Figure 3 The Main Menu Display of Application

หน้าจอรับชมภาพเป็นส่วนหน้าจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้โดยผู้ใช้สามารถเลือกหยุดรับชมชั่วคราวได้ด้วยการเลือกที่ปุ่มพักมีการออกแบบปุ่มเพื่อการเล่นต่อการขยายชมภาพเต็มจอแสดงดัง (Figure 4)

Figure 4 TV Program Displayed with the Product Presentation

พร้อมทั้งสามารถเลือกดูรายการสินค้าที่จะถูกนำเสนอตามช่วงวันเวลาที่รายการโทรทัศน์ออกอากาศซึ่งข้อมูลสินค้าเหล่านี้จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลตัวอย่างหน้าจอรับชมรายการโทรทัศน์ควบคู่กับการนำเสนอสินค้า

นอกจากนี้หน้าจอเลือกดูรายละเอียดสินค้าและการสั่งซื้อสินค้าเป็นหน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้เลือกดูรายละเอียดสินค้าตามที่ตนสนใจได้โดยการเลื่อนดูรูปภาพสินค้ารวมทั้งผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลเพื่อการสั่งซื้อสินค้าได้ตัวอย่างการแสดงรายละเอียดสินค้าและสั่งซื้อสินค้าแสดงดัง (Figure 5) และ (Figure 6) ตามลำดับ

Figure 5 Product Detail Presentation

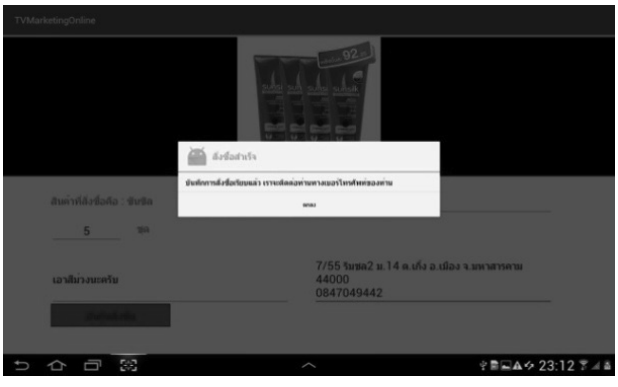


Figure 6 Product Pre-Ordering

(5) การประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชัน

เป็นขั้นตอนการทดลองแอปพลิเคชันต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานแล้วใช้แบบสอบถามจัดเก็บข้อมูลความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย(Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการทดลอง

โครงการวิจัยได้ทดลองใช้งานแอปพลิเคชันต้นแบบเพื่อการซื้อขายสินค้าบนสมาร์ททีวีกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 21 คนที่เคยมีประสบการณ์สั่งซื้อสินค้าจากอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากนั้นจึงใช้แบบสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินความพึงพอใจในด้านต่างๆ โดยที่แบบสอบถามผลการประเมินที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

- ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงจำนวน 11 คน และเพศชายจำนวน 10 คน
- ผู้ที่เคยซื้อสินค้าผ่านอินเทอร์เน็ตไม่บ่อยจำนวน 7 คน และบ่อยจำนวน 14 คน
- ผู้ที่เคยซื้อสินค้าผ่านทางเว็บไซต์จำนวน14 คนผ่านทางโทรทัศน์ (การโทรศัพท์สั่งซื้อ) จำนวน 2 คน และผ่านทางเครือข่ายสังคมออนไลน์จำนวน 15 คน

(2) ข้อมูลผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชัน

ผลการประเมินความพึงพอใจจำแนกรายด้านแสดงดังตารางที่ 1

Table 1 The Result of Participant's Satisfaction Evaluation

Application Features	Mean	S.D.
Ease of Use	4.00	0.84
Ease of Purchase	3.90	0.62
Availability of TV programs	4.43	0.60
TV program design	3.81	0.92
Product Advertisement	3.67	0.66
Font design	3.90	0.54
Background color and feature design	4.05	0.86
Application's Processing Time	4.05	0.59

จาก (Table 1) จะพบว่าผลความพึงพอในระดับ "มากที่สุด" มีทั้งหมด 4 ด้านคือความสะดวกในการใช้งานโปรแกรมรูปแบบสีพื้นหลังและการวางตำแหน่งส่วนต่างๆ ในแต่ละหน้าจอความสามารถรับชมรายการโทรทัศน์และความเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน

นอกจากนี้ด้านการประเมินที่มีผลความพึงพอใจที่อยู่ในระดับ "มาก" มีทั้งหมด 4 ด้านด้วยกันคือรูปแบบและความชัดเจนของตัวอักษรรูปแบบในการแสดงรายการโทรทัศน์รูปแบบในการโฆษณาสินค้าและความสะดวกในการสั่งซื้อสินค้า

(3) ข้อเสนอแนะจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

กลุ่มตัวอย่างมีความต้องการรับชมรายการโทรทัศน์ในระหว่างที่ป้อนข้อมูลสั่งซื้อสินค้ารวมถึงมีหน้าจอแสดงข้อมูลสถานะการสั่งซื้อสินค้าเช่นกำลังจัดส่งหรือจัดส่งแล้วเป็นต้น

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ได้เสนอช่องทางการโฆษณาและการซื้อขายสินค้าบนสมาร์ททีวีโดยได้พัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบและทดสอบการขายสินค้าคู่กับรายการโทรทัศน์เพื่อให้ผู้ชมสามารถสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ได้แบบทันทีทันใดผลจากการวิจัยนี้ยังต้องมีการพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมในอีกหลายด้านหากมีการนำไปใช้แก่ประชาชนทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นระบบการชำระเงินรูปแบบต่างๆ อย่างการตัดผ่านบัญชีธนาคาร การโอนเงินจากหมายเลขโทรศัพท์ รวมถึงระบบสารสนเทศที่อำนวยความสะดวกการจัดส่งและติดตามสินค้า รวมถึงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเติม อื่นๆ เช่น

1. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อจับคู่ระหว่างรายการโทรทัศน์กับสินค้าที่นำเสนอเพื่อกระตุ้นการสั่งซื้อให้สูงขึ้นรวมทั้งระบบควรมีการเพิ่มช่องโทรทัศน์มากขึ้นและรูปแบบการนำเสนอสินค้าควรคำนึงถึงคำอธิบายรายละเอียดสินค้าและประเภทข้อมูลที่นำเสนอขณะเดียวกันการสั่งซื้อควรที่จะสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้ไปพร้อมกัน

2. การสั่งซื้อสินค้าควรประยุกต์ใช้พิกัดตำแหน่งภูมิศาสตร์ของผู้รับชมเพื่อเสนอสินค้าที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และควรมีข้อความตอบรับแจ้งผลในช่องทางต่างๆเมื่อมีการสั่งซื้อสินค้า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาการสารสนเทศมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยนี้ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย วิเชียรไชย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสร้างเครื่องมือเพื่อการประเมินความพึงพอใจและขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในคณะวิทยาการสารสนเทศที่ได้ให้คำแนะนำ และขอขอบคุณนายชิตพล พลโสดา

เอกสารอ้างอิง

1. Koong Lin, Chad Lin and Chyi-Lin Shen, Evaluation of Interactive Digital TV Commerce Using the AHP Approach. Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, Second Edition. 2009.
2. พีระพงษ์ ปรีดาชม. ความเป็นมาของอินเตอร์เน็ต, เว็บสำหรับค้นคว้าหาข้อมูลโดยสำนักบริการข้อมูลและสารสนเทศมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553. ได้จาก http://www.slideshare.net/pirapong.
3. กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ ทวีศักดิ์กาญจนสุวรรณ. คัมภีร์การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce).กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เคทีพีคอมพ์แอนด์คอนซัลท์, 2541.
4. Stuart Elleray. Retrieved from http://digitalstuart.com/tag/marketing-mix/,18 October 2014.
5. Marcus Niemietz, Juraj Somorovsky, Christian Mainka, Jorg Schwenk, “Not so Smart: On Smart TV Apps”, International Workshop on Secure Internet of Things, 2015, P. 72-81.
6. กานต์ยืนยง. บทวิเคราะห์ DigitalTV การเปลี่ยนผ่านของอุตสาหกรรมทีวีไทยใต้เงื้อมมือกสทช. ได้จากhttp://www.siamintelligence .com/thai-digital-tv-analysis, 13 ตุลาคม พ.ศ. 2549.
7. ญาดา ชื่นชม และ กิตติพันธ์ คงสวัสดิ์เกียรติ. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าไอทีผ่านระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานคร, วารสารการเงินการลงทุนการตลาดและการบริหารธุรกิจ: มหาวิทยาลัยรังสิต, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2555.
8. ณัฐคูณค์ ดอนยังไพร. ส่วนประสมทางการตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่ M-Commerce ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้า. ปริญญานิเทศศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการสื่อสารเชิงกลยุทธ์, 2556.
9. JuByoung Oh and Ohseok Kwon. Multi-User Service Platform Design for Smart TV & N-Screen Services in Open Cloud Environment. First International Conference on Computer Science & Information Technology (CoSIT 2014). Bangalore, India. 2014. P.173-185.
10. E. Perakakis and G. Ghinea, “HTML5 Technologies for Effective Cross-Platform Interactive/Smart TV Advertising,” in IEEE Transactions on Human-Machine Systems, vol. 45, no. 4, 2015. P. 534-539.
11. Heloisa Simon, Eros Comunello and Aldo Von Wangenheim. Article: Enrichment of Interactive Digital TV using Second Screen. International Journal of Computer Applications 64(22):58-64, February 2013.

การออกแบบและพัฒนาหน้าต่างบนเว็บสำหรับอิมูเลเตอร์เครือข่าย
A Design and Development of a Web Interface for Network Emulators

ธงชัย เจือจันทร์[1], นพรัตน์ โพธิ์สิงห์[1], เอกราวี คำแปล[1], สมสวัสดิ์ นิลดำ[1]
Thongchai Chuachan[1], Nopparat Posing[1], Ekrawee Kamplae[1], Somsawut Nindam[1]
Received: 23 March 2016; Accepted: 12 June 2016

บทคัดย่อ
อิมูเลเตอร์เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการทดลองด้านเครือข่าย แต่การใช้อิมูเลเตอร์เครือข่ายยังคงมีปัญหาของการติดตั้ง คอนฟิก และสนับสนุนได้เพียงบางระบบปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงจะพัฒนาเว็บอิมูเลเตอร์ที่มีคุณสมบัติพื้นฐานเดียวกันกับอิมูเลเตอร์ที่ทำงานแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์เนทีฟ โดยการพัฒนาหน้าต่างที่ทำงานบนเว็บ ต่อยอดการสร้างและจัดการโหนดทางเครือข่ายด้วยอิมูเลเตอร์ CORE ซึ่งใช้ Node.js พัฒนาให้มีการทำงานแบบ RESTful แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลทั้งความล่าช้าต่อการตอบสนอง และประสิทธิภาพของระบบ จากผลการทดลองพบว่าโปรแกรมจากงานวิจัยนี้สามารถตอบสนองต่อผู้ใช้ได้รวดเร็ว สามารถรองรับการสร้างและจัดการโหนดทางเครือข่ายได้จำนวนมาก และทำงานบนบราวเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อิมูเลเตอร์ เทสเบด เครื่องมือทดลองเครือข่าย

Abstract
Network emulation tools are essential for network learning and testing. However, early network emulation tools have some issues, particularly with installation and configuration. Moreover, they depend on operating systems. In this research a web-based emulation has been developed to work the same as previous prominent network emulation tools. So, a Common Open Research Emulator (CORE) has been selected to provide a basis network node. We experimented to measure delay and efficiency of our prototype. Experimental results have shown that the web-based emulator has effectively provided for a number of users and network nodes.

Keywords: Emulator, test-bed, Network testing tools

บทนำ
การจำลองระบบเครือข่าย (Network Simulation)[1] ถูกใช้เป็นเครื่องมือสำหรับลองด้านเครือข่าย เพื่อพิสูจน์แนวคิดจากการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเครือข่ายต้นแบบ โดยวิธีจำลองระบบเครือข่ายช่วยให้การติดตั้ง การกำหนดโทโพโลยี (Topology) และการแบ่งเครือข่าย (Network Separation) ทำได้ง่าย ทั้งในเครือข่ายขนาดเล็ก (Small Scale Network) และเครือข่ายขนาดใหญ่ (Large Scale Network) แต่ต้องอาศัยการควบคุมค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ที่เหมาะสม และมีความเข้มงวดทางสถิติดัง Millman และคณะ[2] ได้นำเสนอไว้ สำหรับการทดสอบเครือข่ายแบบ test-bed จะเป็นใช้วิธีนำโปรแกรมต้นแบบไปทดสอบกับระบบเครือข่ายจริงและได้รับความน่าเชื่อถือจากการการถูกทดสอบบนกลุ่มฮาร์ดแวร์จริง เช่น PlanetLab[3] แต่อาจมีราคาสูง รองรับจำนวนผู้ใช้ได้น้อย และยากต่อการติดตั้งเพื่อดำเนินการทดสอบอุปกรณ์จำนวนมากได้ ทำให้ทั้ง Network Simulation และ test-bed จึงมีทั้งจุดดีและจุดด้อยที่แตกต่างกันสูง

[1] *อาจารย์, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.*
E-mail: {thongchai.c@srru.ac.th, n_posing@hotmail.com, civiclove0326@hotmail.co.th, somsawut.nindam@gmail.com}
[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, civiclove0326@hotmail.co.th, somsawut.nindam@gmail.com}*

หลายหน่วยวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้การเลียนแบบ (Emulation)[4–7] ขึ้นจากการใช้เทคโนโลยี Virtualization มาช่วยแก้ปัญหาต่างจากทั้งการใช้ Network Simulation และ test-bed โดย Emulation นี้จะสามารถประมวลผลจากฟังก์ชันจริงของโปรแกรมต้นแบบ (Functional Realism) เวลาในการประมวลผลเป็นไปตามจริง (Timing Realism) การใช้เครือข่ายจริง (Traffic Realism) การติดตั้งและกำหนด Topology เครือข่ายมีความยืดหยุด (Topology Flexibility) และมีราคาต่ำ (Low Cost) Emulation จึงเป็นแนวทางที่สมดุลต่อการทดลองระบบเครือข่าย โดยใช้ติดตั้งโปรแกรมต้นแบบได้จริง แยกการเชื่อมต่อเครือข่ายภายในระบบ และทดสอบด้วยวิธี test-bed ได้

มีหลายซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาจากเทคนิค Emulation เช่น Mininet[8], Cloonix[9], Netkit[10], Integr- ated Multiprotocol Network Emulator/Simulator (IMMUNES)[11] และ Common Open Research Emu- lator (CORE)[7] ด้วยการใช้วิธีสร้างโหนดทางเครือข่ายจากเครื่องมือต่าง ๆ เช่น Linux Container[12] และ Kernel-based Virtual Machine (KVM)[13] แต่ยังยากที่นักวิจัยติดตั้ง คอนฟิก และจัดการระบบพื้นฐาน ก่อนนำไปใช้เพื่อการทดลองและการศึกษาด้านเครือข่าย เพราะต้องใช้เวลาในการติดตั้งและจัดการระบบสูง

งานวิจัยนี้จึงพัฒนา Graphical User Interface (GUI) บนเว็บสำหรับ Emulation ที่มีความสามารถใกล้เคียงกับระบบ User Interface (UI) แบบผู้ใช้เดี่ยว เช่น CORE เป็นต้น โดยการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชัน ช่วยให้การจัดการ การทดลองด้านเครือข่าย มีความสะดวกต่อการนำไปใช้ สามารถนำไปทดสอบโพรโท-คอล ทางเครือข่ายที่มีอยู่ในปัจจุบัน และโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นใหม่ได้ เช่น เครือข่ายสถาปัตยกรรม TCP/IP และรวมถึงเครือข่ายแบบใหม่อย่าง Named Data Networking (NDN)[14] ได้

การพัฒนาหน้าต่าง Emulator บนเว็บ (Web Emulator) นี้ ใช้ Node.js[15] เป็นเครื่องมือเชื่อมต่อระหว่างหน้าต่างบนเว็บแอพพลิเคชันกับอิมูเลเตอร์ CORE โดยได้พัฒนากลไกการแปลงรูปแบบการคอนฟิกโหนดทางเครือข่ายของ CORE และหน้าต่าง Web Emulator ที่ทำงานแบบ RESTful[16] แล้วประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบไม่ต่ำกว่า 30 ครั้ง ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า Web Emulator จากงานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของ Emulator ได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนากลไกเชื่อมโยงการทำงานระหว่างหน้าต่างอิมูเลเตอร์บนเว็บกับโหนดทางเครือข่ายของอิมูเลเตอร์ CORE

2. เพื่อพัฒนาหน้าต่างเว็บอิมูเลเตอร์ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโปรแกรมบนเดสก์ท็อป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมจำลองเครือข่าย

โปรแกรมจำลองเครือข่าย (Network Simulation Tools) ถูกใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการศึกษาและวิจัยด้านเครือข่าย และได้มีการพัฒนาให้มีความแม่นยำสูงขึ้น เพื่อให้ผลการทดลองเครือข่ายมีความน่าเชื่อถือ เช่น Network Simulator 2 (ns2)[17], Network Simulator 3 (ns3)[18] และ Packet Tracer[19] เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมเหล่านี้ยังมีข้อบกพร่องหลายด้าน เช่น การใช้ ns2 และ ns3 ในการทำงานวิจัยด้านเครือข่าย ต้องมีการพัฒนาต้นแบบที่อยู่ในรูปของการจำลอง การควบคุมค่าพารามิเตอร์ที่ซับซ้อน และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นถูกสั่งงานบนระบบที่ถูกจำลองแบบคร่าว ๆ ซึ่งไม่สามารถนำไปปรับใช้เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริง สำหรับโปรแกรมที่ใช้เรียนรู้เครือข่ายอย่าง Packet Tracer เป็นเพียงการจำลองแบบเบื้องต้น ไม่สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบและนำไปทดลองได้ การนำโปรแกรมจำลองเครือข่ายมาใช้จึงต้องควบคุมการทดลองเครือข่ายอย่างเข้มงวด งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมที่จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพเครื่องมือการเรียนรู้และการทำงานวิจัยด้านเครือข่ายที่ดีขึ้น

การทดสอบแบบ test-bed

การทดลองด้วยวิธีใช้ test-bed ก่อนหน้านี้จะถูกใช้ก็ต่อเมื่อแนวคิดของเครือข่ายมีความเชื่อมั่นสูง จึงพัฒนาโปรแกรมต้นแบบและทดลองกับระบบเครือข่ายจริง ผลการทดสอบระบบจึงได้จากการทำงานบนระบบปฏิบัติการ และฮาร์ดแวร์จริง และการทดลองสามารถควบคุมไหลของแพ็กเก็ตได้หลายแบบ เช่น ทดสอบแบบปิด และทดสอบแบบเปิด เป็นต้น แต่การทดสอบด้วยวิธี test-bed ยังมีต้นทุนสูง ยุ่งยากต่อการจัดการทั้งด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ เปลี่ยนทอพอโลยีของเครือข่ายได้ยาก และใช้เวลาคอนฟิกสูง เช่น PlanetLab[3] และ ORBIT[20] เป็นต้น จึงเกิดความยุ่งยากต่อการนำไปใช้กับกลุ่มผู้วิจัยที่มีทรัพยากรณ์ไม่เพียงพอ งานวิจัยนี้จึงหาแนวทางที่จะทำให้ระบบการทดสอบและเรียนรู้เครือข่ายโดยใช้ test-bed ได้ และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

การเลียนแบบเครือข่าย

การเลียนแบบเครือข่าย (Network Emulation) เป็นวิธีเลียนแบบอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เร้าเตอร์ และอื่น ๆ ที่มีระบบปฏิบัติการ พร้อมที่จะทำงานโดย

มีฟังก์ชันทำงานเหมือนกับของจริงทุกประการ และเทคนิคนี้ถูกใช้โดยทั่วไปในหน่วยของ Virtualization โดยการใช้ Network Emulation นี้จะสร้างโหนดทางเครือข่ายเป็น Virtual Machine (VM) มีระบบปฏิบัติการรองรับการทำงานของโปรแกรมจริง เช่น การใช้ Linux Container (LXC)[12] และ Kernel-based Virtual Machine (KVM)[13] เป็นต้น ช่วยให้ระบบปฏิบัติการใน VM ถูกเชื่อมต่อกับเครือข่ายทั้งจากการจำลองและเครือข่ายจริงได้

การนำโปรแกรม Network Emulation มาใช้สำหรับการทดลองและเรียนรู้ด้านเครือข่ายจึงสามารถช่วยลดต้นทุนด้านฮาร์ดแวร์ ความยากต่อการติดตั้ง และสามารถทดสอบเครือข่ายด้วยวิธี test-bed ได้ ก่อนหน้านี้มีโปรแกรม Network Emulation ที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับงานวิจัยหลายโปรแกรม เช่น Integrated Multiprotocol Network Emulator (IMMUNE)[11], Cloonix[9], Mininet[8], Netkit[10], Open Network Emulator[5] และ Common Open Research Emulator (CORE)[7] เป็นต้น โดยการทดสอบเครือข่ายส่วนใหญ่ในปัจจุบันโปรแกรม Network Emulation ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การพัฒนา Software Defined Network (SDN)[21] ถูกนำไปติดตั้งและทดสอบบนโปรแกรม Mininet โดยกลุ่มนักวิจัย SDN เป็นต้น การนำโปรแกรม Network Emulation มาใช้จึงมีความสำคัญกับกลุ่มนักวิจัยและกลุ่มผู้เรียนด้านเครือข่ายในปัจจุบัน

Common Open Research Emulator (CORE)

CORE[7] เป็นหนึ่งในโปรแกรม Network Emulator ที่สามารถสร้างและจัดการเครือข่ายสำหรับการทดลองและการเรียนรู้ด้านเครือข่ายได้ดี ซึ่งพัฒนาโดยใช้กลไกจัดการเครือข่ายของ FreeBSD สำหรับเชื่อมต่อกับเครือข่ายจำลองและอุปกร์เครือข่ายจริง และช่วยให้ออกแบบและแบ่งส่วนของเครือข่ายที่เชื่อมต่อได้ในระดับเฟรมแพ็กเก็ตและสูงขึ้น โดยใช้โพรโทคอลทางเครือข่ายจริง แต่ CORE คงมีปัญหาหลายด้าน เช่น ทำงานได้เพียงบนระบบปฏิบัติการลินุกส์ การคอนฟิกเพื่อใช้ในการเรียนรู้และทดลองทางเครือข่ายแบบกลุ่ม และการคอนฟิก CORE เบื้องต้นทำได้ยาก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นและแก้ประเด็นปัญหาเหล่านี้

Table 1 CORE and Web Emulator configuration format

CORE imn	WebEmu
node n3 {	version: '0.2',
type router	details: ' JSON WebEmu : Configuration file',
model router	nodes:[
network-config {	{
hostname n3	"id":"n3",
interface eth1	"type":"router",
ip address 10.0.0.20/24	"model":"router",
interface eth0	"peer":["n2","n6"],
ip address 192.168.6.240/24	"coords":{"x":316,"y":128},
}	"lbcoords":{"x":316,"y":160},
canvas c1	"infs":[
iconcoords {316.0 128.0}	{"interface":"eth1","ip":"10.0.0.20","ifnet":"10.0.0.20/24"},
labelcoords {316.0 160.0}	{"interface":"eth0","ip":"192.168.6.240","ifnet":"192.168.6.240/24"}
services {IPForward}	]
interface-peer {eth0 n2}	}]
interface-peer {eth1 n6}	
}	

การออกแบบและพัฒนา Web Emulator

การเลือก Emulator พื้นฐาน

การพัฒนาหน้าต่าง Web Emulator ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Common Open Research Emulator (CORE) เป็นระบบพื้นฐาน จากที่ Ahrenholz[7] ได้แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของการทดลองเครือข่ายได้ดี เพิ่มโหนดทางเครือข่ายได้จำนวนมาก CORE จึงเป็นตัวเลือกที่สำคัญในการนำมาพัฒนาหน้าต่าง Web Emulator ต่อยอดได้ดี

โครงสร้างระบบ

โครงสร้างของ Web Emulator ดังแสดงใน (Figure 1) จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หน้าต่าง Web Emulator สำหรับผู้ใช้ (WebEmu Interface) ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างโหนดทางเครือข่ายกับหน้าต่างสำหรับผู้ใช้ (WebEmu Plane) และส่วนของโหนดทางเครือข่าย (VMs Plane)

โครงสร้างของ Web Emulator นี้ต้องมีการ์ดเครือข่าย (Network Interface) อย่างน้อย 2 การ์ด โดยการ์ดแรกดัง Interface 0 ใน (Figure 1) จะเป็นส่วนติดต่อกับหน้าต่าง WebEmu Interface ซึ่งเป็นหน้าต่างหลักสำหรับควบคุมโหนดทางเครือข่าย ส่วนการ์ดเครือข่าย Interface 1 ใน (Figure 1) ถูกเชื่อมต่อกับเครือข่าย Bridge เพื่อทำหน้าที่แบ่งส่วนของเครือข่ายและรูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่าย ซึ่งแต่ละส่วนของ WebEmu Interface, WebEmu Plane และ VM Configurations จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. WebEmu Interface เป็นหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้ที่มีความสามารถอัพโหลดคอนฟิกของ CORE แล้วแปลง (Convert) ค่าคอนฟิกให้สนับสนุนการทำงานของ Web Emulator ได้ และสามารถเฝ้าสังเกต (Monitoring) สถานะของโหนดทางเครือข่าย และโฮสของเครื่องทดสอบได้ โดยการเลือกโหนดทางเครือข่ายสามารถแสดงผลการประมวลผลเพื่อสังเกตคำสั่ง ip route, ifconfig, arp -a, ps, tc qdisc show, tc filter show, tc class show, iptables -L และ ipset -L

2. WebEmu Plane เป็นเครื่องมือสำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง WebEmu Interface และ VMs Plane เข้าด้วยกัน โดยมีหน่วยให้บริการ (Service) เชื่อมต่อทั้ง 2 ส่วนดังนี้

1) Emulator GUI เป็นหน้าต่างสำหรับผู้ใช้แสดงผลโดยใช้ RESTful ทำให้การเชื่อมต่อกับโหนดทางเครือข่ายภายในระบบ Emulator และจะไม่โหลดหน้าเว็บใหม่เมื่อถูกเรียกใช้โดยผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นการแสดงผลที่ไม่แตกต่างจากการใช้โปรแกรมหน้าต่างเดี่ยวของโปรแกรมอิมูเลเตอร์ CORE

2) Monitoring Services เป็น Service รองรับคำสั่งจากผู้ใช้ในหน้าต่าง Emulator GUI แล้วเชื่อมต่อไปยังโหนดทางเครือข่าย ก่อนนำผลการประมวลผลที่ได้ส่งต่อให้กับ Emulator GUI

3) VM Configurations ทำหน้าที่จัดการโหนดทางเครือข่ายเมื่อมีการสั่งให้ระบบทำงาน โดยผู้ใช้สามารถเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับแต่ละโหนด เช่น ประเภทอุปกรณ์ ค่าคอนฟิกเบื้องต้น และคำสั่งที่ต้องทำงานเมื่อ VMs เริ่มทำงาน

3. VMs Plane เป็นส่วนของโหนดทางเครือข่ายที่ใช้ Linux Container ทำหน้าที่เป็น Virtual Machine (VM) ในแต่ละ VM จะมีเซอร์วิส WebTerm รอรับการเข้าถึงหน้าต่าง Terminal ของระบบปฏิบัติการลินุกส์ผ่านเว็บบราวเซอร์ และมีหน่วยจัดการเครือข่ายแบบ Bridge ที่ถูกเชื่อมต่อกับการ์ดเครือข่าย Interface 1 ใน (Figure 1)

การแปลงรูปแบบการคอนฟิก

การคอนฟิกของอิมูเลเตอร์ CORE จะอยู่ในรูปแบบเฉพาะของ CORE งานวิจัยนี้จึงได้แปลงให้อยู่ในรูปแบบ JSON ซึ่งเป็นรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน และสามารถนำไปใช้ได้กับหลายส่วน เช่น หน้าต่างของซอฟต์แวร์ Web Emulator จากงานวิจัยนี้ และเซอร์วิสที่เชื่อมต่อระหว่าง VM กับหน้าต่าง WebTerm เป็นต้น

การปรับเปลี่ยนการคอนฟิกแบบรูปแบบเฉพาะของ CORE มีดัง (Table 1) โดยได้เพิ่มรุ่นและคำอธิบายเป็นส่วนแรกของการคอนฟิก และมีการปรับเปลี่ยนค่าคอนฟิกจาก CORE เป็น Web Emulator ดังนี้

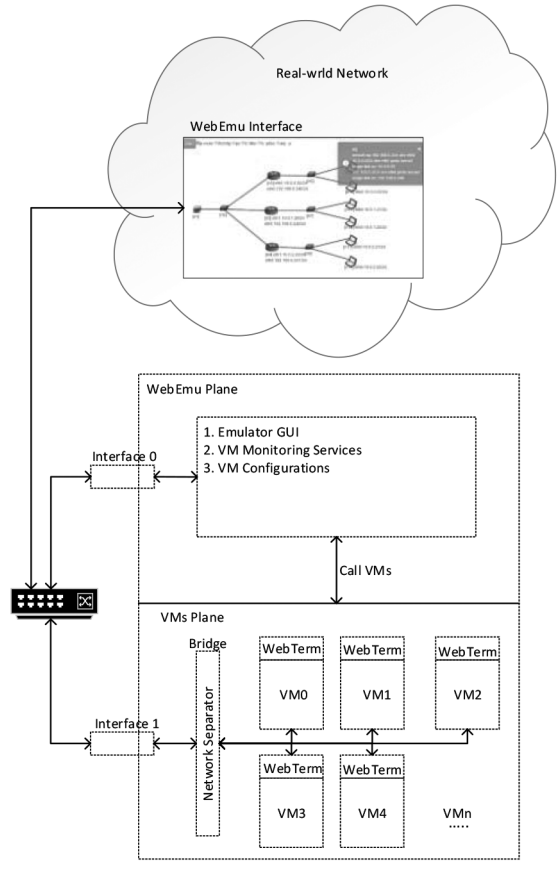


Figure 1 Web Emulator Structure

1. หมายเลขระบุโหนดทางเครือข่ายจาก node *<id>* ให้เป็นวัตถุอะเรย์ในรูปแบบของ JSON คือ “id”:*<id>* โดย*<id>* คือหมายเลขระบุโหนดทางเครือข่าย

2. ประเภทของอุปกรณ์เครือข่ายจาก type *<router/switch/RJ45>* เป็น “type”: *<router/switch/ RJ45>* โดยโหนดทางเครือข่ายจะมีคุณสมบัติ 3 ประเภท คือ Router Switch และ RJ45 ซึ่งระบุในตัวแปร model และtype เพื่อเรียก Icon แสดงผลในหน้าต่าง Web Emulator

3. ตำแหน่งของรูปอุปกรณ์และป้ายระบุข้อมูลจะนำมารวมเก็บไว้ใน *cords* และ *lbcoords* ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง *iconcoords* และ *labelcoords* ในอิมูเลเตอร์ CORE

4. รายการ *infs* ของ Web Emulator จะเก็บข้อมูลของอุปกรณ์เครือข่าย เช่น ชื่อของการ์ดเครือข่าย หมายเลขไอพี และหมายเลขอุปกรณ์เครือข่าย ซึ่งมาจากตัวแปร *interface* และ *ip address* ของ CORE

การพัฒนาและทดลองโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนา Web Emulator จากแนวคิดของงานวิจัยนี้ ใช้หลายเครื่องมือมาใช้ร่วมกัน คือ

1. ส่วนของ VM จะใช้ CORE เป็นระบบพื้นฐาน แล้วแปลงให้เป็นไฟล์คอนฟิกในรูปแบบ JSON และส่งต่อให้กับผู้ใช้ผ่านทางโพรโทคอล HTTP สำหรับการคอนฟิกหน้าต่างผู้ใช้บนบราวเซอร์ โดยการแปลงคอนฟิกนี้จะใช้วิธีการอ่านไฟล์และให้บริการเว็บเซิฟเวอร์ด้วย Node.js ใช้ไลบรารี Express สำหรับให้บริการบนเว็บ และ fs สำหรับการอ่านและเขียนไฟล์ โดยลักษณะของการทำงานจะเป็นแบบ RESTFul ซึ่งตอบสนองกับผู้ใช้เหมือนกับการใช้โปรแกรมบนหน้าต่างเดสก์ท็อปทั่วไป

2. ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างเซอร์วิสของ CORE กับหน้าต่างผู้ใช้ Web Emulator ทำได้โดยใช้ไลบรารี shelljs ของ Node.js ซึ่งเมื่อผู้ใช้เรียกคำสั่ง เช่น ifconfig ของ VM0 ระบบจะเรียกคำสั่ง vnode ของ CORE และส่งคำสั่ง ifconfig เข้าไปยังโหนดดังกล่าวแล้วรอการตอบกลับ ก่อนที่จะส่งต่อไปยังหน้าต่าง Web Emulator และเมื่อได้รับข้อความระบบจะแสดงเป็น popup ดังแสดงใน (Figure 3) ด้านบนขวา

3. ส่วนของ WebTerm พัฒนาโดยใช้ Node.js เป็นส่วนของให้บริการหน้าต่าง Terminal บนเว็บ ซึ่งใช้ไลบรารี Express เพื่อทำหน้าที่เป็นเซิฟเวอร์ แล้วใช้ไลบรารี term.js, pty.js และ socket.io ในการติดต่อกับระบบปฏิบัติการในแต่ละ VM และรอรับการเรียกใช้ ผ่านหน้าต่าง WebTerm แบบ Real-time

4. การจัดการด้านความมั่นคงของ Web Emulator ในงานวิจัยนี้จะมีหน้าต่างล็อกอินเพียงครั้งเดียวที่หน้าต่างหลัก ใน (Figure 3) ส่วนการเข้าถึง VM ต่าง ๆ จะเข้าใช้ได้โดยไม่ต้องทำการล็อกอิน

การทดลองและประเมินผล

(Figure 2) เป็นภาพการทดลองจากงานวิจัยนี้ แบ่งเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) เครือข่ายหลัก 192.168.6.0/24 ถูกเชื่อมต่อกับผู้ใช้ Web Emulator และ 2) กลุ่มของเครือข่ายทดลองที่ VM ถูกเชื่อมต่ออยู่ คือ 10.0.0.0/24 10.0.1.0/24 และ 10.0.2.0/24 ซึ่งเครือข่ายทั้ง 2 กลุ่มถูกเชื่อมกันด้วยเร้าเตอร์ R0 R1 และ R2 ตามลำดับ โดยการทดลองต้องมีการคอนฟิกค่าเบื้องต้นดังนี้

1. ที่เครื่องผู้ใช้จะใช้ระบบปฏิบัติการ Windows และต้องเพิ่มตารางเร้าแพ็กเก็ตแบบถาวร (static route) เพื่อให้เครือข่ายหลักมองเห็นเครือข่ายของ VM โดยใช้คำสั่ง route add เครือข่าย 10.0.0.0/24 ผ่านทางเร้าเตอร์ R0 ที่หมายเลขไอพี *192.168.6.241* ตามคำสั่งต่อไปนี้

#> route add 10.0.0.0 mask 255.255.255.0 192.168.6.241 metric 2

สำหรับการส่งแพ็กเก็ตไปยังเครือข่าย 10.0.1.0/24 ให้ส่งไปยังเร้าเตอร์ R1 ที่หมายเลขไอพี *192.168.6.242* โดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

#> route add 10.0.1.0 mask 255.255.255.0 192.168.6.242 metric 2

การส่งแพ็กเก็ตไปยังเครือข่ายสุดท้าย 10.0.2.0/24 ให้ส่งไปยังเร้าเตอร์ R2 ที่หมายเลขไอพี *192.168.6.243* โดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

#> route add 10.0.2.0 mask 255.255.255.0 192.168.6.243 metric 2

2. ผู้ใช้เข้าถึง R0, R1 และ R2 แล้วทำการคอนฟิกค่า default gateway โดยให้ชี้ไปที่เกตเวย์ของเครือข่าย 192.168.6.0/24 แล้วทำการรีโมทย์ไปยัง VM0 ถึง VMn และเพิ่มค่า default gateway ให้กับ VM0 ถึง VMn ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายภายนอกมหาวิทยาลัย เช่น การเข้าเว็บไซต์ต่าง ๆ การทดลองเครือข่ายประเภทต่าง ๆ เป็นต้น

การทดสอบ Web Emulator ได้ประเมินแง่ของ Delay ของการตอบสนองต่อผู้ใช้ในหน้าต่างใช้งาน ทั้งส่วนหน้าต่าง Web Emulator และหน้าต่างของแต่ละ WebTerm สำหรับการสนับสนุนรูปแบบการสื่อสารได้ทดสอบการ

โพรโทคอลที่ทำงานในระดับชั้น DataLink, Internet Protocol (IP) และ Transport ซึ่งประกอบด้วย Address Resolution Protocol (ARP), IP Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP) และการสื่อสารประเภทใหม่ Named Data Networking (NDN) และฟังก์ชันการเร้าติ้ง โดยการทดลองได้เพิ่ม VM ครั้งละ 10 โหนดจาก 1, 10, 20 และ 30 โหนด แล้วประเมินประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งการทดลองได้ทำซ้ำจำนวน 30 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เครื่องทดสอบในงานวิจัยนี้ ส่วนของเซิฟเวอร์ให้บริการหน้าต่าง Web Emulator และ VM ใช้หน่วยประมวลผล Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E6550 @2.33GHz หน่วยความจำหลัก 2GB และหน่วยความจำสำรอง 70GB ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกส์ CentOS รุ่น 7 ส่วนผู้ทดลองใช้คอมพิวเตอร์เดสก์ท็อประบบปฏิบัติการ Windows หน่วยประมวลผล Intel(R) Core(TM) i5-3337U @1.80GHz หน่วยความจำหลัก 8GB และหน่วยความจำสำรอง 240GB เข้าถึงหน้าต่าง Web Emulator ด้วยเบราเซอร์ Chrome

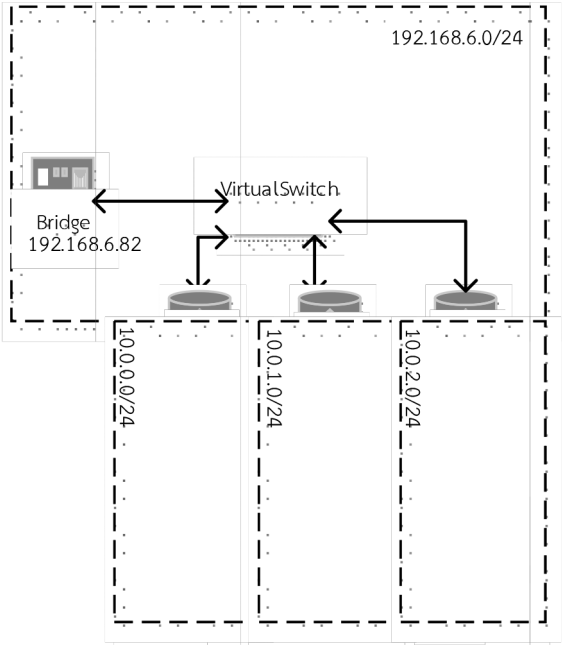


Figure 2 an evaluation scenario

ผลการทดลอง Web Emulator

ผลการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

หน้าต่าง Web Emulator จากงานวิจัยนี้แสดงใน (Figure 3) ซึ่งประกอบด้วยส่วน Info คือข้อมูลของโปรแกรม Upload คือ การอัพโหลดการเชื่อมต่อเครือข่าย ส่วน Monitor คือ การแสดงสถานะเครือข่าย และส่วนตรวจสอบสถานะของ VM จากคำสั่งต่าง ๆ สำหรับส่วนหลักของโปรแกรมจะเป็นรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกเพื่อเข้าคอนฟิกอุปกรณ์ เช่น เร้าเตอร์ และ คอมพิวเตอร์ได้

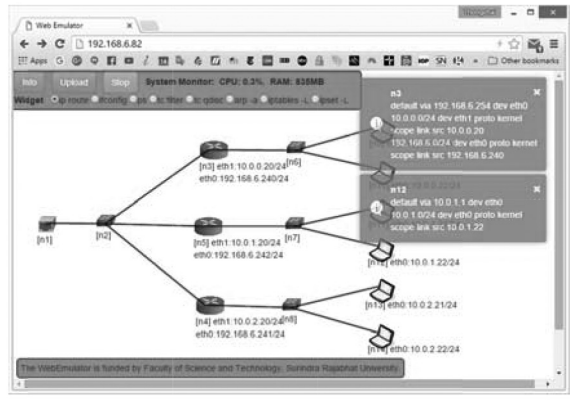


Figure 3 A main window of Web Emulator

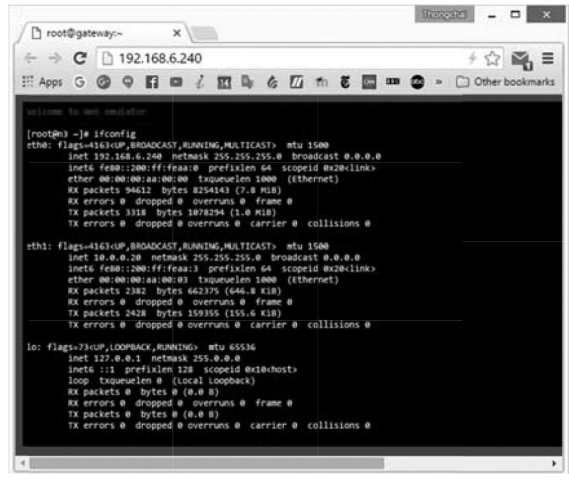


Figure 4 A WebTerm window

(Figure 4) เป็นหน้าต่าง WebTerm ในการเข้าถึงอุปกรณ์เร้าเตอร์ โดยผู้ใช้สามารถใช้คำสั่งได้เหมือนกับการรีโมทย์เข้าถึงผ่านโพรโทคอล Secured Shell (SSH) ซึ่งผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมที่สนับสนุนการใช้โพรโทคอล SSH ในการเข้าถึง VM ได้ โดยหน้าต่าง WebTerm สามารนำไปใช้เชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ โดยใช้แพ็กเก็ตประเภท TCP UDP ARP ฟังก์ชัน Routing และเครือข่าย NDN ได้

สำหรับความทัดเทียมของฟังก์ชันการทำงานระหว่าง CORE และ Web Emulator จากงานวิจัยนี้ ดัง (Table 2) จะเห็นว่า Web Emulator ยังมีฟังก์ชันบางส่วนที่ยังไม่สามารถเทียบเคียงกับ CORE ได้ เช่น การเพิ่มโหนดทางเครือข่ายบนหน้าต่าง การสร้างสคริปการเคลื่อนที่ของโหนด แต่ Web Emulator ช่วยให้ไม่เกิดปัญหาเรื่อง Platform ของระบบปฏิบัติการ Web Emulator จึงสามารถทำงานได้บนทุกระบบปฏิบัติการ มือถือ และแท็บเล็ตได้ ขณะที่ CORE จะทำงานได้เฉพาะบนระบบปฏิบัติการลินุกส์เท่านั้น

Table 2 functionality comparision of CORE and Web Emulator

	CORE	Web Emulator
Adding and configuring nodes to an software GUI	/	/
Mobility models	/	x
Monitoring features	/	/
Multi-platform software	x	/

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ Web Emulator

การประเมินประสิทธิภาพการใช้หน้าต่างหลัก Web Emulator เทียบกับ CORE ดังแสดงใน (Figure 5) จะเห็นว่า Web Emulator มี Delay สูงกว่าการเข้าใช้ CORE อยู่ประมาณ 10ms โดยการใช้ Web Emulator อยู่ที่ 194.9±1.7 ms และการใช้ CORE จะอยู่ที่ 185.1 ±1.1 ms ดังนั้นการพัฒนาหน้าต่างใช้ CORE ถูกใช้งานบนเว็บจึงไม่เกิดความล่าช้ากว่าการใช้โปรแกรมบนหน้าต่างเดสก์ท็อปแต่อย่างใด

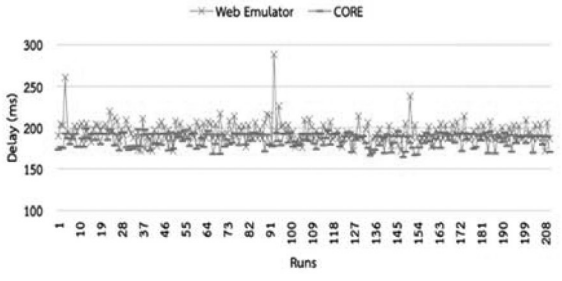


Figure 5 Processing delay between CORE and Web Emulator

เมื่อประเมินประสิทธิภาพระหว่าง CORE และ Web Emulator แยกตามคำสั่งที่ประกอบด้วย ps, tc iproute, ifconfig, arp, iptables และ ipset ดังแสดงใน (Figure 6) ซึ่งถูกเรียกใช้ผ่านหน้าต่างหลัก โดย CORE มีค่า Delay อยู่ที่ 185.94±2.81, 185.49±3.14, 185.89± 2.91, 186.02±2.46, 182.72±3.43 184.64±3.07 และ 185.31 ± 2.91 ms ตามลำดับ ส่วน Web Emulator จะมี Delay อยู่ที่ 200.60±5.11, 191.13±4.10, 197.37±3.64, 198.37±7.26, 189.17±3.58, 194.70±4.17 และ 193.03±3.11 ms ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการเรียกใช้คำสั่งต่าง ๆ ใน VM ยังมีค่า Delay ต่ำกว่า 20 ms มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจากการเรียกใช้จากหน้าต่าง Web Emulator เมื่อเทียบกับ CORE

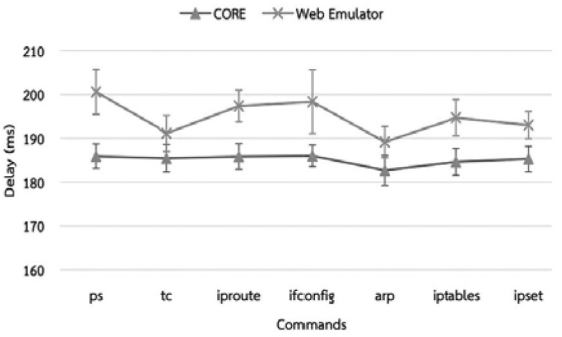


Figure 6 CORE and Web Emulator delay of the different unix commands

(Figure 7) แสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของการ Delay เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้ Web Emulator จาก 1, 10, 20 และ 30 คน โดยค่า Delay อยู่ที่ 240.6±7.7, 294.5±13.0, 297.6±13.3 และ 328.1±15.7 ms ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการเพิ่ม Delay เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้มีอัตรา Delay เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

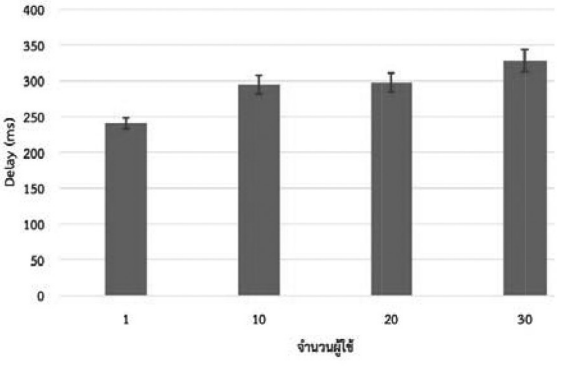


Figure 7 WebTerm delay

ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องคอมพิวเตอร์ทดสอบ

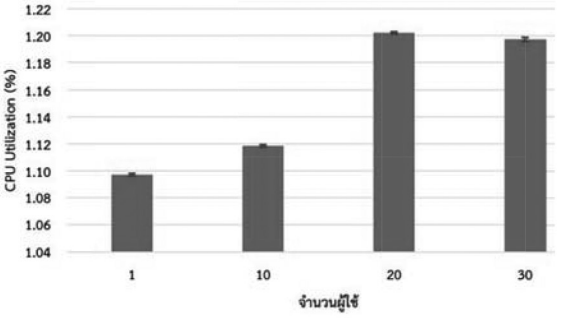


Figure 8 CPU utilizations

การประเมิน Utilization ดัง (Figure 8) พบว่าการใช้ซีพียูของเครื่องทดลองถูกใช้ไม่เกินร้อยละ 2 และจำนวนผู้ใช้ที่ทดสอบประกอบด้วย 1, 10, 20 และ 30 คน มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.10±0.0009, 1.12±0.0008, 1.20±0.0007 และ 1.20±0.001 ms ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนโหนด

ทางเครือข่ายมีอัตราการใช้ซีพียูเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่ส่งผลกระทบให้สมรรถนะของเครื่องทดลองลดลง

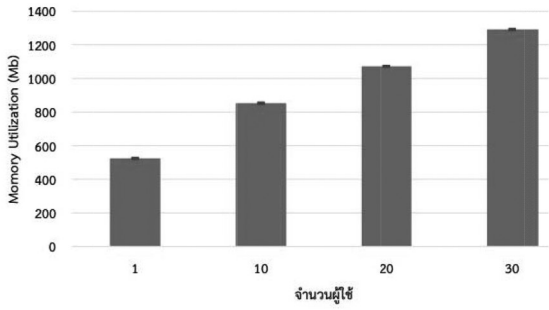


Figure 9 Memory utilizations

(Figure 9) แสดง Memory Untilization จากการทดลองเพิ่มจำนวนผู้ใช้จาก 1, 10, 20 และ 30 คน เพื่อสังเกตสมรรถนะของการจัดการ Memory ซึ่งจากการทดลองมีสัดส่วนการใช้ Memory อยู่ที่ 524.7±1.4, 853.2±1.7, 1072.7±0.8 และ 1292.2±1.5 ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มจำนวน VM ส่งผลให้ Memory ถูกใช้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะ

สรุปและอภิปรายผล

การทดลองเครือข่ายเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยให้เกิดความเข้าใจในหลักการของเครือข่าย เครื่องมือที่ใช้ทดลองกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่จะใช้สำหรับการเรียนรู้ เช่น สำหรับนักเรียน นักศึกษา สำหรับกลุ่มนักวิจัยเครือข่าย เป็นต้น ความเหมือนจริงและความแม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้เกิดความเข้าใจต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ในระบบเครือข่ายได้ ก่อนหน้านี้การใช้ Simulation ถูกใช้อย่างกว้างขวาง เช่น OPNET NS2 และ NS3 และการใช้อุปกรณ์เครือข่ายจริงมีราคาสูงและยากต่อการจัดการ Emulation จึงมีบทบาทสำคัญที่จะตอบสนองทั้งการทดสอบแบบ test-bed และใช้เครือข่ายจริง แต่ก่อนหน้านี้ Emulation เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้แบบเดี่ยว เช่น CORE Mininet และ อื่น ๆ การใช้ในลักษณะแบบกลุ่มทำได้ยาก งานวิจัยนี้จึงพัฒนาหน้าต่างสำหรับทดลองทางเครือข่ายที่ทำงานบนเว็บ ช่วยให้การศึกษาและทดลองด้านเครือข่ายทำได้เร็วขึ้น เหมาะกับการนำไปใช้เพื่อการเรียนการสอน และการทดลองสำหรับนักวิจัยเป็นกลุ่ม การพัฒนาระบบนี้ใช้ การต่อยอดจากโปรแกรม CORE ในการจัดการ VM และใช้ Node.js พัฒนาเป็นหน้าต่าง Web Emulator และทำงานแบบ RESTFul ซึ่งโปรแกรม Web Emulator ถูกพัฒนาเป็นโอเพ่นซอร์สและดาวน์โหลดได้จาก https://github.com/thongchaic/WebEmu.git โดยโปรแกรมสามารถตอบสนองต่อผู้ใช้แบบ Real-time จากการทดลองทั้งในแง่ของการตอบสนองต่อผู้ใช้ และสมรรถนะในการรองรับผู้ใช้จำนวนมาก โดย Web Emulator จากงานวิจัยนี้ มีค่า Delay อยู่ระหว่าง 194.9±1.7 ms แตกต่างจากการใช้ CORE ต่ำกว่า 20 ms ได้

ในอนาคตมีแนวคิดที่จะพัฒนาหน้าต่างที่มีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นให้ทัดเทียมกับโปรแกรม CORE เช่น การสร้างเครือข่ายจากหน้าต่างโปรแกรม การกำหนดการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เครือข่ายได้ และการแสดงผลแบบสามมิติได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

เอกสารอ้างอิง

1. Breslau L, Estrin D, Fall K, Floyd S, Heidemann J, Helmy A, et al. Advances in network simulation. Computer. 2000 May;33(5):59–67.
2. Millman E, Arora D, Neville S. STARS: A Framework for Statistically Rigorous Simulation-Based Network Research. In Biopolis, Spain; 2011. p. 733–739.
3. PlanetLab [Internet]. 2007 [cited 2016 Jan 10]. Available from: https://www.planet-lab.org/about
4. Koizumi M, Ebata T, Tsutsumi T, Ohshima K, Terada M. Design and Implementation of Scalable Distributed Wireless Network Emulator for High-Speed Mobility. In Bali; 2012. p. 302–307.
5. Duggirala V, Varadarajan S. Open Network Emulator: A Parallel Direct Code Execution Network Simulator. In Zhangjiajie; 2012. p. 101–110.
6. Cong J, Wang Z, Jia Y. WINPLEM: A Windows-Based Packet-Level Network Emulator. In Wuhan; 2010. p. 1–6.
7. Ahrenholz J. Comparison of CORE Network Emulation Platforms. In San Jose, California, USA; 2010. p. 166–171.
8. Mininet Team. Mininet: An Instant Virtual Network on your Laptop [Internet]. 2016 [cited 2016 Jan 12]. Available from: http://mininet.org/
9. Cloonix team. Cloonix [Internet]. 2016 [cited 2016 Jan 20]. Available from: http://www.cloonix.fr/
10. Battista G, Patrignani M, Pizzonia M, Rimondini M. Netkit [Internet]. 2011 [cited 2016 Jan 12]. Available from: http://wiki.netkit.org/index.php/Main_Page

11. Cetušić G, Mikuc M, Salopek D, Vasić V, Zec M. Integrated Multiprotocol Network Emulator/Simulator [Internet]. 2015 [cited 2016 Jan 10]. Available from: http://imunes.net/
12. LXC team. Linux Containers [Internet]. 2014 [cited 2016 Jan 7]. Available from: https://linuxcontainers.org
13. KVM team. Kernel Virtual Machine [Internet]. 2015 [cited 2016 Jan 7]. Available from: http://www.linux-kvm.org/page/Main_Page
14. 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.
15. Linux Foundation. Node.js [Internet]. 2015 [cited 2015 Jul 15]. Available from: https://nodejs.org/
16. Richardson L, Ruby S. RESTful Web Services. O'Reilly Media; 2007.
17. The Network Simulator - ns-2 [Internet]. [cited 2014 May 17]. Available from: http://www.isi.edu/nsnam/ns/
18. Network Simulator 3 [Internet]. [cited 2014 May 17]. Available from: http://www.nsnam.org
19. Cisco System. Packet Tracer [Internet]. 2015 [cited 2016 Jan 7]. Available from: https://www.netacad.com/about-networking-academy/packet-tracer/
20. Open-Access Research Testbed for Next-Generation Wireless Networks [Internet]. 2014 [cited 2016 Jan 10]. Available from: http://www.orbit-lab.org/
21. Haleplidis E, Pentikousis K, Denazis S, Salim J, Meyer D. Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology [Internet]. 2015 Jan. Report No.: 7426. Available from: https://tools.ietf.org/html/rfc7426

การวิเคราะห์ความปลอดภัยและความมั่นคงสำหรับระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย

An Analysis of Safety and Security for Mobile Banking Systems in Thailand

นิภาพร แสงทวี, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

Nipaporn Seangtawee[1], Somnuk Puangpronpitag[2]

Received: 4 February 2016; Accepted: 10 May 2016

บทคัดย่อ

Mobile Banking (m-banking) เป็นบริการธนาคารออนไลน์ผ่านทางแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นทางเลือก ที่ต่างจากระบบธนาคารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (i-banking) ซึ่งใช้โปรแกรมเว็บแอปพลิเคชันผ่านเบราว์เซอร์ เมื่อเทียบกับ i-banking แล้ว m-banking คาดว่าน่าจะมีความปลอดภัยและมั่นคงมากกว่า แต่ยังมีรายงานเกี่ยวกับคดีความด้านการโจมตีระบบธนาคารเพิ่มมากขึ้น ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ดังนั้นงานวิจัยหลายชิ้นก่อนหน้านี้ ได้วิเคราะห์ปัญหาความมั่นคงความปลอดภัยของ i-banking แต่ส่วนใหญ่ยังไม่ได้มุ่งเน้นในส่วนของ m-banking โดยมีเพียงบางส่วนที่ได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับ m-banking แต่ส่วนใหญ่เน้นทางด้านเทคนิคหรือด้านความมั่นคง แต่ยังขาดการสำรวจด้านการจัดการหรือด้านความปลอดภัยของ m-banking และที่สำคัญงานเหล่านั้น ยังไม่ได้วิเคราะห์ในประเด็นที่สำคัญต่อไปนี้คือ: กรณีคดีที่เคยเกิดขึ้น การสังเกตการณ์ในรายละเอียดของการให้บริการจริง การทดลองเพื่อทะลวงระบบ m-banking จากฝั่งของผู้ใช้จริง ดังนั้น บทความนี้จึงเสนอการวิเคราะห์ทั้งด้านความปลอดภัยและความมั่นคงของระบบ m-banking โดยครอบคลุมประเด็นสำคัญที่กล่าวไปแล้ว จากการตรวจสอบธนาคาร 6 แห่งในประเทศไทย ได้พบจุดอ่อนของระบบ m-banking หลายอย่าง โดยผลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นทิศทางและแนวทางในการปรับปรุงความปลอดภัยและความมั่งคงของระบบ m-banking ต่อไป

คำสำคัญ: ธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือ ความปลอดภัย ความมั่นคง วิศวกรรมสังคม

Abstract

Mobile banking (m-banking) is an online banking service via a smartphone application. It is an alternative to internet banking (i-banking), which uses a web based application via a web browser. In comparison to i-banking, m-banking has been seen as safer and securer. However, several bank-hacking crimes have been reported during the last few years. So, several previous studies analyzed the i-banking security/safety issues. Yet, most of them have not yet focused on m-banking. Some of them have investigated m-banking only on the technical (security) merits but not the management (safety) side. Significantly, most of them have not yet analyzed according to the following critical points occurred crime cases, detailed observation on the real services, experiments to break the real mobile banking systems on the user side. Hence, in this paper, we propose to analyze both safety & security and cover all the aforementioned significant points. By investigating six banks in Thailand, we have found several weaknesses of the m-banking systems. The contribution from this work can provide direction to improve the security and safety of the m-banking systems.

Keyword: Mobile Banking, Safety, Security, Social Engineer

---

[1] นิสิตปริญญาโท, [2]อาจารย์, กลุ่มวิจัยความมั่นคงสารสนเทศและเครือข่ายชั้นสูง, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1] Master's degree student, [2]Lecturer, Information Security and Advanced Network Group, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

** Corresponding author: Somnuk Puangpronpitag, ISAN Research Group, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. somnuk.p@msu.ac.th*

บทนำ

จากเดิมการทำธุรกรรมการเงินจะต้องไปที่สาขาหรือตู้เอทีเอ็ม ซึ่งทำให้เสียเวลาในการเดินทางและการต่อคิว ธนาคารจึงเริ่มนำเทคโนโลยีมาอำนวยความสะดวกให้กับลูกค้า โดยเริ่มมีการใช้ระบบ Internet Banking (i-banking) ผ่านเว็บเบราว์เซอร์บนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน ต่อมาเนื่องจากการใช้สมาร์ทโฟน เริ่มมีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กพกพาสะดวก ธนาคารต่างๆ จึงมีการพัฒนาจาก i-banking มาเป็นระบบ Mobile Banking (m-banking) หรือการทำธุรกรรมการเงินทางธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยใช้งานผ่าน โมบายแอปพลิเคชัน ที่มีการออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งานและมีระบบความปลอดภัยมั่นคงที่สูงขึ้น

ระบบ m-banking ถูกพัฒนาให้มีความปลอดภัยมั่นคงมากขึ้น กว่าการใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพราะระบบจะกำหนดค่าความปลอดภัยจากธนาคารที่พัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งโปรแกรมที่เป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน จะสามารถควบคุมกลไกความมั่นคงปลอดภัยได้ดีกว่า การเขียนโปรแกรมเพื่อรันผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ตัวอย่างเช่น กลไกการบังคับใช้ Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS), การใช้ระบบ Personal Identity Number (PIN) Code, การใช้ระบบ One Time Password (OTP) เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยลดความผิดพลาดของผู้ใช้จากการกรอก URL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ทำให้ลดปัญหาการ Phishing Attack[5] อีกทั้งมีการเติบโตของเครือข่ายการให้บริการอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ขยายจาก 3G ไปสู่ 4G ทำให้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลรวดเร็วขึ้นและระบบเหล่านี้ ยังมีการเข้ารหัสที่สามารถป้องกันการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร Man In The Middle (MITM) Attack ได้ดีกว่าการใช้ Wi-Fi อีกด้วย

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้[1-6] ได้มีการศึกษาปัญหาและทดสอบความปลอดภัยมั่นคงของระบบ i-banking พบว่ายังมีปัญหาคือ อาจถูกดักจับชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านได้ โดยการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร และการจู่โจม HTTPS[5] ด้วยเทคนิควิธี เช่น SSL Sniff และ SSL Strip จากปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลเสียต่อการทำธุรกรรมบนเว็บเบราว์เซอร์ผ่านระบบ i-banking

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยก่อนหน้านี้จำนวนหนึ่ง ที่ได้ทำการศึกษาความมั่นคงของระบบ m-banking ที่น่าจะมีความปลอดภัยมากกว่าระบบ i-banking แต่งานวิจัยเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังเป็นการศึกษาเฉพาะด้านความมั่นคง ซึ่งเน้นด้านเทคนิควิธีแต่ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงการวิจัยด้านความปลอดภัย ทั้งนี้ Schmeh[7] ได้ชี้ให้เห็นว่าความปลอดภัย ซึ่งเป็นด้านการบริหารจัดการ มีความสำคัญไม่น้อยกว่าด้านเทคนิควิธี ซึ่งเป็นด้านความมั่นคงและต้องมีการดูแลควบคู่กันไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้เสนอวิเคราะห์ทั้งด้านความปลอดภัยและความมั่นคงของระบบ m-banking ในกลุ่มลูกค้าบุคคล โดยใช้ธนาคารพาณิชย์ในประเทศไทย 6 แห่ง เป็นกรณีศึกษา โดยทำการสำรวจทั้งสองประเด็น คือ 1) ประเด็นด้านความปลอดภัย (Safety) คือการบริหารจัดการระบบ โดยทำการสังเกตการณ์ขบวนการเปิดบัญชี การสมัครใช้งานระบบ m-banking จนถึงการปิดบัญชี โดยอาศัยข้อมูลคดีความด้าน e-banking ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย เป็นฐานในการวิเคราะห์ 2) ประเด็นด้านความมั่นคง (Security) จะเกี่ยวกับด้านเทคนิควิธี โดยทำการจำลองการโจมตีระบบ m-banking เพื่อทดสอบความมั่นคงและช่องโหว่ในการใช้งาน ในฝั่งของผู้ใช้ รวมทั้งสำรวจผู้ให้บริการเครือข่าย และวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้สมาร์ทโฟนที่อาจเสี่ยงต่อปัญหามัลแวร์ ซึ่งเป็นภัยคุกคามที่สำคัญบนสมาร์ทโฟนแอปพลิเคชัน

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวโน้มของระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือ

การใช้งานระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ ตามการขยายตัวของตลาดสมาร์ทโฟน ซึ่งทาง Juniper Research[8] คาดว่าจำนวนผู้ใช้งานระบบ m-banking จากปี ค.ศ. 2014 จะเพิ่มขึ้นถึง 1.8 พันล้านคน ภายในสิ้นปี ค.ศ. 2019 ดังแสดงใน (Figure 1) ในส่วนของประเทศไทยมีอัตราการเติบโตค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 81.4[9] โดยการทำธุรกรรมการชำระเงินผ่านบริการของระบบ m-banking ได้มีการขยายตัวสูงขึ้นทั้งปริมาณและมูลค่าซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้ใช้บริการที่ใช้อินเทอร์เน็ตและโทรศัพท์เคลื่อนที่[10] อีกทั้งการพัฒนาฟังก์ชันต่างๆ ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

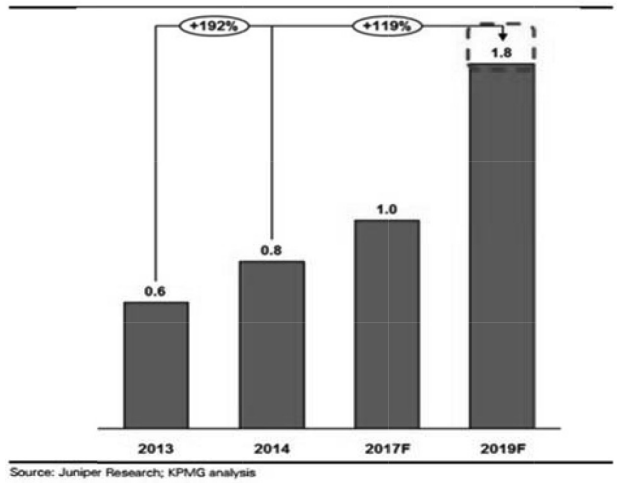


Figure 1 Global mobile banking users[8]

2. Mobile Banking vs. Internet Banking

Mobile Banking คือการทำธุรกรรมผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน มีฟีเจอร์ต่าง ๆ ที่ใช้งานง่าย พกพาสะดวก ใช้งานได้ทุกที่และซอฟต์แวร์ของแอปพลิเคชันจะบังคับใช้โพรโทคอล HTTPS และเทคนิควิธีด้านความมั่นคงหลายอย่าง ซึ่งทำให้ระบบมีความมั่นคงมากขึ้น

Internet Banking คือ การทำธุรกรรมบนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ โดยใช้งานผ่านเบราว์เซอร์ เพื่อเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชันที่ธนาคารพัฒนาขึ้นให้ใช้บริการ โดยในด้านความปลอดภัยมั่นคง ของเบราว์เซอร์อาจจะไม่บังคับใช้ HTTPS เมื่อโดนโจมตีผู้ใช้ต้องกรอกผ่าน URL เป็น https:// และสังเกตรูปกุญแจสีเขียว และต้องจำชื่อ URL ของธนาคาร ซึ่งหากกรอกข้อมูลผิดหรือไม่สังเกตอาจถูกโจมตีหรือถูกแทรกกลางการสื่อสารไปสู่เว็บไซต์ปลอมได้

โดยทั่วไปธนาคารจะให้บริการระบบออนไลน์ (e-banking) ทั้ง 2 แบบคือระบบ i-banking และระบบ m-banking การพัฒนาระบบ m-banking จะรองรับการใช้งานบนสมาร์ทโฟนผ่านทางแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านระบบ GPRS, EDGE, 3G, 4G หรือ Wi-Fi นอกจากนั้น ยังมีการเข้ารหัส HTTPS เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้บริการมากขึ้น และสมาร์ทโฟนยังมีระบบ Triple Lock Security[11] ซึ่งมีความมั่นคงกว่าระบบ i-banking โดยการตรวจสอบหลายชั้น ทั้งรหัสผ่าน รหัส OTP เครื่องโทรศัพท์ และรวมถึงเบอร์โทรศัพท์ผ่านเครือข่ายของผู้ให้บริการเครือข่าย

3. ความปลอดภัย vs. ความมั่นคง

ความปลอดภัย (Safety) หมายถึงกระบวนการบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยของระบบสารสนเทศ เช่น การออกกฎหมาย พรบ. ว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550[12] หรือกฎระเบียบที่ควบคุมการใช้งานระบบสารสนเทศต่าง ๆ รวมไปถึงการมีจรรยาบรรณ ชั้นความลับของข้อมูล ต่างก็เป็นเรื่องของการบริหารจัดการที่จะทำให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ความมั่นคง (Security) หมายถึง เรื่องของเทคนิควิธีที่ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ปลอดภัย เช่น เทคนิคการเข้ารหัสและถอดรหัส เทคนิคการยืนยันตัวตนด้วยการลงลายมือชื่อดิจิทัล หรืออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิควิธี

Schmeh[7] ได้กล่าวว่า ความปลอดภัยและความมั่นคงมีความสำคัญเท่าเทียมกัน โดยจะขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไม่ได้ ทั้งสองส่วนจะต้องได้รับการสนับสนุนให้ดีควบคู่กันไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ระบบ m-banking ทั้งในด้านของความปลอดภัยและความมั่นคง

4. ภัยคุกคามการใช้งานระบบธนาคารออนไลน์

1) ปัญหาการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม

วิธีการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม (Social Engineering) หรือการใช้วิธีทางจิตวิทยาหลอกลวงเหยื่อเพื่อโจมตีระบบ สำหรับการโจมตีระบบ e-banking ได้มีการใช้เทคนิควิธีนี้ จนปรากฏเป็นคดีมากมาย ตัวอย่างเช่นคดีของคุณบุณพจน์ พราหมนก[13] เมื่อปี พ.ศ.2557 มิจฉาชีพได้สร้างหลักฐานปลอมเพื่อขอสมัครเปิดบัญชีธนาคารที่มีชื่อเดียวกันกับเหยื่อ ปลอมเอกสารแจ้งความมือถือหายและปลอมสำเนาใบขับขี่[13] ดัง (Figure 2) เพื่อใช้ในการขอออกซิมใหม่ แต่คุณบุณพจน์ พราหมนก ได้มีการป้องกันโดยแจ้งศูนย์บริการไว้หากมีการแจ้งซิมหายจะต้องแจ้งรหัส 4 ตัวกับเจ้าหน้าที่ก่อนจึงจะสามารถออกซิมใหม่ได้ แต่มิจฉาชีพได้แจ้งซิมหายที่สาขาย่อยของศูนย์บริการ ซึ่งคาดว่าสาขาย่อยนั้น ยังไม่ได้รับแจ้งข้อมูลของการบอกรหัส 4 ตัว จึงออกซิมใหม่เบอร์เดิมให้มิจฉาชีพ

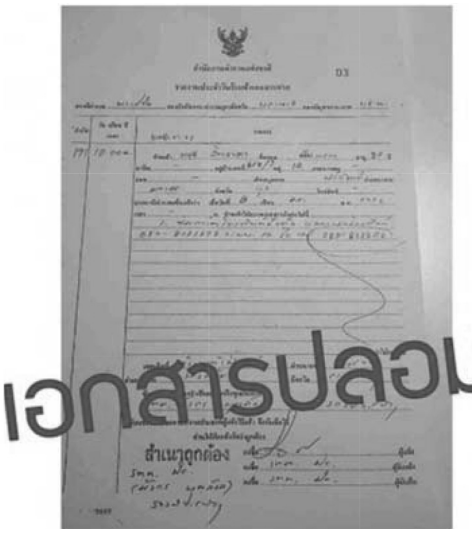


Figure 2 the faked document[13]

จากนั้นมิจฉาชีพก็ทำการเข้าระบบ i-banking โดยใส่ชื่อผู้ใช้ของคุณบุณพจน์ แล้วก็ทำเป็นแจ้งลืม รหัสผ่านเพื่อให้ธนาคารส่งหมายเลข SMS OTP มาทางโทรศัพท์มือถือ แล้วทำการเปลี่ยนรหัสผ่านใหม่และเข้าระบบ i-banking สั่งโอนเงินออกได้เหมือนกับเป็นเจ้าของตัวจริง จากปัญหาดังกล่าวพบว่าผู้ให้บริการเครือข่ายไม่มีมาตรการที่เป็นแนวทางเดียวกันในการขอออกซิมใหม่ของแต่ละค่าย และแต่ละสาขา จึงมีจุดอ่อนที่เป็นช่องโหว่ทำให้มิจฉาชีพใช้วิธีการดังกล่าวในการแอบสวมรอยปลอมเอกสาร ซึ่งงานวิจัยนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ในส่วนนี้ รวมถึงคดีอื่นๆ ที่อาศัยวิธีการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคมเพื่อใช้ในการทดสอบด้านความปลอดภัยของระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบ m-banking ต่อไป

2) วิเคราะห์ปัญหา SMS Spoofing

ในปัจจุบันพบว่ามีการโจรกรรมในรูปแบบส่ง SMS โดยมีมิจฉาชีพแอบส่ง SMS ปลอมหน้าตาเหมือนเบอร์คอลเซ็นเตอร์ของธนาคารหลอกลวงให้เหยื่อคลิกลิงค์เพื่อดาวน์โหลดหรือติดตั้งโปรแกรม จากการตรวจสอบพบว่าในมือถือของผู้เสียหาย มีโทรจันแฝงอยู่ โดยทำหน้าที่แอบส่งชื่อผู้ใช้ รหัสผ่านและ SMS ส่งไปยังคนร้าย จึงทำให้เจ้าของบัญชีตัวจริงที่รอ SMS OTP จากธนาคาร แต่ไม่ได้รับข้อความเพราะ SMS OTP นั้น ถูกมิจฉาชีพขโมยไป ซึ่งแอปพลิเคชันปลอมเบอร์นี้พบบน Play Store และ App Store จากปัญหาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ถึงจะมีการป้องกันความปลอดภัย 2 ชั้น หรือ Two Factor Authentication (2FA) ก็ยังไม่ปลอดภัยจากมิจฉาชีพ

3) วิเคราะห์ปัญหามัลแวร์

จากกรณีข่าวที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2557[14] ธนาคารพาณิชย์หลายแห่ง ได้ประกาศเตือนประชาชน ว่ามีแอปพลิเคชันธนาคารปลอมเกลื่อนบน Play Store โดยแอปพลิเคชันดังกล่าว ไม่ได้พัฒนาจากทางธนาคาร โดยได้แจ้งไปยังกูเกิ้ล ให้ถอดแอปพลิเคชันปลอมออกจาก Play Store และก่อนดาวน์โหลดให้สังเกตชื่อของธนาคารผู้พัฒนา เช่น ธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน) ชื่อผู้พัฒนาคือ Krung Thai Bank PCL. ซึ่งผู้ใช้งานต้องสังเกตชื่อนักพัฒนาจะต้องเป็นชื่อธนาคารนั้นๆ ไม่ใช่ชื่อนักพัฒนารายอื่นอย่างเช่น Scientifika Media ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันปลอม โดยมีมัลแวร์แอบแฝงเพื่อขโมยข้อมูลในสมาร์ทโฟน จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จะนำไปวิเคราะห์ในด้านการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนที่ส่งผลต่อปัญหามัลแวร์ ว่าเข้าใจปัญหาและทราบแนวทางในการป้องกันตนเองจากมัลแวร์หรือไม่

นอกจากคดีข้างต้นแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ใช้คดีอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการทำธุรกรรมออนไลน์ โดยได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากฝ่ายคดีเทคโนโลยีสารสนเทศ กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

5. ความมั่นคงของระบบ m-banking

1) Triple Lock Security

Triple Lock Security[6] เป็นระบบความมั่นคงปลอดภัยที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อป้องกันการเข้าใช้งานจากกลุ่มบุคคลผู้ไม่หวังดี ทั้งจากการโจรกรรมข้อมูลของกลุ่มแฮกเกอร์หรือการนำเอารหัสผ่านไปใช้ในการทำธุรกรรม ซึ่งเทคโนโลยี Triple Lock Security นี้ ระบบจะมีการตรวจสอบข้อมูลทั้ง 3 ชั้น เช่น 1) ล็อกด้วยหมายเลขมือถือจากผู้ให้บริการเครือข่าย 2) ล็อกด้วย ID ของเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้งาน เมื่อเปิดการใช้งานระบบก็จะรู้ว่าเป็นเครื่องนั้นที่ใช้งานจริง จึงปลอมแปลงค่อนข้างยาก 3) ล็อกรหัสผ่าน 6 หลัก ดังนั้นจึงเป็นความแตกต่างระหว่างการทำธุรกรรมบนระบบ m-banking และระบบ i-banking ที่มีระบบล็อกหลายชั้น ซึ่งการทำธุรกรรมบนระบบ i-banking ที่ผ่านเบราว์เซอร์ จะใช้เพียงชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านจึงทำให้การใช้งานผ่านแอปพลิเคชันมีความมั่นคงปลอดภัยสูงขึ้นมากกว่า เทคโนโลยี Triple Lock Security ระบบ m-banking นั้นสามารถสร้างระบบความมั่นคง ได้หลายชั้นกว่านั้นก็ได้ เช่น อาจเป็น 4 หรือ 5 ชั้นก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนา สมาร์ทโฟนแอปพลิเคชัน ของแต่ละธนาคาร ซึ่งต่างจากการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ของธนาคารที่ใช้งานผ่านระบบ i-banking ที่ต้องพัฒนาโปรแกรมที่มารัน อยู่บนเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งมีข้อจำกัดบนสมาร์ทโฟนแอปพลิเคชัน

2) Two Factor Authentication (2FA)

2FA คือการเพิ่มระบบรักษาความปลอดภัยในการใช้บริการอิเล็กทรอนิกส์แบงก์กิ้ง โดยการเพิ่มขั้นตอนที่จะต้องทำการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของบัญชีอีก 1 ขั้นนอกเหนือไปจากการมีชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านเข้าใช้งาน ในกรณีของธนาคารผู้ให้บริการธุรกรรมการเงินผ่านโทรศัพท์มือถือมักเลือกใช้ระบบ OTP เป็นมาตรการความปลอดภัย ซึ่ง OTP จะมีลักษณะเฉพาะ มีการเปลี่ยนแปลงรหัสทุกครั้งไม่ซ้ำเดิมและเมื่อถูกใช้ไปแล้ว ก็จะไม่สามารถใช้งานได้อีก จึงช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น จากการถูกเจาะขโมยข้อมูลรหัสผ่าน ที่อาจกระทำได้โดยง่าย หากใช้รหัสผ่านเพียงอย่างเดียว สำหรับระบบ m-banking จะตรวจสอบหมายเลขโทรศัพท์มือถือและหมายเลข IMEI ของเครื่องโทรศัพท์มือถือมาเป็นปัจจัยในการยืนยันตัวตนเพิ่มอีก ดังนั้นจึงมีโอกาส มีความมั่นคงมากขึ้น เพราะเป็น Multiple Factor Authentication มากกว่า 2 ชั้น

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีงานวิจัยก่อนหน้านี้จำนวนมากที่ทำการศึกษาความปลอดภัยมั่นคงของระบบ i-banking เช่น ธนพล พุกเส็ง และศิรปัฐช์ บุญคลอง[6] ได้นำเสนอการรักษาความปลอดภัยการใช้งานระบบ i-banking ธนาคารพาณิชย์ไทยสำหรับกลุ่มลูกค้าบุคคล Park และคณะ[1] ได้ทำการวิเคราะห์วิธีรับรองความถูกต้องสำหรับธนาคารที่ให้บริการเครือข่ายแก่สมาร์ทโฟนในประเทศเกาหลี พัฒนรัฐ พุดหล้าและสมนึก พ่วงพรพิทักษ์[5] ได้ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงและปลอดภัยของระบบอินเทอร์เน็ตแบงก์กิ้งในประเทศไทย Rachana[4] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของธนาคารในประเทศไทย และธนาคารในประเทศกัมพูชา Subsorn และคณะ[15] ได้ตรวจสอบความปลอดภัยของระบบ i-banking ใน 16 ธนาคารของประเทศออสเตรเลีย โดยงานวิจัยเหล่านี้ได้พบจุดอ่อนของระบบ i-banking ที่เป็นการใช้โปรแกรมธนาคารผ่านเว็บเบราว์เซอร์

ว่าสามารถโจมตีด้วยวิธีการแทรกกลางการสื่อสารได้ค่อนข้างง่าย และเนื่องจากมีข้อจำกัดของ เว็บโปรแกรมมิ่ง หลายอย่างในการเสริมสร้างความมั่นคงซึ่งระบบ m-banking ที่เป็นโมบายแอปพลิเคชันน่าจะมีข้อจำกัดด้านนี้น้อยกว่า แต่งานวิจัยเหล่านี้ยังไม่ได้ศึกษาความปลอดภัยและมั่นคงของระบบ m-banking ซึ่งเป็นตัวเลือกใหม่แต่อย่างไร

มีบางงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบ m-banking อยู่บ้าง เช่น ACIS Research LAB[16] ได้วิเคราะห์ความมั่นคงของธนาคารในประเทศไทยทั้งระบบ i-banking และระบบ m-banking สุวรรณี ธูปจีนและคณะ[17] ได้เสนอวิธีการตรวจจับพฤติกรรมของมัลแวร์ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างของสายพันธุ์มัลแวร์บางสายพันธุ์ที่สามารถตรวจพบได้บนสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ Islam[3] ได้สำรวจความมั่นคงของระบบ m-banking และระบบการชำระเงินออนไลน์ Filiol และ Iroll[2] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการรักษาความมั่นคงระบบ m-banking และแอปพลิเคชันมือถืออื่นๆ โดยเปรียบเทียบการรักษาความมั่นคงของธนาคารตะวันตกและธนาคารเอเชีย พบว่าธนาคารเอเชียมีความปลอดภัยสูงกว่าธนาคารตะวันตก ซึ่งมีวิธีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลโดยใช้โพรโทคอล SSL ที่ใช้สื่อสารข้อมูลระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ การใช้โพรโทคอล HTTPS จะทำให้ไม่สามารถโจมตีแบบแทรกกลางการสื่อสารได้และการใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือจะมีการตรวจสอบข้อมูลผ่านหมายเลข IMEI, MAC Address, หมายเลขโทรศัพท์มือถือ จะเห็นได้ว่าการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันของธนาคารบนโทรศัพท์มือถือจะมีความปลอดภัยกว่าการใช้งานผ่านบราว์เซอร์บนคอมพิวเตอร์ Jiraporn และคณะ[18] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของระบบ m-banking ในเขตกรุงเทพมหานครและเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ โดยทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจผลกระทบของปัจจัยต่างๆ เพื่อรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ ระบบ m-banking เพื่อเป็นแนวทางให้ธนาคารดึงดูดลูกค้ามากขึ้นและเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระบบ m-banking จากต่างประเทศ พบว่าปัจจัยบวกที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ระบบ m-banking มากกว่าปัจจัยลบ Baraka และคณะ[19] ได้นำเสนอแบบจำลองการรักษาความปลอดภัยมั่นคงของระบบ m-banking ในสหสาธารณรัฐแทนซาเนีย โดยได้เสนอการเข้ารหัส SMS ระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อให้มีความปลอดภัยมากขึ้นกว่าการรับ SMS จากเบอร์โทรศัพท์โดยตรง ซึ่งงานวิจัยกลุ่มนี้ ได้นำเสนองานวิจัยด้านปัญหาความมั่นคงเกี่ยวกับระบบ m-banking ซึ่งเน้นทางด้านเทคนิคเท่านั้น ยังขาดการสำรวจด้านการจัดการ หรือด้านความปลอดภัยของระบบ m-banking ที่สำคัญงานเหล่านั้นยังขาดการสังเกตการณ์จากกรณีจริง การศึกษาวิเคราะห์กรณีคดีการโจมตีระบบธนาคารที่เกิดก่อนหน้านี้ และการทดลองทดสอบการโจมตีจากฝั่งของผู้ใช้จริง

ดังนั้นบทความนี้จึงทำการวิเคราะห์ระบบ m-banking ทั้งด้านความมั่นคงและความปลอดภัย และครอบคลุมประเด็นที่ขาดไปที่ได้กล่าวไว้ในขั้นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอการวิเคราะห์ความปลอดภัยและความมั่นคงระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือของธนาคารพาณิชย์ในประเทศไทยในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป โดยเลือกกรณีศึกษาเป็นระบบ m-banking ของ 6 ธนาคาร ดังนี้ 1) K-Mobile Banking PLUS ของธนาคารกสิกรไทย 2) KTB netbank ของธนาคารกรุงไทย 3) SCB Easy Net ของธนาคารไทยพาณิชย์ 4) TMB Touch ของธนาคารทหารไทย 5) Bualuang mbanking ของธนาคารกรุงเทพ 6) Krungsri Mobile ของธนาคารกรุงศรีอยุธยา โดยเลือกจากธนาคารที่ก่อตั้งในประเทศไทยที่มีระยะเวลายาวนานที่มีคนนิยมใช้มากที่สุดในการวิเคราะห์และสำรวจ ได้ทำในช่วงวันที่ 1-31 ธันวาคม พ.ศ. 2558 โดยการแสดงผลการวิเคราะห์จะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ A - F แทนชื่อธนาคารที่เป็นกรณีศึกษา โดยไม่ได้เรียงจากอันดับที่ 1-6 เพื่อป้องกันการเปิดเผยจุดอ่อนของธนาคารที่เป็นกรณีศึกษาแบบเฉพาะเจาะจง อาจเป็นการชี้ช่องทางแก่มิจฉาชีพ

ซึ่งงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ระบบ m-banking ทั้งด้านความปลอดภัยและด้านความมั่นคง รวมทั้งสำรวจผู้ให้บริการเครือข่าย และวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้สมาร์ทโฟนที่อาจเสี่ยงต่อปัญหามัลแวร์ โดยในการทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้บัญชีธนาคาร ซิมการ์ด และอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของทีมวิจัยในการทดลอง เพื่อไม่เป็นการกระทำผิดต่อกฎหมายต่อผู้อื่น โดยรายละเอียดต่างๆ แบ่งเป็นด้านดังนี้

1) ด้านความปลอดภัยของระบบ m-banking

มีประเด็นที่มาใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ 1) การเปิดบัญชีธนาคาร 2) การสมัครใช้งานระบบ m-banking 3) การล็อกอินเข้าสู่ระบบ 4) การรีเซตข้อมูล 5) การเปลี่ยนเบอร์มือถือ 6) ลักษณะของ OTP 7) การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต 8) มาตรการด้านความปลอดภัยอื่นๆ 9) การยกเลิกการใช้บริการระบบ m-banking 10) การปิดบัญชี

โดยจะนำประเด็นที่กำหนดไปใช้ในการสำรวจและวิเคราะห์ลักษณะการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม ที่คนร้ายมักใช้เป็นส่วนใหญ่จากคดีความที่เคยเกิดขึ้น เช่น การสร้างหลักฐานปลอมเพื่อขอเปิดบัญชีธนาคารที่มีชื่อเหมือนกันกับ

เหยื่อ แล้วทำการสวมรอยขโมยเงินในบัญชี เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับคดีต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย แล้วทำการทดลองเปิดบัญชีและสังเกตการณ์สมัครใช้งานจริงเพื่อนำมาวิเคราะห์ในด้านความปลอดภัย

2) ด้านความมั่นคงของระบบ m-banking

ประเด็นที่นำมาวิเคราะห์ด้านความมั่นคงผู้วิจัยได้ศึกษามาจากภัยคุกคามระบบ m-banking ซึ่งมีหลากหลายเทคนิคในการโจมตี แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกเทคนิควิธีที่แฮกเกอร์นิยมใช้เจาะระบบมากที่สุด ในช่วง 3 - 4 ปีที่ผ่านมา โดยได้ทำการทดสอบมาตรการความมั่นคงของระบบ ด้วยโปรแกรมที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการโจมตีแบบแทรกกลางการสื่อสาร ในการดักจับข้อมูล โดยจะทำการทดสอบการโจมตีบนแพลตฟอร์มของ iOS และแอนดรอยด์โดยเครื่องมือที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1) เครื่องผู้จู่โจม (Attacker) : Intel(R) Core(TM) i7-4702MQ CPU@2.20GHz

2) ซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในการจู่โจมและดักจับข้อมูล
- Cain & Abel v4.9.56
- Kali Linux v1.1.0a
- Wireshark v1.12.4

3) ด้านความปลอดภัยของผู้ให้บริการโมบายซิม

จากข่าวคดีความ เรื่องการขอออกซิมโทรศัพท์มือถือใหม่ จนนำไปสู่การจู่โจมระบบธนาคาร ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบ ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ 3 ราย คือ TRUE, DTAC, AIS ในขั้นตอนการขอออกซิมใหม่ การขอเปลี่ยนซิม เพื่อหาจุดอ่อนและช่องโหว่ของเจ้าหน้าที่ ซึ่งทำให้มิจฉาชีพอาจแอบสวมรอย ดังที่เป็นข่าว[20] โดยทีมวิจัยได้ทดลองใช้เบอร์โทรศัพท์ของตนในการทดลอง เพื่อหลีกเลี่ยงการกระทำผิดกฎหมาย

4) ด้านการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้สมาร์ทโฟน

มัลแวร์เป็นภัยคุกคามสำคัญสำหรับโมบายแอปพลิเคชัน และระบบ m-banking ดังที่ได้กล่าวไว้ในหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้[16,17] ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ออกแบบสอบถามเพื่อสำรวจพฤติกรรมของผู้ใช้งานสมาร์ทโฟน เพื่อศึกษาพฤติกรรมกับความเสี่ยงต่อภัยมัลแวร์ โดยประชากรคือ กลุ่มคนที่อาจเป็นลูกค้าของ ระบบ m-banking ซึ่งในงานวิจัยนี้นิยามไว้เป็นกลุ่มผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะมีความสามารถในการใช้ระบบ m-banking ได้ต่อไป และมีอายุ 15 ปีขึ้นไป ซึ่งเป็นอายุที่สามารถสมัครเปิดบัญชีธนาคารได้ การสุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย โดยการใช้แบบสอบถามที่กรอกผ่านระบบออนไลน์ โดยได้มีผู้ตอบแบบสอบถามและมีคุณสมบัติใช้ได้ ทั้งหมด 481 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัยเชิงสำรวจครั้งนี้ เป็นการใช้แบบสอบถามปลายปิด ที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาและภาษาที่ใช้ Index of item Object Congruence (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ท่าน คือผู้อำนวยการฝ่ายเครือข่ายของธนาคารแห่งหนึ่ง พนักงานสอบสวนชำนาญการฝ่ายคดีเทคโนโลยีสารสนเทศและผู้เชี่ยวชาญ

ผลการดำเนินงาน

1) ผลด้านความปลอดภัยระบบ m-banking

Table 1 Documents for opening a bank account

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
1. Opening bank account						
1.1 Citizen identity card	/	/	/	/	/	/
1.2 Driving license & House record document	/			/	/	/
1.3 Civil service ID & House record document	/	/	/	/	/	/
1.4 Passport (in the case of foreigners)	/	/	/	/	/	/

จาก (Table 1) พบว่าในการเปิดบัญชีทุกธนาคารจะต้องใช้บัตรประชาชนในการยืนยันตัวตน มี 2 ธนาคารที่ไม่อนุญาตให้ใช้ใบอนุญาตขับรถและทะเบียนบ้าน และทุกธนาคารจะอนุญาตให้ใช้บัตรข้าราชการแต่ต้องยื่นควบคู่กับสำเนาทะเบียนบ้าน จะเห็นได้ทุกธนาคารจะให้ความสำคัญ ในการตรวจสอบหลักฐานที่ใช้ในการสมัคร แต่การให้บริการของแต่ละธนาคารไม่เป็นรูปแบบเดียวกัน ขาดมาตรฐานในการตรวจสอบการให้บริการของเจ้าหน้าที่ เนื่องจากมีข่าวที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว[13] โดยมิจฉาชีพอาศัยช่องโหว่ในการตรวจสอบเอกสาร ของเจ้าหน้าที่เข้าสวมรอยเปิดบัญชีธนาคาร โดยการใช้หลักฐานปลอม ซึ่งมีงานวิจัยในต่างประเทศ[4] พบว่ามีวิธีการที่รัดกุมกว่า โดยพนักงานจะต้องผ่านการฝึกอบรมการตรวจเอกสารก่อน ดังนั้นธนาคารควรมีมาตรการที่เป็นแนวทางเดียวกัน และเพิ่มวิธีการยืนยันตัวตนที่เฉพาะเจาะจง เช่น การแสกนลายนิ้วมือ

Table 2 How to apply for m-banking

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
2. Applying for mobile banking						
2.1 applying at a bank branch	/	/	/	/	/	/
2.2 applying via a smartphone application				/		/
2.3 applying via an ATM machine	/	/	/	/	/	

จาก (Table 2) พบว่ามี 2 ธนาคารที่สามารถสมัครผ่านแอปพลิเคชันได้ และมี 5 ธนาคารที่จะต้องขอรหัสสมัครบริการจากตู้ ATM เพื่อใช้ยืนยันในการสมัครใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งการสมัครใช้งานผ่านตู้ ATM จะเป็นมาตรการรักษาความปลอดภัยขั้นสูงของธนาคาร ที่ใช้ยืนยันตัวตนความเป็นเจ้าของบัญชี แต่ละธนาคารมีวิธีที่แตกต่างกัน พบว่า ธนาคาร A จะต้องขอรหัสยืนยันจากตู้ ATM ก่อนติดตั้งและมีการยืนยันตัวตนผ่าน VDO Call เพื่อป้องกันการสวมรอย ธนาคาร D กรอกข้อมูลบัตร ATM ก็สมัครได้ไม่มีการยืนยันจากตู้ ATM ธนาคาร E จะต้องขอรหัสยืนยันจากตู้ ATM ก่อนติดตั้ง ธนาคาร F กรอกข้อมูลบัตร ATM ก็สมัครได้ไม่มีการยืนยันจากตู้ ATM แต่จะใช้คู่กับเลขที่สมุดบัญชี จะเห็นได้ว่าธนาคาร A, D, E, F ไม่ได้ผูกติดกับเบอร์โทรศัพท์แต่หากสมัครด้วยตนเองจะต้องใช้คู่กับบัตร ATM และสมุดบัญชี ซึ่งมี 2 ธนาคารที่มีจุดเด่นต่างจากธนาคารอื่นที่ผูกติดกับเบอร์โทรศัพท์คือ ธนาคาร B จะกำหนดให้ใช้ 1 บัญชีสามารถใช้งานกับ 1 เบอร์โทรศัพท์เท่านั้น และธนาคาร C หากต้องการใช้งานในเครื่องอื่น หมายเลขอื่น จะต้องทำการอนุญาตขอเพิ่มอุปกรณ์ในการเข้าใช้งาน จะต้องขออนุญาตโดยใช้รหัส OTP จากเครื่องหลักเพื่อยืนยันการเพิ่มอุปกรณ์ ซึ่งข้อจำกัดที่เพิ่มมานี้ โดยการผูกระบบ m-banking ไว้ที่เครื่องโทรศัพท์มือถือจะทำให้ระบบมีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะการจะเข้าใช้งานต้องมีการยืนยันตัวตนด้วยการเป็นเจ้าของเบอร์โทรศัพท์มือถือนั้นจริง หรือถือครองโทรศัพท์ที่ติดตั้งระบบ m-banking เท่านั้น ดังนั้นแม้ว่า แฮกเกอร์จะทราบรหัส PIN หรือ รหัสผ่าน ก็ไม่สามารถเข้าใช้งานได้ จะต้องทำการขโมยโทรศัพท์มือถือหรือเบอร์โทรศัพท์ของลูกค้าด้วย จึงจะเข้าใช้งานได้ ดังนั้นในการสมัครใช้งานของระบบ m-banking จะเห็นได้ว่ามีความปลอดภัยมากกว่าระบบ i-banking เพราะมีการใช้อุปกรณ์สมาร์ทโฟนในการติดตั้ง พร้อมทั้งต้องยืนยันการสมัครผ่านระบบ OTP อีกด้วย

Table 3 Login features

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
3. Login Features						
3.1 Access to the system by using a PIN lock		/	/		/	
3.2 Limit login of the PIN Lock		3	3		3	
3.3 Access to the system by using username & password	/			/		/
3.4 Limit login of the username & password	3			3		3

จาก (Table 3) มี 3 ธนาคารที่เข้าสู่ระบบด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน และมี 3 ธนาคารที่เข้าสู่ระบบด้วย PIN ซึ่งในการใส่รหัส PIN ก็เหมือนการใส่รหัสบัตร ATM ในการทำธุรกรรมทางการเงิน ซึ่งแตกต่างจากระบบ i-banking ที่ไม่สามารถเข้าสู่ระบบด้วย PIN ได้จะใช้เพียงชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเท่านั้น ดังนั้นจึงยากต่อการคาดเดาของมิจฉาชีพ นอกจากนั้นยังมีระบบที่จำกัดจำนวนครั้งในการล็อกอิน หากป้อนข้อมูลผิดเกินจำนวนครั้งที่กำหนด ชื่อผู้ใช้จะถูกล็อกทันที ซึ่งจะเห็นว่าการเข้าสู่ระบบด้วย PIN มีความปลอดภัยสูงกว่าเพราะถ้ามิจฉาชีพมีชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน ก็สามารถเข้าไปทำธุรกรรมผ่านระบบ i-banking ได้

Table 4 Resetting Username/Password or PIN

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
4. Resetting Username/Password or PIN						
Resetting username if forget						
4.1 Reset at a bank branch	/			/		
4.2 Reset via a call center				/		/
Resetting password if forget						
4.3 Reset at a bank branch	/			/		
4.4 Reset via a call center				/		
4.5 Reset via a smartphone application	/			/		/
4.6 Reset at an ATM machine	/					
Resetting PIN if forget						
4.7 Reset via a call center			/		/	
4.8 Reset via a smartphone application			/		/	
4.9 Reset at an ATM machine		/	/			

จาก (Table 4) มี 3 ธนาคารที่รีเซตชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน คือ ธนาคาร A หากมีการลืมชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน จะไม่สามารถรีเซตผ่านคอลเซ็นเตอร์ได้ เพื่อป้องการแอบสวมรอย ธนาคาร D สามารถรีเซตผ่านคอลเซ็นเตอร์ได้ และคำถามที่ใช้ยืนยันเฉพาะเจาะจงตัวบุคคล มีการส่งข้อมูลทางอีเมล์ ซึ่งอาจถูกดักจับข้อมูลได้ ธนาคาร F สามารถรีเซตชื่อผู้ใช้ผ่านคอลเซ็นเตอร์ได้ แต่การรีเซตรหัสผ่าน จะต้องดำเนินการผ่านแอปพลิเคชัน จะเห็นได้ว่าจะมีการรีเซตที่แตกต่างกัน และมีการป้องกันการแอบสวมรอยจากบุคคลอื่น และเจ้าหน้าที่ และมี 3 ธนาคารที่รีเซตรหัส PIN ธนาคาร B รีเซตผ่านผ่านตู้ ATM เท่านั้น ธนาคาร C รีเซตผ่านคอลเซ็นเตอร์ แล้วส่งข้อมูลทาง SMS เพื่อทำการรีเซตผ่านแอปพลิเคชันด้วยตนเอง และรีเซตผ่านตู้ ATM ส่งข้อมูลการรีเซตผ่านทาง SMS ธนาคาร E รีเซตผ่านคอลเซ็นเตอร์และผ่านแอปพลิเคชัน จะเห็นได้ว่าแต่ละธนาคารมีวิธีการป้องกันความปลอดภัยที่แตกต่างกัน และในการรีเซตข้อมูลจะต้องใช้ควบคู่กับบัตร ATM และเบอร์โทรศัพท์ ในการรีเซต

ซึ่งในการรีเซตผ่านสาขาเจ้าหน้าจะให้นำสมุดบัญชีและบัตรประชาชนยืนยันตัวตนก่อนทำรายการ แต่ต้องระวังการแอบอ้างสวมรอยโดยใช้เอกสารปลอม และมีช่องโหว่ระหว่างการส่งข้อมูล ซึ่งธนาคาร B จะส่งข้อมูลมาให้ลูกค้าทางอีเมล์ซึ่งทำให้ถูกดักจับข้อมูลได้ และการรีเซตผ่านคอลเซ็นเตอร์อาจเป็นช่องโหว่ให้มิจฉาชีพแอบสวมรอย โดยใช้การโจมตีแบบวิศวกรรมทางสังคมได้ เจ้าหน้าที่ธนาคารควรตรวจสอบข้อมูลและใช้คำถามที่เฉพาะเจาะจงตัวบุคคล เพราะการแจ้งผ่านคอลเซ็นเตอร์ ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นตัวจริง ดังนั้นวิธีนี้ จึงอาจเป็นจุดอ่อนได้ ดังนั้นการรีเซตข้อมูลผ่านตู้ ATM เป็นวิธีการที่ปลอดภัยที่สุด เพราะต้องใช้บัตรและรหัส ATM เป็นการยืนยันตัวสองชั้น โดยการถือครองบัตร และทราบรหัสของบัตร ซึ่งระบบ m- banking จะมีความปลอดภัยสูงกว่าเพราะสามารถรีเซตรหัสได้เองผ่านแอปพลิเคชันพร้อมยืนยันด้วยรหัสบัตร ATM และใช้อุปกรณ์สมาร์ทโฟนด้วย ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยสูงกว่าระบบ i-banking

ลักษณะการเปลี่ยนเบอร์โทรศัพท์พบว่าธนาคาร A จะสามารถเปลี่ยนผ่านแอปพลิเคชันเท่านั้น จะต้องยืนยันตัวตนอีกชั้นผ่าน SMS OTP ธนาคาร B จะสามารถเปลี่ยนผ่านคอลเซ็นเตอร์ แอปพลิเคชันและตู้ ATM แต่จะเป็นลักษณะการยกเลิกเบอร์เดิมและสมัครใหม่ เพราะ 1 แอปพลิเคชันจะสามารถใช้ได้เพียง 1 เบอร์เท่านั้น ทุกช่องทางจะต้องยืนยันตัวตนอีกชั้นผ่านตู้ ATM เพื่อรับ SMS OTP ยืนยันการสมัคร ธนาคาร C จะสามารถเปลี่ยนผ่านสาขา แอปพลิเคชันและตู้ ATM ทุกช่องทางจะต้องมีการยืนยันตัวตนอีกชั้นผ่าน SMS OTP ธนาคาร D, E จะสามารถเปลี่ยนผ่านสาขาเท่านั้น ธนาคาร F จะสามารถเปลี่ยนผ่านแอปพลิเคชันเท่านั้น มีการยืนยันตัวตนอีกชั้นผ่าน SMS OTP พบว่าการเปลี่ยนเบอร์โทรศัพท์ผ่านคอลเซ็นเตอร์ แอปพลิเคชัน และตู้ ATM จะต้องยืนยันตัวตนผ่าน SMS OTP อีกครั้งในการยืนยันตัวตน เพื่อความปลอดภัยจากการสวมรอยของมิจฉาชีพ และในการเปลี่ยนที่สาขาธนาคารจะต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับการตรวจสอบหลักฐานต่าง ๆ และการสอบถามข้อมูลที่สามารถยืนยันตัวบุคคลที่แท้จริง เพื่อความถูกต้อง เนื่องจากมีข่าวที่เกิดขึ้น[13] ดังที่กล่าวมาข้างต้น เกี่ยวกับการปลอมแปลงเอกสารเพื่อออกซิมใหม่ แล้วทำการขอแจ้งเปลี่ยนเบอร์มือถือในระบบ m-banking ซึ่งเป็นวิธีการที่มิจฉาชีพใช้ในการสวมรอยทำธุรกรรมทางการเงิน จากการวิเคราะห์ความผิดพลาดเกิดจากผู้ให้บริการเครือข่ายที่ไม่มีมาตรการตรวจสอบข้อมูล ดังนั้นควรมีมาตรการที่เป็นแนวทางเดียวกันและเพิ่มวิธีการยืนยันตัวตน นอกจากจะตรวจสอบเอกสารแล้วควรมีการยืนยันตัวตนที่เฉพาะเจาะจง เช่น การแสกนลายนิ้วมือ

Table 5 OTP features

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
5. OTP features						
OTP life time (in minute)	15		3	15	15	12
5.1 using OTP when transferring money	/			/		/
5.2 using OTP when adding a receiver bank account	/			/		/
5.3 using OTP when changing the mobile phone number	/			/		/
5.4 using OTP when paying money for any services	/			/		/
5.5 The maximum number of passing wrong OTPs	3		3	3	3	3

จาก Table 5 พบว่าบางธนาคารเปิดให้มีระยะเวลาการกรอกรหัส OTP ที่นานต่างกันไป จากการทดสอบพบว่าระบบ OTP ในประเทศไทยมีการส่งล่าช้าน้อยมาก ดังนั้นระยะเวลาไม่เกิน 3 นาที ที่ธนาคาร C ใช้อยู่ น่าจะเหมาะสมกว่า เนื่องจากระยะเวลาที่นานเกินไป อาจเป็นช่องโหว่ให้มิจฉาชีพดักขโมยข้อมูล หากโทรศัพท์ที่ใช้รับ SMS OTP ติดมัลแวร์ ทำให้ SMS OTP ส่งไปยังเครื่องของมิจฉาชีพและทำให้มิจฉาชีพมีเวลาไปทำธุรกรรมก่อนเจ้าของบัญชี ดังนั้นเครื่องที่ใช้รับ SMS OTP จะต้องมีความปลอดภัย มีการแสกนไวรัสและตรวจสอบความปลอดภัยเสมอ

ลักษณะการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตพบว่าธนาคาร B ไม่อนุญาตให้เชื่อมต่อผ่าน Wi-Fi เพราะมีโอกาสถูกดักจับข้อมูล และแทรกกลางการสื่อสารได้ง่ายกว่า โดยอนุญาตให้เชื่อมต่อผ่าน 3G/4G เท่านั้น เนื่องจากเทคโนโลยี 3G[21] มีการเข้ารหัสข้อมูลที่ส่งผ่าน ด้วยอัลกอริธึม UEA1/UIA1 Kasumi Block Cipher ส่วนเทคโนโลยี 4G[22] จะมีมาตรฐานความปลอดภัยที่สูงไปอีก โดยการเข้ารหัสด้วยอัลกอริธึม UEA2/UIA2 Snow 3G Stream Cipher ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยสูงจากการดักจับข้อมูลของแฮกเกอร์ เมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อผ่าน Wi-Fi แต่การปิดช่องทางการเชื่อมต่อ Wi-Fi ของธนาคาร B จะทำให้ลูกค้าอาจไม่เลือกใช้ระบบ m-banking ของธนาคาร แต่อาจเปลี่ยนไปใช้บริการในระบบ i-banking ที่มีความมั่นคงน้อยกว่าแทน เพราะสามารถเชื่อมต่อผ่าน Wi-Fi ได้ นอกจากนี้จากการทดลองที่จะกล่าวในหัวเรื่องถัดไป พบว่าเมื่อระบบ m-banking ถูกออกแบบมาดี ถึงแม้จะเล่นผ่าน Wi-Fi ก็ไม่สามารถที่จะดักจับข้อมูลได้โดยง่ายเหมือนระบบ i-banking ดังนั้นการปิด Wi-Fi จึงอาจไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

Table 6 Other safety issues

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
6. Other Safety issues						
6.1 Login notification	/		/	/	/	/
6.2 Safety setting	/	/	/	/	/	/
6.3 Auto Log Off	5	3	5	1	1	15
6.4 Transaction secret code			/			
6.5 Activity notification						
- E-mail notification	/	/	/	/	/	/
- SMS notification	/					

จาก (Table 6) พบว่าธนาคาร F มีระยะเวลาการล็อกระบบอัตโนมัตินานเกินไป เมื่อเทียบกับธนาคารอื่นๆ ซึ่งระยะเวลาที่นานเกินไปนี้ อาจทำให้มิจฉาชีพแอบสวมรอยการทำธุรกรรมได้

Table 7 Cancelling m-banking

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
7. Cancelling m-banking						
7.1 cancel at a bank branch	/			/	/	/
7.2 cancel via a call center		/	/	/		
7.3 cancel via a smartphone application	/	/	/			/
7.4 cancel at an ATM machine cancel at a bank branch		/				

จาก (Table 7) ขั้นตอนการเลิกใช้บริการระบบ m-banking โดยทั่วไปยังไม่มีช่องโหว่หรือเกิดกรณีการจู่โจมที่เกิดขึ้นในเรื่องนี้โดยตรง เพื่อความปลอดภัย ธนาคารควรตระหนักถึงการตรวจสอบการยืนยันตัว หากมีการยกเลิกการใช้งานเพราะอาจจะมีการกลั่นแกล้งเพื่อต้องการทำให้บัญชีมีปัญหาหรือมิจฉาชีพอาจทำการยกเลิกการใช้งานแล้วขอเปิดใหม่เพื่อทำการสวมรอย ซึ่งทางธนาคารควรเข้มงวดในการตรวจสอบความถูกต้อง ในการขอเลิกใช้บริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธนาคาร B, C และ D อนุญาตให้มีการยกเลิกผ่านคอลเซ็นเตอร์ ซึ่งอาจมีโอกาสถูกโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม โดยมิจฉาชีพได้ง่ายที่สุด หากคำถามที่ใช้ตรวจสอบยืนยันตัวตนไม่ดีพอ

Table 8 Closing bank account

Criteria for Safety Analysis	A	B	C	D	E	F
8. Closing the bank account						
8.1 closing at an account-opening bank branch	/	/	/	/	/	/
8.2 closing at any other bank branchs		/	/	/		
8.3 closing by using the citizen ID & the bank book	/	/	/	/	/	/
8.4 closing by using the citizen ID & police document (if the book bank was lost)	/				/	/

จาก (Table 8) พบว่าการขอปิดบัญชีได้ที่ธนาคารต่างสาขา และทุกธนาคารให้ทำที่ธนาคารเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีความปลอดภัย แต่ขึ้นอยู่กับขบวนการตรวจเอกสารหลักฐานในการยืนยันตัวตนที่แท้จริง ซึ่งพบว่าขั้นตอนนี้โดยทั่วไปมีความปลอดภัย เพราะลูกค้าจะต้องนำบัตรประชาชนและสมุดบัญชีมาใช้ควบคู่ในการปิดบัญชี และมี 3 ธนาคาร ซึ่งจะต้องนำใบแจ้งความมาประกอบด้วยเมื่อทำสมุดบัญชีเงินฝากหาย จากการวิเคราะห์กรณีคดีความที่เกิดขึ้นยังไม่มีประเด็นด้านการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม ที่เกี่ยวกับเรื่องนี้โดยตรง แต่ธนาคารควรตระหนักถึงการตรวจสอบการยืนยันตัวหากมีการมาปิดบัญชีเพราะอาจจะมีการกลั่นแกล้งหรือทำการยกเลิกการใช้งานแล้วขอเปิดใหม่ เพื่อทำการสวมรอย

2) ผลด้านความมั่นคงของระบบ m-banking

การวิเคราะห์ประเด็นด้านความมั่นคงจะเป็นเรื่องของเทคนิค โดยจะทำการทดสอบ ใน 2 วิธีคือ SSL Sniff และ SSL Strip ในขณะที่กำลังเข้าใช้งานระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะทำการดักจับข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อ

อินเทอร์เน็ตทั้ง 6 ธนาคารเพื่อทดสอบและได้ผลการสำรวจสรุปผลดังนี้

2.1) ผลการโจมตีแบบ SSL Sniff

ผลการทดสอบการโจมตีด้วยวิธีการ SSL Sniff ต่อระบบ m-banking พบว่าไม่สามารถดักจับข้อมูลได้ เนื่องจากโปรแกรมของระบบ m-banking แอปพลิเคชัน จะไม่ยอมรับ หากมีการส่งใบรับรอง (Certificate) ปลอม ระบบถูกออกแบบให้ไม่ทำงาน ซึ่งการเขียนโปรแกรมระดับชั้นแอปพลิเคชันจะกำหนดใบรับรองที่แท้จริง จากธนาคารผู้พัฒนาตั้งแต่ขั้นพัฒนาการใช้งาน จึงมีความปลอดภัยมั่นคงสูง ไม่เหมือนในระบบ i-banking ที่รายงานไว้ในงานวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้านี้ จะให้ผู้ใช้เป็นคนตรวจสอบว่า ใบรับรองนั้นถูกต้องหรือไม่ ซึ่งมีโอกาสถูกจู่โจมได้ หากผู้ใช้งานระบบ i-banking ไม่สังเกต โดยจากการทดลองของงานวิจัยนี้ต่อจากระบบ i-banking ซึ่งพบว่ามี 1 ธนาคารที่ไม่สามารถดักจับข้อมูลได้เนื่องจากข้อมูลมีการเข้ารหัสไว้ และมี 5 ธนาคารพบว่าสามารถจะจู่โจมด้วย SSL Sniffing และดักจับข้อมูลในระบบ i-banking ได้ ดังแสดงใน (Figure 3) เนื่องจากเว็บเบราว์เซอร์ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีการดักจับข้อมูลจากแฮกเกอร์ หากผู้ใช้รู้เท่าไม่ถึงการณ์กดยอมรับใบรับรองปลอมหรือเข้าไปในเว็บปลอมที่แฮกเกอร์ใช้ดักจับข้อมูลก็จะถูกขโมยข้อมูลที่สำคัญไปได้โดยง่าย ดังนั้นจากการทดลองนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่า ระบบ m-banking โดยทั่วไปมีความมั่นคงต่อการจู่โจมด้วย SSL Sniffing มากกว่าระบบ i-banking

119.46.87.14	192.168.100.25	banktestA	forie
115.31.152.155	192.168.100.25	banktestA	forchome
119.46.87.14	192.168.100.25	banktestA	forfirefox
202.12.117.134	192.168.100.25	banktestB	forie
202.12.117.134	192.168.100.25	banktestB	forchome
202.12.117.134	192.168.100.25	banktestB	forfirefox
203.146.18.171	192.168.100.25	banktestC	forie
203.146.18.171	192.168.100.25	banktestC	forchome
203.146.18.171	192.168.100.25	banktestC	forfirefox

Figure 3 SSL Sniffing i-banking can eavesdrop user-names & passwords

2.2) ผลการโจมตีแบบ SSL Strip

SSL Strip เป็นเทคนิควิธีที่ใช้ในการโจมตีระบบธนาคารออนไลน์ที่เป็นที่นิยมอยู่ทั่วโลก จากสถิติตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 จากคดีความด้านนี้ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย พบว่าเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด จากการทดลองดักจับข้อมูลด้วยเทคนิค SSL Strip ดังแสดงใน (Figure 4) ด้วยโปรแกรม Wireshark ซึ่งทำการดักจับแพ็กเก็ตที่ไคลเอนต์ ในขณะที่ใช้งานระบบธนาคารบนโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน พบว่าขั้นตอนการร้องขอมีการเรียกใช้โพรโทคอล HTTPS ทำให้ไม่สามารถโจมตีแบบ SSL Strip ได้ เพราะเริ่มต้นเป็น HTTPS อัตโนมัติ ไม่เหมือนกับระบบ i-banking ที่ให้ผู้ใช้เป็นผู้เริ่มการสื่อสาร ซึ่งอาจเป็น HTTP แล้วเว็บเซิร์ฟเวอร์ค่อยทำการ Redirect ไปเป็น HTTPS ที่อาจโดน SSL Strip ได้

```
199 Application Data
199 Application Data
 66 34165 > https [ACK] Seq=1349 Ack=267 Win=42 Len=0 TSval=1
 66 34160 > https [ACK] Seq=2031 Ack=400 Win=42 Len=0 TSval=1
 66 54949 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=29 Len=0 TSval=158848
 66 34154 > https [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=42 Len=0 TSval=158848
 66 [TCP ACKed unseen segment] http > 54949 [ACK] Seq=1 Ack=2
 66 [TCP ACKed unseen segment] https > 34154 [ACK] Seq=1 Ack=
```

Figure 4 SSL Stripping on m-banking failure due to https initialization

```
 66 56806 > http [SYN] Seq=0 Win=8192 Len=0 MSS=1460 WS
 66 [TCP Out-Of-Order] 56806 > http [SYN] Seq=0 Win=819
 62 http > 56806 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=4380 Len=0
 62 [TCP Out-Of-Order] http > 56806 [SYN, ACK] Seq=0 Ac
 60 56806 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65700 Len=0
 54 [TCP Dup ACK 64#1] 56806 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 W
354 GET /1st_pg.html HTTP/1.1
354 [TCP Retransmission] GET /1st_pg.html HTTP/1.1
178 HTTP/1.0 301 Moved Permanently
```

Figure 5 The success of SSL Stripping on i-banking

จากผลการทดสอบการดักจับข้อมูลด้วยเทคนิค SSL Strip ต่อระบบ i-banking ที่ทำงานผ่านเบราว์เซอร์ดังแสดงใน (Figure 5) พบว่าในการต่อต้านการจู่โจมด้วยวิธีนี้ระบบ i-banking มีความมั่นคงน้อยกว่าระบบ m-banking เพราะมีโอกาสถูกโจมตีได้ หากผู้ใช้ไม่พิมพ์ HTTPS แต่การร้องขอระบบธนาคารโดยใช้โพรโทคอล HTTP ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การใช้งานผ่านระบบ m-banking จะมีความมั่นคงสูงกว่าการใช้งานผ่านระบบ i-banking

จากผลการทดสอบการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสารทั้ง 2 วิธี คือ การโจมตีแบบ SSL Sniff และการโจมตีแบบ SSL Strip พบว่าไม่สามารถดักจับข้อมูลได้ เนื่องจากการทำงานบนแอปพลิเคชันจะใช้รูปแบบการสื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTPS ที่มีการเข้ารหัสด้วยโพรโทคอล SSL ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบอัลกอริธึมในการเข้ารหัส การแลกเปลี่ยน Public Key และ Session Key ก่อนทำการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูล และทำการเข้ารหัสข้อมูลด้วย Secret Key ระหว่าง ไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ซึ่งเรียกขบวนการนี้ว่า SSL Handshake ซึ่งข้อมูลที่ถูกส่งจะถูกเข้ารหัสด้วย SSL/

TLS อัตโนมัติ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเป็นความลับ เพื่อป้องกันการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร จะเห็นได้ว่าการสื่อสารบนโพรโทคอล HTTPS จะมีความมั่นคงสูง สามารถป้องกันการดักจับข้อมูลที่สำคัญ โดยขบวนการทั้งหมดสามารถสั่งงานผ่านโมบายแอปพลิเคชัน ที่สร้างเป็นระบบ m-banking ได้เลย โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้ใช้งานให้สังเกต HTTPS ซึ่งต่างไปจากระบบ i-banking ที่ยังต้องอาศัยการสังเกตของผู้ใช้งานเป็นขั้นตอนสุดท้าย ในการป้องกันความมั่นคง ซึ่งผลการทดลองในส่วนการโจมตีระบบ i-banking นั้น สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่แสดงความสำเร็จของการโจมตีระบบ i-banking ด้วยวิธี SSL Strip และ SSL Sniff เมื่อผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่สังเกตดีพอ

2.3) รูปแบบการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร

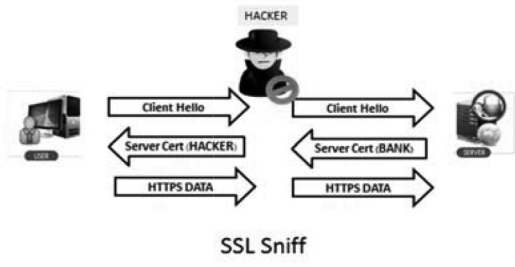


Figure 6 SSL Sniff

จาก (Figure 6) จะเห็นได้ว่าไคลเอนต์จะใช้ ใบรับรองของแฮกเกอร์เข้ารหัสข้อมูล ซึ่งจะทำให้แฮกเกอร์สามารถถอดรหัสข้อมูลของไคลเอนต์ได้ และเมื่อแฮกเกอร์ถอดรหัสข้อมูลของไคลเอนต์ได้แล้ว ก็จะสามารถใช้ใบรับรองของเซิร์ฟเวอร์เข้ารหัสข้อมูลจึงทำให้เซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบไม่ได้ว่าไคลเอนต์ถูกโจมตี ถ้าเป็นการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันระบบจะ Error หากพบว่ามีการใช้ใบรับรองปลอม

จาก (Figure 7) ไคลเอนต์กับแฮกเกอร์จะสื่อสารบนโพรโทคอล HTTP ทำให้ข้อมูลของไคลเอนต์ไม่ถูกเข้ารหัส ดังนั้นแฮกเกอร์สามารถดักจับข้อมูลของไคลเอนต์ได้ และแฮกเกอร์กับเซิร์ฟเวอร์สื่อสารบน HTTPS ปกติทำให้เซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบไม่ได้ว่าไคลเอนต์ถูกโจมตี จากหลักการทำงานของ HTTPS ที่มีการกำหนดให้ระบบเว็บไซต์ทำงานบนโพรโทคอล HTTPS ที่ตำแหน่งเว็บเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ SSL Strip จึงอาศัยจุดอ่อนที่เว็บเบราว์เซอร์ไม่สามารถตรวจสอบและกำหนดรูปแบบการสื่อสารบนโพรโทคอล HTTPS กับเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยหลักการโจมตีด้วยวิธี SSL Strip เพื่อดักจับข้อมูลสำคัญของเหยื่อที่ใช้ในการสื่อสารกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ ถ้าใช้งานผ่านแอปพลิเคชันจะบังคับเข้ารหัสด้วยโพรโทคอล SSL ซึ่งเป็นโพรโทคอลพื้นฐานในการสร้าง HTTPS ดังนั้นจึงทำให้ลดปัญหาการโจมตีด้วยวิธีแทรกกลางการสื่อสาร

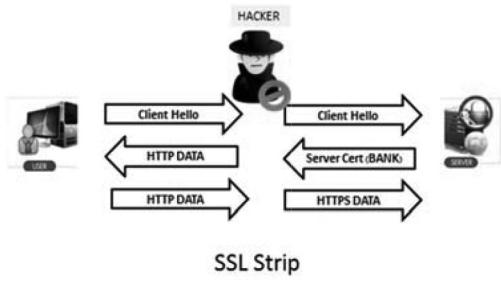


Figure 7 SSL Strip

3) ผลการสำรวจผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ

พบว่าผู้ให้บริการทั้ง 3 ค่ายมีการให้บริการที่แตกต่างกัน ในการออกซิมใหม่ที่ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน เจ้าหน้าที่ควรตรวจสอบหลักฐานและสอบถามประวัติการใช้งานของลูกค้า เพื่อป้องกันบุคคลแอบอ้างสวมรอย แต่ในการขอออกซิมใหม่ก็ยังพบว่ามีช่องโหว่ จากงานวิจัยก่อนหน้าของ Rachana[4] ได้พบจุดบกพร่องของเจ้าหน้าที่ DTAC เนื่องจากใช้ซิมปลอมเปลี่ยนเป็นซิมนาโนซึ่งเป็นอีกเบอร์ โดยเจ้าหน้าที่ไม่ได้ขอตรวจสอบเอกสาร จึงทำให้ได้ซิมใหม่เบอร์ใหม่ และการศึกษาครั้งนี้ได้ค้นพบจุดอ่อนของเจ้าหน้าที่เครือข่าย TRUE ในการขอออกซิมใหม่กรณีซิมหายโดยเจ้าหน้าที่ไม่ได้ขอตรวจสอบหลักฐานเพียงระบุเบอร์ที่หายก็สามารถออกซิมใหม่ได้ ซึ่งข้อบกพร่องเกิดจากเจ้าหน้าที่ ที่ไม่มีมาตรฐานเดียวกันจึงทำให้เป็นช่องโหว่เกิดขึ้น ซึ่งมีข่าวที่เกิดขึ้นจริงกรณีปลอมเอกสารเพื่อทำการสวมรอยขอออกซิมใหม่ โดยส่วนใหญ่มิจฉาชีพจะใช้การโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและทำได้จริง กรณีที่เกิดขึ้นเกิดจากเจ้าหน้าที่ ไม่รอบคอบในการตรวจสอบเอกสารและผู้ให้บริการเครือข่ายไม่มีมาตรการที่เป็นรูปแบบเดียวกัน ทำให้มิจฉาชีพอาศัยช่องโหว่ดังกล่าวในการสวมรอย ซึ่งหากคนร้ายได้เบอร์โทรศัพท์ของเหยื่อไป ก็สามารถรับ SMS OTP ในการทำธุรกรรมทางการเงินได้อย่างง่ายดาย ดังนั้นเจ้าหน้าที่จะต้องรัดกุมในการออกซิมใหม่และผู้ใช้บริการควรตรวจสอบซิมการ์ดและโทรศัพท์มือถือเพื่อป้องกันมัลแวร์ ถ้าซิมการ์ดไม่มีสัญญาณควรรีบแจ้งเจ้าหน้าที่ให้ตรวจสอบให้ทันที

4) ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้สมาร์ทโฟนที่ส่งผลต่อมัลแวร์

งานวิจัยนี้ ได้ทำการสำรวจด้วยวิธีการแจกแบบสอบถาม และใช้แบบสอบถามออนไลน์ เพื่อสำรวจพฤติกรรมของกลุ่มผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป ซึ่งคาดว่ากลุ่มนี้มีโอกาสที่จะเป็นกลุ่มลูกค้าของระบบธนาคารผ่านโทรศัพท์มือถือ ใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย

โดยใช้แบบสอบถาม มีผู้กรอกแบบสอบถาม 481 คน ผลสรุปได้ดังนี้

1. ผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนหรือผู้ที่ใช้แท็ปเล็ต
   - ใช้ ร้อยละ 98.5
   - ไม่ใช้ ร้อยละ 1.5

โดยมีผู้ใช้สมาร์ทโฟนหรือผู้ที่ใช้แท็ปเล็ตจำนวน 474 คน จากร้อยละ 98.5 ซึ่งสามารถตอบคำถามในข้อ 11 - 2

2. ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนจาก 474 คนคิดเป็นร้อยละ
   - ใช้ ร้อยละ 97.9
   - ไม่ใช้ ร้อยละ 2.1

โดยมีผู้ที่ไม่ใช้แอปพลิเคชันแต่มีความรู้ด้านแอปพลิเคชันจึงได้ทำแบบสอบถามตามหัวข้อต่อไปนี้

3. อายุ
   - อายุ 21-15 ปี ร้อยละ 29.3
   - อายุ 60-22 ปี ร้อยละ 70.5
   - อายุ 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 0.2

โดยอายุ 15 ปีขึ้นไปสามารถสมัครเปิดบัญชีธนาคารได้

4. อาชีพ
   - นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ร้อยละ 43.1
   - พนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 12.1
   - พนักงานของรัฐ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 33.8
   - ธุรกิจส่วนตัว/อาชีพอิสระ ร้อยละ 8.5
   - อื่นๆ ร้อยละ 2.5

5. รู้จักมัลแวร์หรือไม่
   - รู้จักมัลแวร์ ร้อยละ 68.7
   - ไม่รู้จักมัลแวร์ ร้อยละ 31.3

6. การติดตั้งแอปพลิเคชันที่อาจได้มาฟรีจากไฟล์.apk หรือจากเว็บไซต์บนอินเทอร์เน็ต นอกจาก App Store หรือ Play Store
   - เคยติดตั้ง ร้อยละ 15.3
   - ไม่เคยติดตั้ง ร้อยละ 84.7

7. การสังเกตการณ์ขอสิทธิ์เข้าถึงอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ก่อนติดตั้งแอปพลิเคชัน
   - สังเกตทุกครั้ง ร้อยละ 52.9
   - ไม่สังเกต ร้อยละ 16.2
   - สังเกตเป็นบางครั้ง ร้อยละ 30.9

8. การสังเกตชื่อผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน
   - สังเกต ร้อยละ 79.9
   - ไม่สังเกต ร้อยละ 20.1

9. รู้จักการรูทหรือเจลเบรคอุปกรณ์สมาร์ทโฟน
   - รู้จัก ร้อยละ 46.4
   - ไม่รู้จัก ร้อยละ 53.6

10. ทำการดัดแปลงอุปกรณ์
    - ดัดแปลงอุปกรณ์ ร้อยละ 14.6
    - ไม่ได้ดัดแปลงอุปกรณ์ ร้อยละ 85.4

11. การสำรวจการอนุญาตให้ติดตั้งแอปพลิเคชันจากภายนอก
    - ไม่อนุญาต ร้อยละ 87.8
    - อนุญาต ร้อยละ 12.2

โดยมีบางคนซึ่งอนุญาตให้ติดตั้งแอปพลิเคชันจากแหล่งภายนอกและหลังจากติดตั้งเรียบร้อยก็ปิดไม่อนุญาต

จากผลการสำรวจจะเห็นว่า มีส่วนน้อยที่อาจเป็นสุ่มเสี่ยงต่อปัญหามัลแวร์คือกลุ่มที่มีการดัดแปลงอุปกรณ์สมาร์ทโฟนและติดตั้งแอปพลิเคชันที่อาจได้มาฟรีจากไฟล์ .apk หรือไฟล์ที่มาจากเว็บไซต์บนอินเทอร์เน็ต และคนกลุ่มที่ใช้โมบายแอปพลิเคชันนี้ ส่วนใหญ่สังเกตการณ์การขอสิทธิ์เข้าถึงอุปกรณ์ก่อนติดตั้งแอปพลิเคชัน สังเกตชื่อผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน และไม่อนุญาตให้ติดตั้งแอปพลิเคชันจากภายนอก จะเห็นได้ว่าการติดตั้งแอปพลิเคชันผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว ซึ่งบางครั้งไม่ได้อ่านข้อตกลงหรือสังเกตการขอสิทธิ์ต่างๆ ทำให้ควบคุมได้ยาก จึงทำให้มีความเสี่ยงต่อการโจมตีของมัลแวร์ ซึ่งทักษะพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างนั้นซึ่งน่าจะสามารถใช้งานระบบ m-banking ได้ปลอดภัยจากปัญหามัลแวร์

วิจารณ์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ธนาคารพาณิชย์ในประเทศไทยอยู่ 2 ประเด็น ซึ่งสามารถสรุปในแต่ละด้านได้ดังนี้ (1) ด้านมาตรการป้องกันความปลอดภัย พบว่ายังมีช่องโหว่ที่ทำให้มิจฉาชีพเข้ามาโจรกรรมข้อมูลได้ ส่วนใหญ่จะเป็นช่องโหว่ในเรื่องของการสวมรอยเป็นเจ้าของบัญชี ซึ่งทางธนาคารต้องทบทวนวิธีการในการตรวจเอกสารยืนยันตัวตน และพบปัญหาการปลอมแปลงเอกสารในการออกซิมใหม่ หรือขอเปลี่ยนซิมใหม่ ซึ่งทำให้ได้ SMS OTP ของระบบ e-banking ทั้ง i-banking และ m-banking ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาได้มากมาย ทั้งนี้จุดอ่อนที่พบนี้จะแก้ไขได้ ต้องให้ทางผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือกำหนดข้อปฏิบัติให้กับทุกสาขาของตนเองให้มีขบวนการตรวจเอกสารในการยืนยันตัวตนให้รัดกุมยิ่งขึ้น เมื่อขอออกซิมการ์ดใหม่ หรือขอเปลี่ยนซิมการ์ดและเป็นข้อสังเกตสำหรับผู้ใช้งานระบบ e-banking ว่าหากโทรศัพท์มือถือของตนเกิดไม่มีสัญญาณและเป็นเบอร์โทรศัพท์ที่ผูกระบบ SMS OTP ของระบบ m-banking หรือระบบ i-banking ไว้ต้องอย่านิ่งนอนใจ ให้เร่งติดต่อศูนย์เพื่อตรวจสอบโดยไวที่สุด เพราะเป็นไปได้ว่าอาจถูกโจรกรรม SMS

OTP ดังที่งานวิจัยนี้ได้ทดสอบและเป็นคดี (2) ด้านความมั่นคงของระบบ พบว่าในการทดสอบการโจมตีแทรกกลางการสื่อสาร ธนาคารไม่สามารถดักจับข้อมูลได้ พบว่าระบบ m-banking มีความมั่นคงกว่าระบบ i-banking มาก นอกจากนี้ ในส่วนของพฤติกรรมผู้ใช้ ต่อปัญหามัลแวร์พบว่าปัญหาจะเกิดจากผู้ใช้ โดยที่อนุญาตให้ติดตั้งแอปพลิเคชันจากแหล่งภายนอก และไม่เข้าใจในข้อตกลง จึงทำให้มีความเสี่ยงต่อการโจมตีมัลแวร์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผู้ที่ใช้โมบายแอปพลิเคชันอยู่แล้วส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้ ที่ปลอดภัยจากมัลแวร์ แต่ยังมีบางส่วนที่ยังมีพฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟนที่อาจเปิดช่องโหว่ให้มัลแวร์โจมตีได้ ซึ่งควรจะต้องมีการให้ความรู้แก่ผู้ใช้กลุ่มนี้ ในการใช้ระบบ m-banking ให้ปลอดภัยต่อไป และในอนาคตอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการสังเกตชื่อผู้พัฒนาแอปพลิเคชันที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น ซึ่งเป็นขอบเขตนอกเหนือจากงานวิจัยนี้ จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าระบบ m-banking มีความปลอดภัยมั่นคงสูงกว่าระบบ i-banking มากในภาพรวม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายคดีเทคโนโลยีสารสนเทศ กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI) กระทรวงยุติธรรม สำหรับข้อมูลคดีด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเกี่ยวกับธนาคารที่เกิดขึ้นในประเทศไทยในรอบหลายปีที่ผ่านมา และขอขอบคุณผู้อำนวยการฝ่ายเครือข่ายและ IT Security ของธนาคารแห่งหนึ่ง ที่ได้ให้ข้อมูลในเชิงลึกเพื่อประกอบการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Park KC, Shin JW, Lee BG. Analysis of Authentication Methods for Smartphone Banking Service using ANP. KSII Transactions on Internet & Information Systems [Article] 2014; 8[6]: 2087-2103.

[2] Filiol E, Irolla P. (In) Security of Mobile Banking and of Other. Proceeding of Black Hat Asia; Singapore. March 2015; pp.1-22.

[3] Islam S. Security Analysis Of Mibile Two-Factor Authentication Schemes. Article: Intel Technology Journal, 2014; 18[4]:pp. 138-161.

[4] Rachana S. Security and Safety Evaluation and Enhancement of Internet Banking System: A Case Study of Cambodian Public Bank Plc. MSc Thesis: Mahasarakham University; 2015.

[5] พัฒนรัฐ พุดหล้า, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์. การวิเคราะห์ความมั่นคงและปลอดภัยของระบบอินเทอร์เน็ตแบงก์กิ้งในประเทศไทย. The Eleventh National Conference on Computing and Information Technology 2015; กรกฎาคม 2015; Bangkok. หน้า 99-105.

[6] ธนพล พุกเส็ง, ศิรปัฐช์ บุญครอง. การสำรวจการรักษาความปลอดภัยในการใช้งานอินเทอร์เน็ตแบงค์กิ้งธนาคารพาณิชย์ไทยสำหรับลูกค้าบุคคล วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558; ปีที่ 23 ฉบับที่ 1.หน้า 141-152.

[7] Schmeh K. “Cryptography and Public Key Infrastructure on the Internet”. The Atrium, Southearn Gate, Chichester: Jonh Wiley & Sons Ltd.; 2003.

[8] leveraging K. Mobile Banking 2015; Global Trends and their Impact on Banks 2015; July 2015.

[9] การชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Payment). [สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2559]; ได้จาก: https://www.etda.or.th/content/e-payment.html.

[10] Agency ETD. Thailand Internet User Profile 2015. [สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2559]; ได้จาก: file:///C:/Users/Administrator/Downloads/IUP_2015_interactive_290316.pdf.

[11] blognone.com. การปรับปรุงระบบไอทีครั้งใหญ่ของธนาคารกสิกรไทย. [สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2559]; ได้จาก:https://www.blognone.com/node/72423.

[12] ธนาคารแห่งประเทศไทย. นโยบายและมาตรการการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางระบบสารสนเทศในการประกอบธุรกิจของผู้ให้บริการการชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์. ราชกิจจานุเบกษา, 2552.

[13] it24hrs.com. คนร้ายสวมรอยเป็นเจ้าของบัญชี Internet Banking โอนเงินออก สูญหลายแสน. [สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2557]; ได้จาก/4102/moc.srh42ti.www//:ptth:/2-drac-mis-wen-egnahc-gniknab-pto-kcah.

[14] ระวัง แอพธนาคารปลอม ระบาดบน Play Store ของมือถือ Android.[สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2558]; ได้จาก//:ptth : -no-ekaf-gniknab-e-ppa/4102/moc.srh42ti.www/diordna.

[15] Subsorn P, Limwiriyakul S. A comparative analysis of the security of internet banking in Australia:a customer perspective. In: Limwiriyakul S, editor. International Cyber Resilience conference; pp. 69-83.

[16] Article A. รายงานผลการวิจัยมาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยระบบ Internet Banking และ ระบบ Mobile

Banking ของธนาคารในประเทศไทย. [สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2559]; ได้จาก: https://www.acisonline.net/?p=961&lang=th.

[17] สุวรรณี ธูปจีน, ระดม เจือจันทร์, ศิรปัฐช์ บุญครอง. การตรวจจับพฤติกรรมและป้องกันมัลแวร์บนโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. บทความวิชาการ (Scholarly Article); 2558; หน้า 141-152.

[18] Loke SP, Noor NM, Khalid K. Customer Satisfaction Towards Internet Banking Services: Case Analysis on a Malaysian Bank. IEEE International Conference Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research (CHUSER); pp. 159-163.

[19] Baraka W. Nyamtiga, Anael Sam, Loserian S. Laizer. Enhanced Security Model for Mobile Banking Systems in Tanzania. International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research; Vol 1, Issue 4, 2013.

[20] Jiraporn Sripalawat, Mathupayas Thongmak, Atcharawan Ngramyarn. M-Banking in Metropolitan Bangkok and a Comparison with other Countries. Journal of Computer Information Systems; Vol 51, Issue 3, 2011.

[21] 3G คืออะไร. [สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2558]; ได้จาก: https://lovelovelover77.wordpress.com.

[22] How is 4G LTE encrypted. [สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2558]; ได้จาก: http://security.stackexchange.com/questions/21395/how-is4-g-lte-encrypted.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลและแบบจำลองมาร์คอฟ เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ

Application of Remote Sensing and Markov Model to Predict Land Use Change in Moon Basin, Sisaket Province

วัชรพงษ์ แสงนิล[*1] สุรลภย์ ภูภักดิ์[2] กฤษนัยน์ เจริญจิตร[3] จารุวรรณ์ วงบุตดี[1]

Wacharapong Saengnill[*1] Suralob Bhubak[2] kitsanai Charoenjit[3] Jaruwan Wongbutdee[1]

Received: 6 April 2016; Accepted: 28 June 2016

บทคัดย่อ

การทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนพัฒนาพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบการรับรู้จากระยะไกลและแบบจำลองมาร์คอฟ จำแนกและเปรียบเทียบรูปแบบการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงเวลา และเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ วิธีดำเนินการวิจัยโดยรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พ.ศ. 2550, 2552 และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI พ.ศ. 2557 ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ด้วยวิธี Maximum Likelihood จำแนกพื้นที่เป็น 7 รูปแบบ วิเคราะห์คาดการณ์การใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ด้วยแบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Model) ในอนาคตอีก 5 ปี (พ.ศ. 2562) ผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2562 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว 514.33 ตารางกิโลเมตร (45.29%) รองลงมาคือ พืชสวน 281.61 ตารางกิโลเมตร (24.80%) และพืชไร่ 116.30 ตารางกิโลเมตร (10.24%) ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบบจำลองมาร์คอฟ การใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำมูล

Abstract

Information about changes in land use is useful in the development and planning of areas. This a research applied remote sensing technique and the Markov model to classify patterns of change in land use and to predict the proportion of land use change in the River Moon basin in Sisaket province. Landsat satellite image 5 TM of 2005 and 2007 and Landsat 8 OLI of 2014 were classified by the method of maximum likelihood. The Markov model calculated transition probability matrix to predict changes in land use in 2019. The results of the Markov model showed that, in 2019, 514.33 square kilometers (45.29%) will be paddy, 281.61 square kilometers (24.80%) will be orchards, and 116.30 square kilometer (10.24%) will be field crops.

Keywords: Markov model, Land Use, Moon Basin

[1] *วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี*

[2] *คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี*

[3] *คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

[1] *College of Medicine and Public Health, Ubonratchathani University E-mail: wacharapong_s@yahoo.com*

[2] *Faculty of Agriculture, Ubonratchathani University*

[3] *Faculty of Geoinformatics, Burapha University*

บทนำ

จังหวัดศรีสะเกษ ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มทางตอนเหนือ และตอนกลาง ส่วนทางตอนใต้จะเป็นที่ลาดชันและเป็นเทือกเขาสูง ซึ่งมีพื้นที่ป่าทั้งหมด 199,853 ไร่[1] และมีแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำมูล ห้วยขะยุง ห้วยสำราญ และห้วยทับทัน อาชีพส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรม ฤดูแล้งจะมีอากาศร้อนจัด แหล่งน้ำหลายแห่งมีน้ำน้อย หรือแห้งขอด แต่ฤดูฝนมีน้ำท่วมขัง เพราะพื้นที่ริมตลิ่งแม่น้ำทั้งสองฝั่งเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง โดยเฉพาะลุ่มน้ำมูล ในจังหวัดศรีสะเกษ ถือได้ว่าเป็นลุ่มน้ำที่สำคัญของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมหลายหมู่บ้าน และพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญของการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะประชาชนที่อาศัยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ปลูกข้าว ทำไร่ และทำสวน รวมไปถึงชุมชนเมืองที่เริ่มมีการขยายตัวของกิจกรรมต่าง ๆ และทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ในฤดูฝนน้ำในแม่น้ำจะไหลบ่าท่วมในพื้นที่เกษตรกรรม โดยปกติจะเริ่มราวเดือนเมษายน โดยมีปริมาณน้ำฝน 73.84 ± 13.81 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 10 ปี 2542 - 2551) ปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นเป็น 231.28 ± 44.11 มิลลิเมตรในเดือนพฤษภาคม และปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม (354.64 ± 66.30 มิลลิเมตร) ก่อนที่ปริมาณจะลดลงในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม

จากสภาพแวดล้อมและการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล ทำให้ได้รับผลกระทบต่อชุมชนและประชาชนอย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเทคนิคและข้อมูลการสำรวจระยะไกล (remote sensing) การกำหนดพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (global position system) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system) ซึ่งเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูง และตรงกับสภาพความเป็นจริงเพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ต้องอาศัยระยะเวลาพอสมควร การทราบข้อมูลล่วงหน้าจะเป็นการเตรียมการดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาพื้นที่และการพัฒนาชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นได้นำแบบจำลองมาร์คอฟสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นอนาคตใน 2 ช่วงระยะเวลา ซึ่งพิจารณาโอกาสของการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ จากเวลาหนึ่งไปอีกช่วงหนึ่ง ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ลุ่มน้ำ [2,3,4,5] ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนและการสนับสนุนการตัดสินใจต่อการจัดการพื้นที่ในลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีะเกษ

วัตถุประสงค์

เพื่อจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงเวลาบริเวณลุ่มน้ำมูล เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงเวลา เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ

วิธีการวิจัย

พื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ มีเนื้อที่ทั้งหมด 1,135.63 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ใน 11 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอราษีไศล อำเภอยางชุมน้อย อำเภอบึงบูรพ์ กิ่งอำเภอโพธิศรีสุวรรณ อำเภอเมืองจันทร์ อำเภออุทุมพรพิสัย อำเภอยางชุมน้อย อำเภอกันทรารมย์ อำเภอน้ำเกลี้ยง และอำเภอพยุห์ (Figure 1)

จัดเตรียมเอกสารข้อมูล

- ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM (7 band) ความละเอียดของภาพ (Resolution) 30 x 30 เมตร มาตราส่วน 1: 50,000 โดยปราศจากเมฆหรือมีน้อยที่สุด ในปี พ.ศ. 2550, 2552 จากสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI (7 band) ปี พ.ศ. 2557[6]
- แผนที่ลักษณะภูมิประเทศจังหวัดศรีสะเกษ ได้แก่ แหล่งน้ำ พื้นที่การเกษตร และเส้นทางคมนาคม เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา

1. เครื่อง GPS (Garmin etrex Legend HCx)
2. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ ArcGIS 9.3
3. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลและแบบจำลองมาร์คอฟ IDRISI TerrSet 18.0

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

นำแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม landsat 5 TM และ Landsat 8 OLI ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 ปี พ.ศ. 2550, 2552 และ 2557 ทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้ถูกต้อง โดยทำการเลือกจุดบังคับรูป (Ground Control Point: GCP) เพื่อปรับค่าพิกัดของภาพถ่ายดาวเทียมให้อยู่ในระบบพิกัด โดยอ้างอิงข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหาร UTM โซน 48 (Universal Transverse Mercator) และทำการกำหนดขอบเขตข้อมูลเพื่อพิจารณาพื้นที่ศึกษาเฉพาะเจาะจง (Subset Image) บริเวณลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษ เพื่อให้ได้พื้นที่ศึกษา

วิเคราะห์ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดิน (Land use Classification)

การกำหนดประเภทข้อมูลเป็นการกำหนดจำนวนและคุณลักษณะของประเภทข้อมูลก่อนที่จะทำการแปลหรือตีความข้อมูล เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการใช้ที่ดิน ดำเนินการจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดิน ในช่วงเวลา ปี พ.ศ. 2550, 2552 และ 2557 โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบการจำแนกผสมผสาน (Hybrid Classification) ระหว่างการแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation) และการแปลตีความด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Assisted Interpretation) ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ด้วยวิธี Maximum Likelihood จำแนกพื้นที่เป็น 7 ประเภท คือ พื้นที่ป่าไม้, นาข้าว,พืชไร่, พืชสวน, ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง, แหล่งน้ำ, และพื้นที่อื่นๆ เช่น ทรายและพื้นที่ว่าง

ตรวจสอบถามถูกต้อง

ตรวจสอบผลการแปลและตีความข้อมูลดาวเทียมให้มีความถูกต้อง โดยวิธีการกรองภาพ (Image Filtering) เพื่อขจัดจุดภาพที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาดเล็กๆ ปะปนอยู่ในกลุ่มของข้อมูลประเภทอื่น (Noise) ช่วยทำให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องขึ้น พร้อมทั้งการตรวจสอบจากภาคสนามด้วยเครื่อง GPS ให้ตรงกับพื้นที่จริงมากที่สุด

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Change detection of land use)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดิน ตามช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2550, 2552 และ 2557 จากการแปลตีความข้อมูลดาวเทียมและจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดินมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคซ้อนทับข้อมูล (Overlay technique) และนำมาสร้างตารางการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดิน 7 ประเภท

การคาดการณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลองมาร์คอฟ แบบจำลอง Markov เป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือสิ่งปกคลุมดินใน 2 ช่วงระยะเวลา[7] และพิจารณาโอกาสของการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอีกช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งอยู่ในรูปของ Transition Probability Matrix ดังสมการที่ 1

$$V_{t+1} = V_t * P_{ij} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ $P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix}$

V_t สัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาถัดไป

P_{ij} โอกาสของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากระยะที่ 1 ไปเป็นระยะที่ 2 (i, j = 1, 2, …, m)

การคาดการณ์การใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ด้วยแบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Model) และแบบจำลอง Cellular automata[8] โดยการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Chang detection of Land Use) ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550, 2552 และ 2557 มาเป็นฐานในการวิเคราะห์เพื่อหาโอกาสความน่าจะเป็น (Probability) ต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละประเภท มาสร้างตารางเมตริกซ์ และการถ่ายโอน (Transition) เพื่อจำแนกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอีก 5 ปี (ปี พ.ศ. 2562)

ผลการวิจัย

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM และ Landsat 8 OLI พบว่า ในปี พ.ศ. 2550 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว 561.02 ตารางกิโลเมตร (49.40%) รองลงมาคือ พืชสวน 223.92 ตารางกิโลเมตร (19.72%) (Figure 2) ปี พ.ศ. 2552 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว 475.35 ตารางกิโลเมตร (41.86%) รองลงมาคือ พืชสวน 330.54 ตารางกิโลเมตร (29.11%) พืชไร่ 109.60 ตารางกิโลเมตร (9.65%) ตามลำดับ (Figure 3) และในปี พ.ศ. 2557 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว 583.42 ตารางกิโลเมตร (51.37%) พืชสวน 250.40 ตารางกิโลเมตร (22.05%) และพืชไร่ 97.80 ตารางกิโลเมตร (8.61%) ตามลำดับ (Figure 4) (Table 1)

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2550 กับ พ.ศ. 2552 พบว่า รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้มีการเปลี่ยนเป็นพืชไร่ 12.91 ตารางกิโลเมตร (1.14%) นาข้าว มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพืชสวน 168.60 ตารางกิโลเมตร (14.85%) (Table 2)

สำหรับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2552 กับ พ.ศ. 2557 พบว่า รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้มีการเปลี่ยนเป็นพืชไร่ 17.51 ตารางกิโลเมตร (1.54 %) พืชสวน 6.53 ตารางกิโลเมตร (0.57 %) และนาข้าวเปลี่ยนแปลงเป็นพืชสวน 55.70 ตารางกิโลเมตร (4.90%) และชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง 34.03 ตารางกิโลเมตร (2.99%) (Table 3)

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 และ ปี พ.ศ. 2557 เป็นฐานดำเนินการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ความน่าจะ

เป็น (Table 4) ผลการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2562 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว 514.33 ตารางกิโลเมตร (45.29%) รองลงมาคือ พืชสวน 281.61 ตารางกิโลเมตร (24.80%) และพืชไร่ 116.30 ตารางกิโลเมตร (10.24%) ตามลำดับ (Table 5, Figure 5)

อภิปรายผล

ลุ่มน้ำมูล จังหวัดศรีสะเกษเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เศรษฐกิจ ซึ่งประกอบด้วยการปลูกข้าว ทำไร่ และสวน รวมไปถึงชุมชนเมืองที่เริ่มมีการขยายตัวของกิจกรรมต่าง ๆ และเป็นชุมชนเมืองมีประชากรหนาแน่น จากการจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พื้นที่เกษตรกรรมปลูกข้าวมีการลดลงในปี พ.ศ. 2552 และเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2557 จากการสำรวจภาคสนามพื้นที่ในลุ่มน้ำมูลจะมีเขื่อนราษีไศล ซึ่งจะมีปริมาณน้ำใช้ตลอดปี ประชาชนส่วนใหญ่จะมีการปลูกข้าวนาปี และนาปรังทำให้มีพื้นที่ทางการเกษตรกรรมมาก สำหรับพืชสวนมีพื้นที่มากในปี พ.ศ. 2552 แต่ลดลงในปี พ.ศ. 2557 ซึ่งส่วนใหญ่จะทำเกษตรกรรมปลูกพริก มะนาว กระเทียม และหอมแดง เป็นต้น ทำให้พื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และภูมิอากาศซึ่งเกษตรกรมีการปรับชนิดของการปลูกพืชทำให้พื้นที่นาบางส่วนมีการจัดทำสวนพริก หรือพืชระยะสั้นเพื่อรอรับการปลูกข้าวในฤดูกาลต่อไป ทำให้มีการประกอบอาชีพทางการเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่อง สำหรับพื้นที่ชุมชน/ สิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวและมีมากขึ้น ซึ่งจากแผนพัฒนาจังหวัดศรีสะเกษ ปี 2553 - 2556 มีพันธกิจ มุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวจึงคาดว่าจะมีการขยายพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและการสร้างถนนมากขึ้น

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในอนาคต ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLC[6] ซึ่งเหมาะสมต่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการบริหารจัดการน้ำ[9] ผ่านการจำแนกผสมผสาน (Hybrid Classification) ระหว่างการแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation) และการแปลตีความด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Assisted Interpretation) ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ด้วยวิธี Maximum Likelihood โดยใช้ปี พ.ศ. 2557 เป็นฐานในการวิเคราะห์คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไปอีก 5 ปี คือ พ.ศ. 2562 โดยอาศัยเทคนิคของการวิเคราะห์แบบปริมาณการเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลอง Markov Chain และทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเซลล์รอบข้างที่มีผลต่อสถานะของเซลล์ตรงกลาง โดยใช้แบบจำลอง Cellular Automata ในการอธิบายข้อมูลเชิงพื้นที่[10,11] ซึ่งจากการคาดการณ์การใช้พื้นที่พบว่าในปี พ.ศ. 2562 มีพื้นที่พืชสวน พืชไร่ และป่าไม้เพิ่มขึ้นเป็น 31.21, 18.50 และ 10.85 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแผนการพัฒนาจังหวัดศรีสะเกษ ปีพ.ศ. 2557-2560[12] ด้านการพัฒนาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เช่น การพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ การรักษาดูแลและคุ้มครองป่าไม้ และการสร้างเครือข่ายจิตอาสาพิทักษ์สิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาสภาพความเป็นอยู่ของชุมชน

การใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลและแบบจำลอง Markov เป็นการดำเนินงานโดยใช้ข้อมูล 2 ชุด ตามช่วงเวลา เพื่อกำหนดความน่าจะเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในอนาคต และเป็นประโยชน์มากในการมองภาพพื้นที่บริเวณกว้าง ประหยัดงบประมาณในการสำรวจทั้งพื้นที่ ซึ่งหากในอนาคตการคาดการณ์ถูกต้องจะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ การวางแผน และการเฝ้าระวังการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อไป

สรุป

การใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณกว้างสามารถช่วยในการจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ดินได้ และยังสนับสนุนการคาดการณ์การใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง Markov ซึ่งดำเนินงานโดยใช้ข้อมูล 2 ชุดตามช่วงเวลา เพื่อกำหนดความน่าจะเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ แต่ทั้งนี้ควรมีข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยเทคนิค Markov และการตรวจสอบความถูกต้องภาคสนามมากขึ้น หรือปัจจัยอื่นๆ เช่น ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และพฤติกรรมของประชาชนเข้ามาประกอบในการวิเคราะห์จะทำให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2557 และขอบคุณ Mr.Robert Tremayne สำนักวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ตรวจสอบภาษาอังกฤษ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานจังหวัดศรีสะเกษ. แผนการดำเนินงานของจังหวัด. [ออนไลน์] 2555 [อ้างอิง: 20 ส.ค. 2555]: เข้าถึงได้จาก URL: http://www.sisaket.go.th/index1.php.

[2] ประสงค์ สงวนธรรม, สุระ พัฒนเกียรติ และอุษาวดี ผากุหลาบแดง. การประยุกต์ใช้แบบจำลองมาร์คอฟและเซลลูลาออโตมาตา เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำงาว. การประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติประจำปี 2549, ประเทศไทย, 5-8 พฤศจิกายน 2549; กรุงเทพฯ; 2549. หน้า 1-11.

[3] สุระ พัฒนเกียรติ และกฤษนัยน์ เจริญจิตร. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสังคมและแบบจำลองมาร์คอฟ-เซลลูลาร์ออโตมาตา เพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนกลาง ประเทศไทย. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2551, ประเทศไทย, 21-23 มกราคม 2522; กรุงเทพฯ; 2551. 1-15.

[4] Ratmanee, M. Bhaktikul, K. and Eamsiri, A. Developing model of landscape change using remote sensing technique and markov model for upper Lumta Kong basin, Nakorn Ratchasima province, Thailand. Environment and Natural Resources Journal 2007; 5(1): 22-34.

[5] Praveen, S. Kabiraj, S. Bina T. Application of a hybrid Cellular Automaton-Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. Applied Ecology and Environmental Sciences 2013; 1(6): 126-132.

[6] USGS. [Online] 2014. Available on: http://www.usgs.gov/.

[7] Behera, M.D. Borate, S.N. Panda, S.N. Behera, P.R. and Roy, P.S. Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA)-Markov model-A geo-information based approach. Earth System Science 2012; 121(4): 1011-24.

[8] Yang, X. Zheng, X.Q. and Chen, R. A Land Use Change Model: Integrating Landscape Pattern Indexes and Markov-CA. Ecological Modelling 2014; 238: 1-7.

[9] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). คู่มือการใช้งานระบบสืบค้นข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 (Catalog Dissemination System; CDS). ฝ่ายผลิตและคลังข้อมูลมาตรฐาน สำนักปฏิบัติการดาวเทียม, กรุงเทพมหานคร. 2557.

[10] Eastman, J.R. IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, USA. 2006.

[11] วสันต์ ออวัฒนา. การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินในจังหวัดภูเก็ต. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีสครินทรวิโรฒ; 2555.

[12] จังหวัดศรีสะเกษ. [ออนไลน์] 2558. แผนพัฒนาจังหวัดศรีสะเกษ ปี 2557–2560. เข้าถึงได้จาก URL: http://123.242.184.7/plan/plan4y.pdf.

Table 1 Types of Land use

Types of Land use	2007		2009		2014	
	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%
Forest Land	45.30	3.99	53.24	4.69	42.05	3.70
Field Crops	93.45	8.23	109.60	9.65	97.80	8.61
Mixied Orchard	223.92	19.72	330.54	29.11	250.40	22.05
Paddy field	561.02	49.40	475.35	41.86	583.42	51.37
Water bodies	75.67	6.66	75.20	6.62	63.01	5.55
Bare land/ sand	107.20	9.44	63.90	5.63	25.37	2.23
Urban and build-up Land	29.07	2.56	27.80	2.45	73.58	6.48
Total	**1,135.63**	**100.00**	**1,135.63**	**100.00**	**1,135.63**	**100.00**

Table 2 Compare land use change between year 2007 and 2009

2009 / 2007	Forest Land		Field Crops		Mixied Orchard		Paddy field		Water bodies		Bare land/ sand		Urban and build-up Land	
	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%
Forest Land	28.06	2.47	12.91	1.14	1.69	0.15	0.35	0.03	1.61	0.14	0.57	0.05	0.08	0.01
Field Crops	14.04	1.24	32.78	2.89	26.10	2.30	8.50	0.75	6.86	0.60	4.17	0.37	1.22	0.11
Mixied Orchard	8.71	0.77	32.99	2.90	87.48	7.70	72.54	6.39	5.52	0.49	13.40	1.18	3.20	0.28
Paddy field	0.43	0.04	8.76	0.77	168.60	14.85	335.04	29.50	8.13	0.72	32.10	2.83	7.95	0.70
Water bodies	0.49	0.04	3.84	0.34	8.50	0.75	12.37	1.09	45.04	3.97	2.65	0.23	2.75	0.24
Bare land/ sand	1.46	0.13	14.17	1.25	31.62	2.78	40.09	3.53	7.32	0.64	8.99	0.79	3.50	0.31
Urban and build-up Land	0.13	0.01	4.10	0.36	6.57	0.58	6.42	0.57	0.65	0.06	2.12	0.19	9.07	0.80

Table 3 Compare land use change between year 2009 and 2014

2014 / 2009	Forest Land		Field Crops		Mixied Orchard		Paddy field		Water bodies		Bare land/ sand		Urban and build-up Land	
	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%	Km^2
Forest Land	26.73	2.35	17.51	1.54	6.53	0.57	1.36	0.12	0.44	0.04	0.25	0.02	0.42	0.04
Field Crops	11.40	1.00	44.46	3.91	34.86	3.07	9.83	0.87	2.02	0.18	1.13	0.10	5.91	0.52
Mixied Orchard	2.55	0.22	21.35	1.88	129.96	11.44	147.81	13.02	0.99	0.09	12.27	1.08	15.57	1.37
Paddy field	0.31	0.03	6.40	0.56	55.70	4.90	366.82	32.30	5.25	0.46	6.79	0.60	34.03	3.00
Water bodies	0.47	0.04	2.71	0.24	2.32	0.20	16.07	1.41	51.57	4.54	0.08	0.01	2.07	0.18
Bare land/ sand	0.51	0.04	4.19	0.37	17.74	1.56	32.08	2.82	0.67	0.06	4.69	0.41	4.02	0.35
Urban and build-up Land	0.07	0.01	1.20	0.11	3.29	0.29	9.51	0.84	2.02	0.18	0.16	0.01	11.55	1.02

Table 4 Transition probability of land use change between year 2014 and 2019

2014 \ 2019	Forest Land	Field Crops	Mixied Orchard	Paddy field	Water bodies	Bare land/ sand	Urban and build-up Land
Forest Land	0.6040	0.2947	0.0660	0.0081	0.0123	0.0131	0.0017
Field Crops	0.1864	0.4317	0.2274	0.0682	0.0288	0.0447	0.0128
Mixied Orchard	0.0275	0.1467	0.4931	0.2344	0.0098	0.0747	0.0138
Paddy field	0.0025	0.0183	0.2748	0.5973	0.0297	0.0596	0.0177
Water bodies	0.0086	0.0392	0.0193	0.1028	0.7776	0.0131	0.0393
Bare land/ sand	0.0101	0.0450	0.4889	0.2706	0.0033	0.1754	0.0066
Urban and build-up Land	0.0057	0.0811	0.2137	0.4668	0.0285	0.0552	0.1491

Table 5 Prediction of land use in 2019

Types of Land use	Km^2	%
Forest Land	52.90	4.66
Field Crops	116.30	10.24
Mixied Orchard	281.61	24.80
Paddy field	514.33	45.29
Water bodies	69.34	6.11
Bare land/ sand	33.73	2.97
Urban and build-up Land	67.42	5.94
Total	**1,135.63**	**100.00**

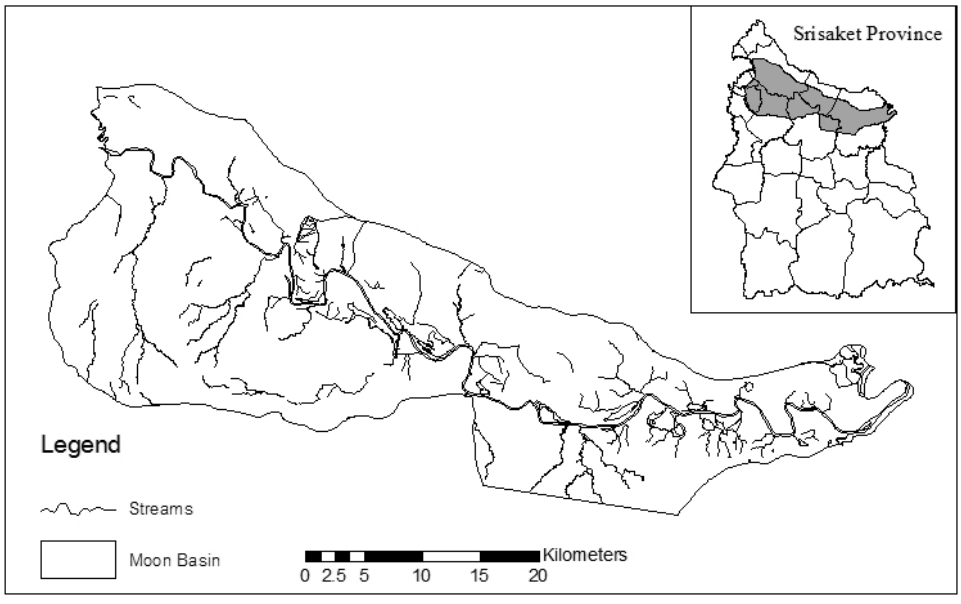


Figure 1 Moon Basin, Sisaket Province

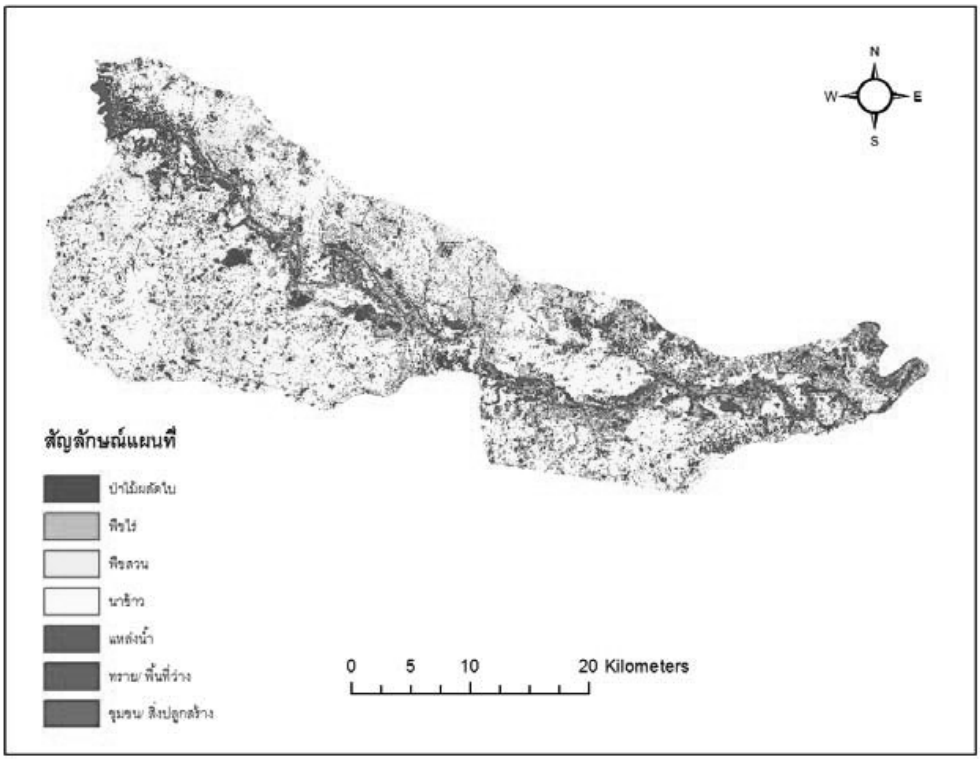


Figure 2 Land use in 2007

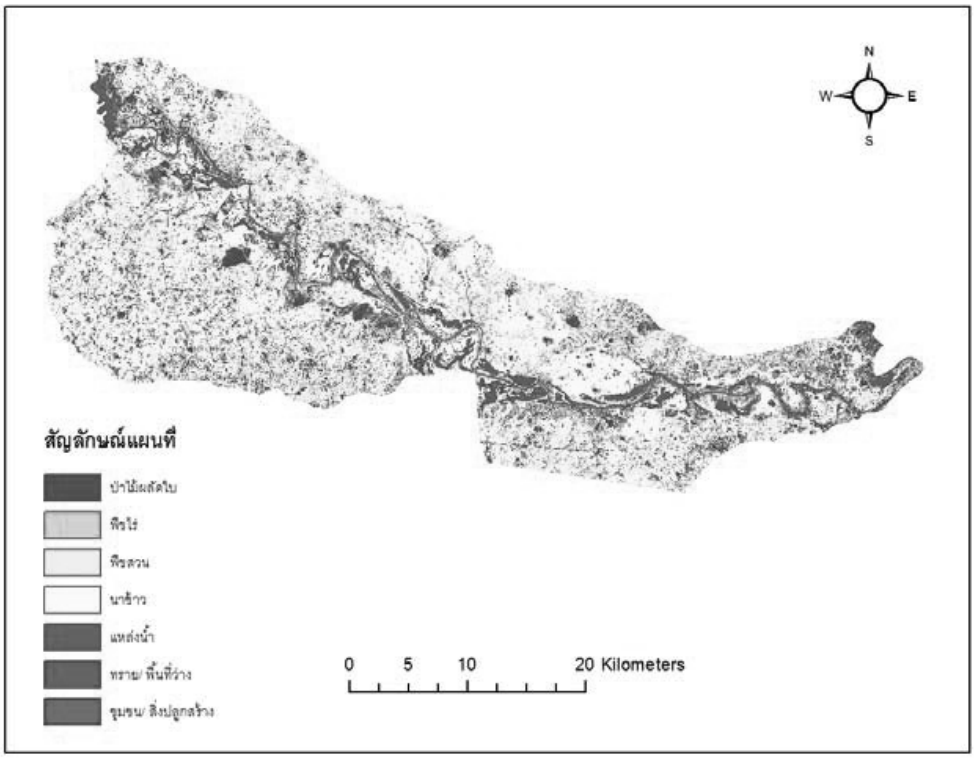


Figure 3 Land use in 2009

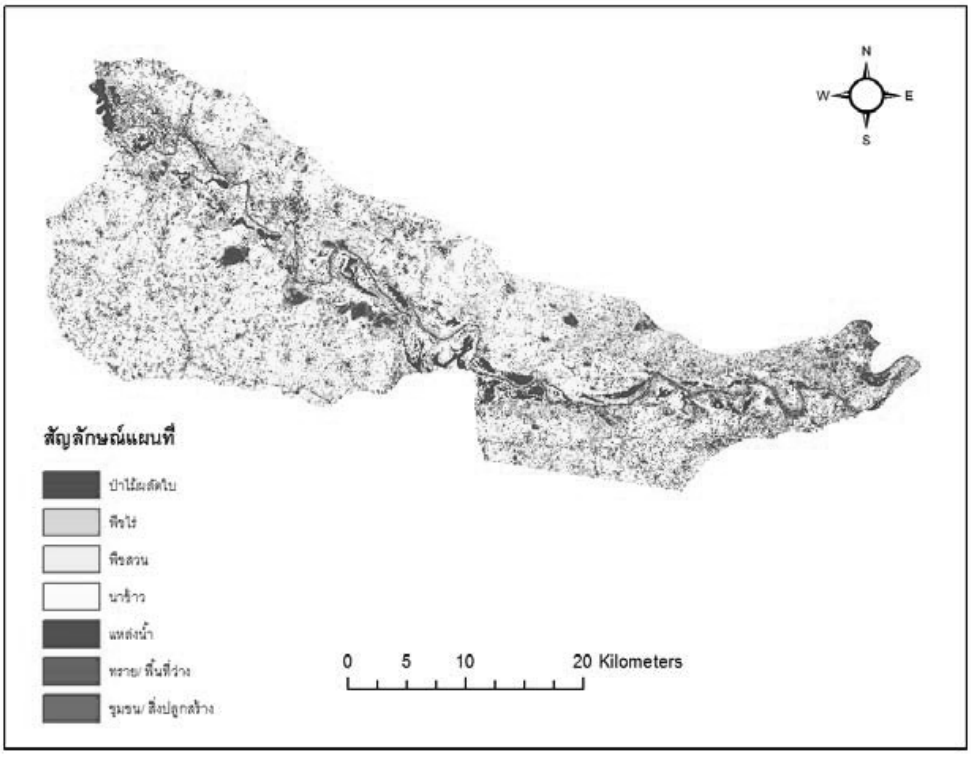


Figure 4 Land use in 2014

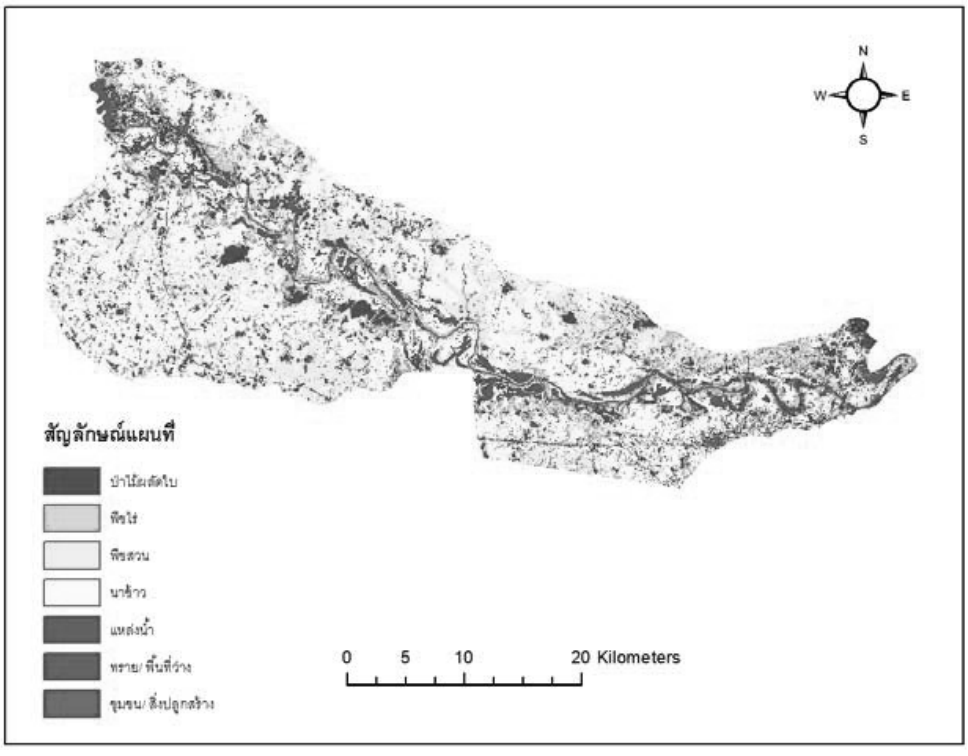


Figure 5 Prediction of Land use in 2019

ตัวแบบพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง

Forecasting Model for the Prices of Durian Mon Thong

วรางคณา เรียนสุทธิ์[1*]

Warangkhana Riansut[1*]

Received: 16 February 2016; Accepted: 8 May 2016

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของราคาทุเรียนหมอนทองด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม โดยใช้อนุกรมเวลาราคาทุเรียนหมอนทองเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 137 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2558 จำนวน 132 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 5 ค่า สำหรับการตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าจากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

คำสำคัญ: ราคา ทุเรียน บอกซ์-เจนกินส์ การทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

Abstract

The objective of this research was to construct the appropriate forecasting model of the durian Mon Thong's prices by using the Box-Jenkins method and Holt's exponential smoothing, Brown's exponential smoothing, and damped trend exponential smoothing. Time series data consist of the average prices per month of durian Mon Thong obtained from the website of Office of Agricultural Economics during January 2005 to May 2016 with total 137 values. The data are divided into two series; the first is from January 2005 through December 2015 with 132 values used to construct the models, and the second is from January through May 2016 with 5 values used to examine the accuracy of forecasting models via the criteria of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean squared error (RMSE). The results show that for all forecasting methods that have been studied, Brown's exponential smoothing method is the most suitable for this time series.

Keywords: price**,** durian, Box-Jenkins, exponential smoothing

บทนำ

ประเทศไทยมีสภาพพื้นที่และภูมิอากาศเหมาะสมต่อการผลิตผลไม้เมืองร้อนหลากหลายชนิด ส่งผลให้มีผลไม้หมุนเวียนออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี ตั้งแต่ภาคเหนือจนถึงภาคใต้ ผลไม้หนึ่งของไทยที่มีชื่อเสียงและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก คือ ทุเรียน เนื่องจากเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศมีสัดส่วนการส่งออกสูง ทั้งในตลาดสหภาพยุโรป (European Union หรือ EU) และประเทศอื่นๆ[1] อีกทั้งทุเรียนยังได้รับการยกย่องให้เป็นราชาของผลไม้อีกด้วย[2] ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและผู้ส่งออกทุเรียนรายใหญ่ของโลก มีการส่งออกในรูปทุเรียนสดประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมด และมีตลาดหลักของการส่งออก คือ ประเทศจีน

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210*

[1] *Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Thaksin University, Phatthalung, 93210.*

ขณะที่การส่งออกทุเรียนแช่แข็งและทุเรียนกวน มีสัดส่วนการส่งออกประมาณร้อยละ 10 และมีตลาดหลักของการส่งออก คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย ออสเตรเลีย และเนเธอร์แลนด์[3] ดังนั้นการปลูกทุเรียน โดยเฉพาะทุเรียนหมอนทอง จึงสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นอย่างมาก แต่จากปัญหาที่เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนประสบอยู่ในทุกๆ ปี คือ มีผลผลิตล้นตลาดในช่วงที่มีการออกผลผลิตพร้อมๆ กัน ทำให้ราคาของผลผลิตเริ่มตกต่ำ เกษตรกรจึงประสบกับภาวะขาดทุน ทำให้มีการนำทุเรียนมาแปรรูปเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้า อย่างไรก็ตาม ราคาทุเรียนหมอนทองยังคงมีความผันผวนค่อนข้างสูง[4] อาจเพราะภาวะเศรษฐกิจ ปริมาณการผลิต ปริมาณการบริโภค และปัจจัยอื่นๆ ด้วยเหตุผลของความไม่แน่นอนดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำราคาทุเรียนหมอนทองในอดีตมาสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยการศึกษาครั้งนี้ให้ความสนใจกับการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทองด้วยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ผลการวิจัยที่ได้จะถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการตัดสินใจและการบริหารจัดการด้านความเสี่ยงต่างๆ เช่น ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถคาดการณ์ราคาทุเรียนหมอนทองได้ล่วงหน้า เพื่อวางแผนการปลูก ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีความมั่นใจถึงผลตอบแทนที่จะได้รับในอนาคตต่อไป

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร[4] เป็นอนุกรมเวลาราคาทุเรียนหมอนทองคละที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา เฉลี่ยต่อเดือน (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 137 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2558 จำนวน 132 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เนื่องจากได้พิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ของข้อมูลชุดที่ 1 แล้วพบว่า วิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีการพยากรณ์อื่นๆ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 5 ค่า นำมาใช้สำหรับการตรวจสอบความแม่น (Accuracy) ของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และเกณฑ์ RMSE ที่ต่ำที่สุด

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังนี้

Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลา และค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

$\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน

β_0 และ β_1 แทนพารามิเตอร์ของตัวแบบแสดงระยะตัดแกน และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t ของ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

α , γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0<\alpha<1$, $0<\gamma<1$ และ $0<\phi<1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

รายละเอียดของแต่ละวิธีการพยากรณ์ แสดงดังนี้

1. การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

การกำหนดตัวแบบของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ทำได้โดยการตรวจสอบคุณสมบัติฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary Time Series) กรณีที่อนุกรมเวลาไม่คงที่ ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะกำหนดตัวแบบ[5] ตัวแบบทั่วไปของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)$_s$ แสดงดังสมการที่ (1)[6] และขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์แสดงรายละเอียดในวารางคณา กีรติวิบูลย์ [7]

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)\varepsilon_t \quad (1)$$

เมื่อ $\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^s)$ แทนค่าคงตัว โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่

$\phi_p(B) = 1-\phi_1 B-\phi_2 B^2-\ldots-\phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\Phi_P(B^s) = 1-\Phi_1 B^s-\Phi_2 B^{2s}-\ldots-\Phi_P B^{Ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \ldots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \ldots - \Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของผลต่างและผลต่างฤดูกาลตามลำดับ

s แทนจำนวนฤดูกาล

B แทนตัวดำเนินการย้อนหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

2. การพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

การพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบ (Smoothing Method) คือ การพยากรณ์โดยใช้ค่าสังเกตจากอดีตส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดในการสร้างสมการพยากรณ์ ซึ่งน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตแต่ละค่าจะแตกต่างกัน เหตุผลสำคัญที่มีการใช้วิธีการทำให้เรียบ เนื่องจากอนุกรมเวลาอาจเกิดความผันแปรจากเหตุการณ์ที่ผิดปรกติ ทำให้ไม่เห็นส่วนประกอบของอนุกรมเวลาอื่นๆ ซึ่งวิธีการทำให้เรียบจะช่วยลดอิทธิพลของความผันแปรดังกล่าวได้ ดังนั้นส่วนประกอบของอนุกรมเวลาแต่ละส่วนจึงปรากฏชัดเจนขึ้น ทำให้สามารถพยากรณ์ค่าของอนุกรมเวลาในอนาคตได้ สำหรับวิธีการทำให้เรียบนั้นมีวิธีการหลายวิธี และการใช้งานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอนุกรมเวลา ซึ่งวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเฉพาะส่วนประกอบของแนวโน้ม มีรายละเอียดดังนี้

2.1 วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

การทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงตัวการทำให้เรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบเขียนได้ดังสมการที่ (2) และตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังสมการที่ (3)[8]

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \qquad (2)$$

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \qquad (3)$$

เมื่อ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$

$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma) b_{t-1}$

2.2 วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

การทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าระดับและค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าความชันเท่ากัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์เป็นกรณีพิเศษของการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ตัวแบบเขียนได้ดังสมการที่ (2) และตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังสมการที่ (4)[9]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t\left[(m-1) + \frac{1}{\alpha}\right] \qquad (4)$$

เมื่อ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha) a_{t-1}$

$b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha) b_{t-1}$

2.3 วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

การทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง โดยที่ยอมรับว่าความชันมีค่าลดลงตามเวลา มีค่าคงตัวการทำให้เรียบ 3 ตัว คือ ค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าระดับ (α) ค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าความชัน (γ) และค่าคงตัวการทำให้เรียบของค่าความชันแบบแดม (Damped Trend) (ϕ)[10] ตัวแบบเขียนได้ดังสมการที่ (2) และตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังสมการที่ (5)[9]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^{m} \phi^i \qquad (5)$$

เมื่อ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$

$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$

3. การตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการทั้งหมด 4 วิธี คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม โดยทำการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทองของข้อมูลชุดที่ 2 คือ อนุกรมเวลาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 5 ค่า ได้ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ (Error: e_t) เพื่อคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) มีสูตรแสดงดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ[8] วิธีการพยากรณ์ใดมีค่า MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด คือ วิธีที่มีความแม่นในการพยากรณ์มากที่สุด

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n_2}\sum_{t=1}^{n_2}\left|\frac{e_t}{Y_t}\right| \qquad (6)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n_2}\sum_{t=1}^{n_2}e_t^2} \qquad (7)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

4. การพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง

จากการตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เมื่อทราบว่าตัวแบบพยากรณ์ใดมีค่า MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด จะใช้ตัวแบบพยากรณ์นั้นสำหรับการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม 2559 ต่อไป

ผลการศึกษา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 คือ ราคาทุเรียนหมอนทอง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2558 จำนวน 132 ค่า ดัง (Figure 1) พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและคาดว่าจะมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลจริงหรือไม่ ดังนี้

เนื่องจากราคาทุเรียนหมอนทองในแต่ละปี ไม่มีการแจกแจงปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละปี โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ผลการตรวจสอบพบว่า ราคาทุเรียนหมอนทองในแต่ละปี มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (χ^2 = 59.751, p-value < 0.0001) หมายความว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม

เนื่องจากราคาทุเรียนหมอนทองในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร (อนุกรมเวลาชุดที่ 1 มีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ จึงปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร) มีการแจกแจงปกติ และมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance) ผลการตรวจสอบพบว่า ราคาทุเรียนหมอนทองในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (F ที่องศาเสรีเป็น 11 และ 120 = 1.935, p-value = 0.041) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลที่เป็นรายเดือน

จากผลการตรวจสอบ พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีเฉพาะส่วนประกอบของแนวโน้ม และไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นวิธีที่ควรนำมาใช้สร้างตัวแบบพยากรณ์ จึงควรเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเฉพาะแนวโน้ม ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

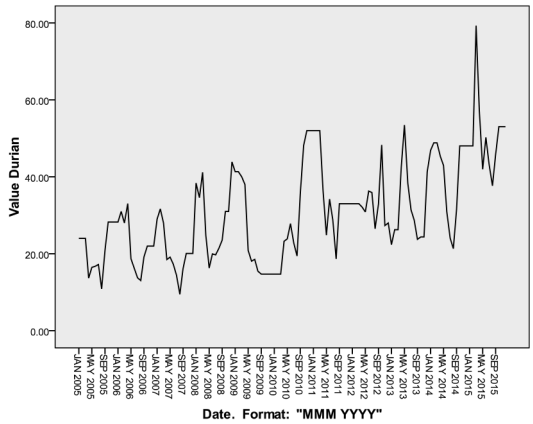


Figure 1 Run plot for the durian Mon Thong's prices during January 2005 through December 2015

1. ผลการพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

จากกราฟ ACF และ PACF ดังรูปที่ 2 พบว่าอนุกรมเวลายังไม่คงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1 (d = 1) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ ARIMA(0, 1, 0) พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ ซึ่งคือ ค่าคงตัว (δ) มีค่าเท่ากับ 0.22168 มีค่า BIC เท่ากับ 4.155 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 6 = 10.356, p-value = 0.585) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) ดังนั้นตัวแบบ ARIMA(0, 1, 0) มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนตัวแบบได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = 0.22168 + Y_{t-1} \qquad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_{t-1} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t – 1

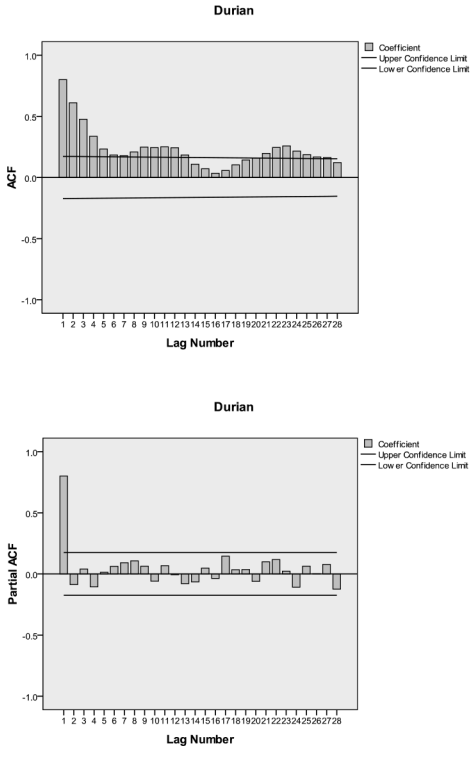


Figure 2 ACF and PACF of the durian Mon Thong's prices

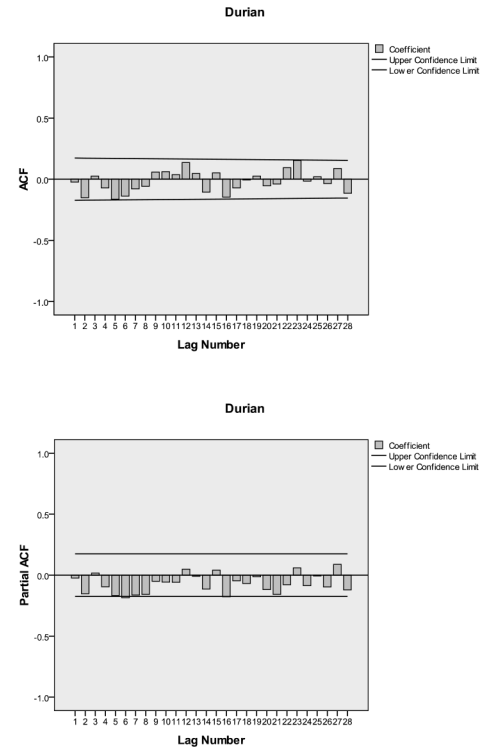


Figure 3 ACF and PACF of the first difference, d = 1, of the durian Mon Thong's prices

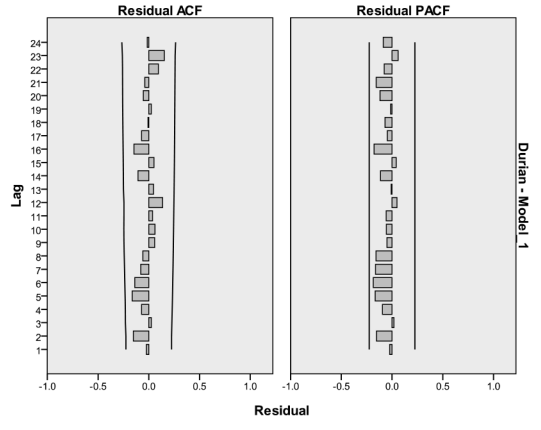


Figure 4 ACF and PACF of the errors from Box-Jenkins method

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

2.1 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 4.191 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 6 = 10.448, p-value =

0.577) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดใน (Figure 5) ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 53.04022 + 0.20503(m) \qquad (9)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 ถึง 5 (เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559)

α และ γ มีค่าเท่ากับ 0.99893 และ 0.00002 ตามลำดับ

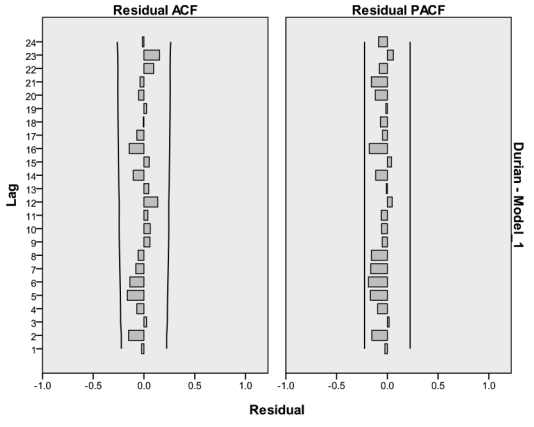


Figure 5 ACF and PACF of the errors from Holt's exponential smoothing method

2.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 4.402 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 6 = 21.028, p-value = 0.050) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน แสดงรายละเอียดใน (Figure 6) ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 51.99688 + 1.57912\left[(m-1) + \frac{1}{0.51206}\right] \qquad (10)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 ถึง 5 (เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559)

α มีค่าเท่ากับ 0.51206

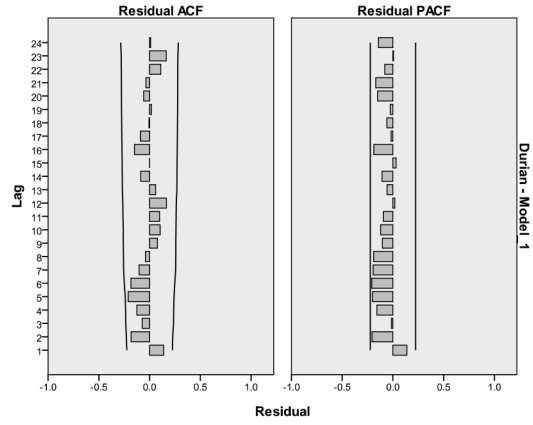


Figure 6 ACF and PACF of the errors from Brown's exponential smoothing method

2.3 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 4.237 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 6 = 10.450, p-value = 0.577) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียด (Figure 7) ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 53.04 + 0.000000003\sum_{i=1}^{m}(0.000304)^{i} \qquad (11)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 ถึง 5 (เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559)

α , γ และ ϕ มีค่าเท่ากับ 0.998999, 0.00031 และ 0.000304 ตามลำดับ

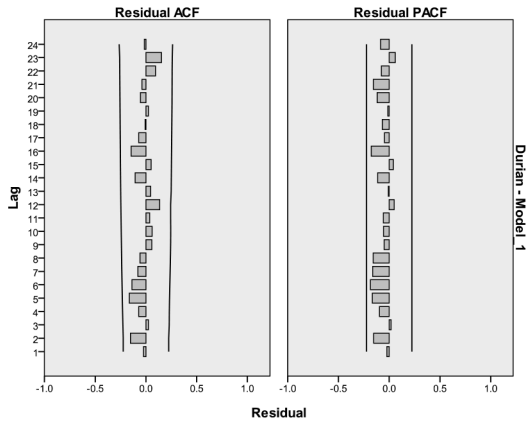


Figure 7 ACF and PACF of the errors from damped trend exponential smoothing method

3. ผลการตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ในสมการที่ (8) โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ในสมการที่ (9) โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ในสมการที่ (10) และโดยวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมในสมการที่ (11) สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ราคาทุเรียนหมอนทอง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 5 ค่า ได้ค่าพยากรณ์ ค่า MAPE และค่า RMSE แสดง (Table 1) และ (Figure 8) ถึง (Figure 9) ผลการตรวจสอบพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เป็นวิธีที่มีความแม่นในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด หรือมีค่า MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด จึงมีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

4. ผลการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง

จากการตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการนี้ในการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทองในอนาคต ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม 2559 รายละเอียดแสดง (Table 2)

วิจารณ์และสรุปผล

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาทุเรียนหมอนทอง โดยใช้อนุกรมเวลารายเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 137 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2558 จำนวน 132 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 จำนวน 5 ค่า สำหรับการตรวจสอบความแม่นของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และเกณฑ์ RMSE ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เป็นวิธีที่มีความแม่นในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด หรือมีค่า MAPE และค่า RMSE ต่ำที่สุด จึงมีความเหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทองในอนาคตต่อไป โดยตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 51.99688 + 1.57912\left[(m-1) + \frac{1}{0.51206}\right]$$

เมื่อ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า โดยมีค่าเริ่มต้น คือ เดือนมกราคม 2559 (m = 1)

Table 1 Durian Mon Thong's prices and forecasts (Baht/Kilogram), during January through May 2016

Time	Durian Mon Thong's prices	Forecasts of Durian Mon Thong's prices by			
		Box-Jenkins	Holt	Brown	Damped
January 2016	53.04	53.26	53.26	55.08	53.04
February 2016	53.04	53.48	53.48	56.66	53.04
March 2016	53.04	53.71	53.71	58.24	53.04
April 2016	64.30	53.93	53.93	59.82	53.04
May 2016	75.47	54.15	54.15	61.40	53.04
MAPE		**9.3769**	**9.3860**	**9.2171**	**9.4464**
RMSE		**10.6091**	**10.6541**	**7.2435**	11.2240

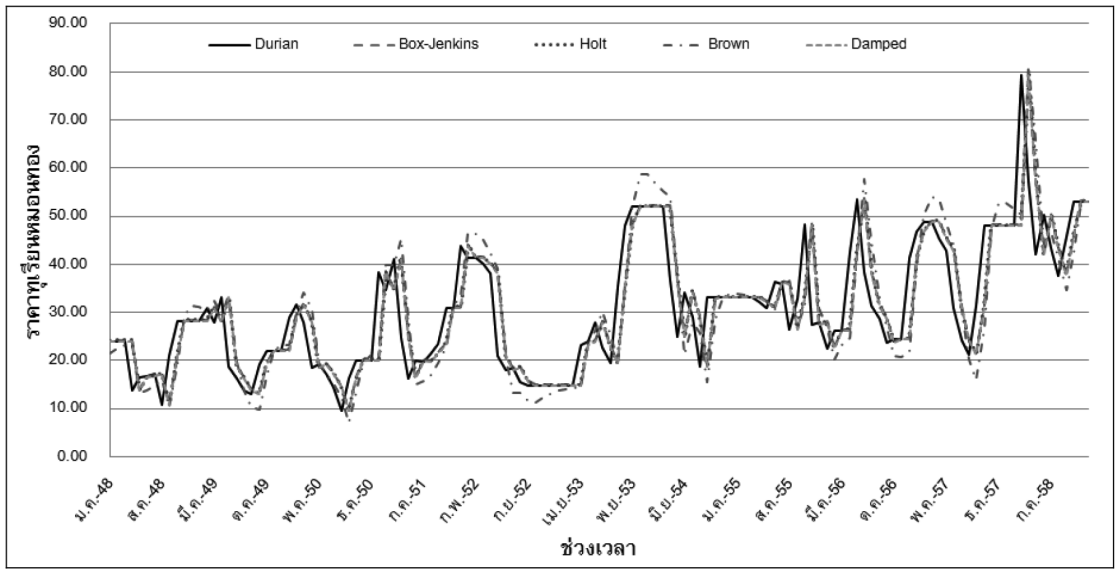


Figure 8 Comparison of the durian Mon Thong's prices, during January 2005 through December 2015, and its forecasts

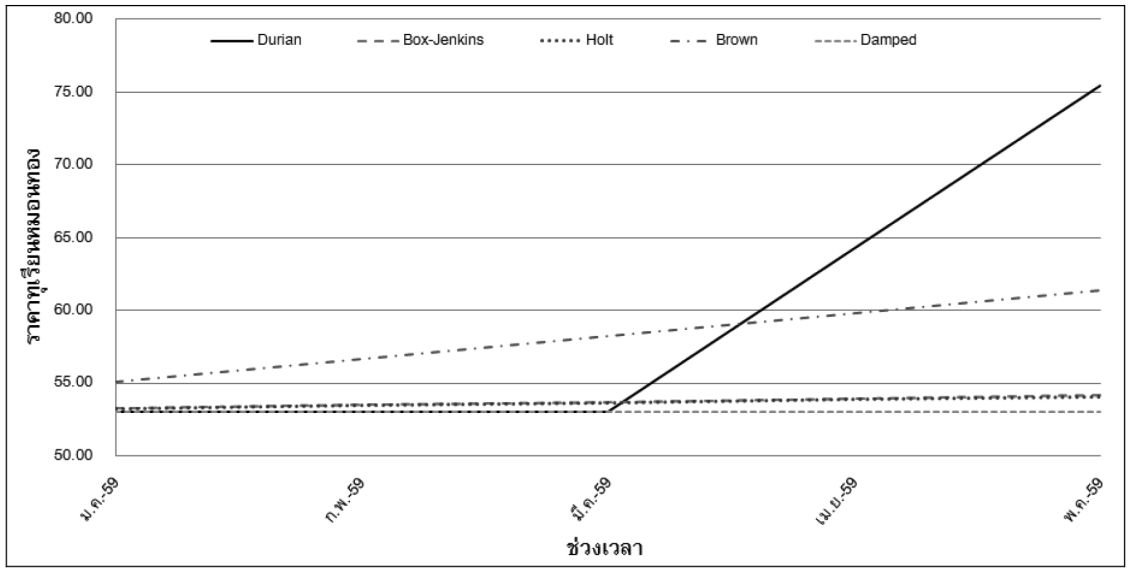


Figure 9. Comparison of the durian Mon Thong's prices, during January through may 2016, and its forecast

Figure 9 Comparison of the durian Mon Thong's prices, during January through may 2016, and its forecasts

Table 2 Forecasts of Durian Mon Thong's prices (Baht/Kilogram), during June through December 2016 by Brown's exponential smoothing method

Time	Forecasts	Time	Forecasts
June 2016	62.98	October 2016	69.29
July 2016	64.56	November 2016	70.87
August 2016	66.13	December 2016	72.45
November 2016	67.71		

เมื่อใช้วิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ในการพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม 2559 ได้ค่าพยากรณ์เป็น 62.98, 64.56, 66.13, 67.71, 69.29, 70.87 และ 72.45 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการพยากรณ์ครั้งนี้ พบว่า ราคาทุเรียนหมอนทองเป็นไปในทิศทางเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม จากผลการใช้ตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ราคาทุเรียนหมอนทอง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2559 พบว่า ค่าพยากรณ์ของเดือนเมษายนและพฤษภาคมจะมีค่าต่ำกว่าค่าจริง ดังนั้นผู้นำตัวแบบการพยากรณ์ไปใช้ประโยชน์ควรระมัดระวังประเด็นนี้ด้วย อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของราคาทุเรียนหมอนทอง อาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น พื้นที่การปลูก ไม่ควรจะพยากรณ์ราคาทุเรียนหมอนทองออกไปไกลมากนัก และเมื่อมีราคาที่เป็นปัจจุบันมาเพิ่มเติม ควรนำมาปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. เพ็ญแข อินทรสุวรรณ. เส้นทางผักผลไม้ไทยไปสหภาพยุโรป [serial online] มีนาคม 2555 ได้จาก: http://www.mfa.go.th/business/th/articles/88/14453- July 5 2016.
2. กรณ์กาญจน์ ภมรประวัติธนะ. มหัศจรรย์ทุเรียน ราชาของผลไม้. นิตยสารหมอชาวบ้าน มิถุนายน (362): 2552 ได้จาก: http://doctor.or.th/article/detail/7518 July 5 2016.
3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้ม ปี 2556 [serial online] ธันวาคม 2555 ได้จาก: http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_web/download/journal/trends2556.pdf July 5 2016.
4. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ราคาสินค้าเกษตรที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา [serial online] กรกฎาคม 2559 ได้จาก: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=9749 July 5 2016.
5. Bowerman BL, O'Connell, RT. Forecasting and time series: an applied approach. 3rd ed. California: Duxbury Press; 1993.
6. Box GEP, Jenkins GM, Reinsel, GC. Time series analysis: forecasting and control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
7. วรางคณา กีรติวิบูลย์. ตัวแบบพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคปอดอักเสบในประเทศไทย. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา 2559; 11(1): 24-38.
8. สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ; 2548.
9. IBM Corporation. IBM SPSS Statistics Information Center [serial online] 2016 July. Available from: URL: http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/spssstat/v20r0m0/index.jsp? Accessed July 4 2016.
10. มุกดา แม้นมินทร์. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: บริษัท โฟร์พริ้นติ้ง จำกัด; 2549.

การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน
Application of Fuzzy Logic System for Evaluating Students' Learning Achievement

สุวรรณี ธูปจีน,[1] มณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ,[2] มนต์ชัย เทียนทอง,[2]
Suwannee Thoobjeen,[1] Montean Rattanasiriwongwut,[2] Monchai Tiantong,[2]
Received: 26 January 2016; Accepted: 23 April 2016

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic system) สำหรับใช้ในกระบวนการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ในงานวิจัยได้ศึกษาหลักการทำงานและองค์ประกอบของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เช่น ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ฐานกฎถ้าแล้ว (If-then rule base) และตัวแปลภาษา (linguistic variable) เป็นต้น พร้อมทั้งแสดงวิธีการนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปประยุกต์ใช้ให้กับผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในกระบวนการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือในระบบประเมินผลได้นำผลคะแนนสอบที่ได้จากการสอบวัดความรู้ความสามารถจากกลุ่มตัวอย่างผู้เรียนมาทำการประเมินผลสัมฤทธิ์เป็นเพียงผ่านหรือไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบวิธีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับวิธีอื่น ๆ อีกสองวิธี ได้แก่ วิธี Classical Method และวิธี T-score

คำสำคัญ: ตรรกศาสตร์คลุมเครือ การประเมินผลสัมฤทธิ์

Abstract
This research presents the application of a fuzzy logic system for evaluating students' learning achievement. It study the principles and the configurations behind the fuzzy logic system such as membership function, If-then rule base, linguistic variable and illustrates how. These principles could be applied by educators for evaluating students. In this system student performance depends on exam paper results and it is evaluated only as success or failure. In addition, the researchers also compared the fuzzy evaluation method with classical method and t-score method.

Keywords: fuzzy logic, evaluating students' learning achievement

บทนำ
การประเมินผลผู้เรียนเป็นกระบวนการอย่างมีระบบ ที่นำข้อมูลจากการวัดผลมาตีค่าและตัดสินคุณภาพของผู้เรียน ซึ่งการวัดและการประเมินผลเป็นกระบวนการที่มีความต่อเนื่องกัน เมื่อมีการวัดผลจะทำให้ได้ข้อมูลและรายละเอียดหลายด้าน และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเพื่อตีค่า หรือสรุปคุณค่าออกมาถือว่าเป็นกระบวนการประเมิน ผลการประเมินจะมีความถูกต้องเที่ยงตรงเพียงใดขึ้นอยู่กับความถูกต้องของผลการวัด ถ้าผลการวัดถูกต้องการประเมินก็จะมีความน่าเชื่อถือได้มากและตรงตามความเป็นจริง ถ้าผลการวัดผิดพลาดการประเมินก็จะผิดพลาดไปด้วย[1]

กระบวนการวัดและประเมินผลที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองวิธี ได้แก่ การวัดและประเมินผลแบบอิงเกณฑ์และอิงกลุ่ม การตัดสินแบบอิงเกณฑ์นั้นจะนำผลการสอบของผู้เรียนแต่ละคนไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ขณะที่การวัดและประเมินผลแบบอิงกลุ่มจะใช้หลักการเปรียบเทียบกันเอง

[1] *นิสิตปริญญาเอก, [2]อาจารย์, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800,*

[1] *doctor degree student, [2]Lecturer, Faculty of Information Technology, 1518 Pracharat 1 Road,Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800*

ภายในกลุ่มจากผลสอบของผู้เรียนทุกคนที่ปรากฏ ว่าควรจะตัดสินให้ใครมีระดับผลการเรียนสูงหรือต่ำกว่ากันอย่างไร ดังที่นักวิชาการหลายท่านได้เสนอไว้ เช่น วิธีของ Dewey B. Stuit วิธีของ Douglas และวิธีของ John R. Hill เป็นต้น และในปัจจุบันก็ได้มีกลุ่มนักวิจัยได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับใช้ในกระบวนการวัดและประเมินผลด้วยทฤษฎีระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic system) ตัวอย่างเช่นนำไปใช้แก้ปัญหาการจัดลำดับผู้เรียนในกรณีที่ผู้เรียนมีผลคะแนนซ้ำกัน โดยทำการศึกษาพิจารณาจากปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ความยาก (Difficulty) ความสำคัญ (Importance) และความซับซ้อน (Complexity) ของคำถามในแต่ละข้อ[2,3,4] และยังนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการตรวจข้อสอบอัตนัยในกรณีที่มีผู้ตรวจหลายคนโดยระบบอนุมานตรรกศาสตร์คลุมเครือจะทำการประเมินลักษณะการตรวจให้คะแนนของผู้ตรวจแต่ละคน[5] นอกจากนี้ยังนำมาใช้ประเมินผลการเรียนโดยใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการเรียน เช่น ปัจจัยทางด้านครอบครัว ปัจจัยทางด้านผู้สอน และปัจจัยทางด้านสถานศึกษา[6] ร่วมถึงยังสามารถนำไปใช้ประเมินระดับคุณภาพความรู้สำหรับระบบการจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันการศึกษา โดยใช้วิธีการตัดสินใจร่วมกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (AHP)[7] เป็นต้น และเมื่อนำวิธีการวัดและประเมินผลผู้เรียนด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปเปรียบเทียบกับวิธีทางสถิติอื่น ๆ พบว่าค่าของผลสัมฤทธิ์ที่ได้สามารถเพิ่มโอกาสให้ผู้เรียนมีผลการประเมินที่สูงขึ้นและตรงตามสภาพความเป็นจริง[8,9,10]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ด้วยเทคนิคระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยในงานวิจัยได้ศึกษาถึงหลักการทำงานและองค์ประกอบของระบบ เช่น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ฐานกฎถ้าแล้ว (If-then rule base) ตัวแปลภาษา (Linguistic variable) และวิธีการอนุมาน (Fuzzy inference system) พร้อมทั้งแสดงขั้นตอนการนำใช้ให้กับผู้สอนสามารถนำไปเป็นเครื่องมือใช้ในกระบวนการวัดและประเมินผลผู้เรียน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความคลุมเครือ ไม่ชัดเจน คล้ายกับตรรกะความคิดของมนุษย์ คิดค้นโดย L. A. Zadeh[11] ในปี ค.ศ. 1965 ที่อาศัยฟัซซีเซต (Fuzzy set) เพื่อสื่อสารถึงความไม่แน่นอน[12] ฟัซซีเซตเป็นเซตที่กำหนดให้มีค่าความเป็นสมาชิก (Degree of membership) ภายในเซตอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งแตกต่างจากเซตแบบฉบับ (Classical set) ที่มีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าเท่านั้น คือ 0 หมายถึงไม่เป็นสมาชิกในเซต และ 1 หมายถึงเป็นสมาชิกในเซต การกำหนดระดับความเป็นสมาชิกภายในเซตของตัวแปรที่ต้องการใช้งานนั้นจะต้องอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญต่อการดำเนินการภายในระบบฟัซซี เพราะชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหาภายในระบบ โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 3 ชนิด ได้แก่

ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular MF) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ {a b c} ดังสมการที่ 1

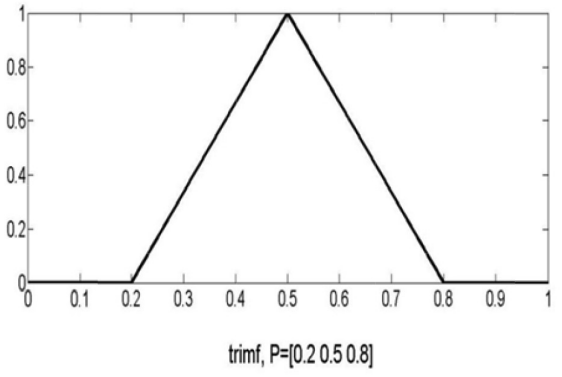
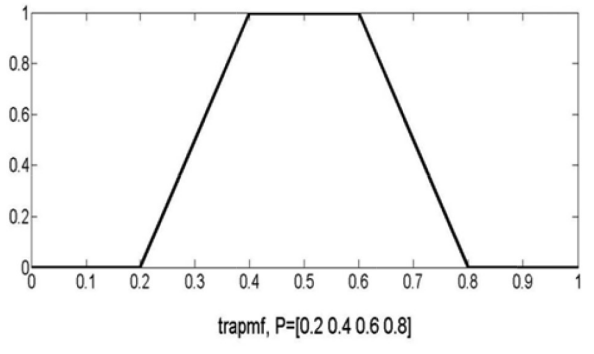


Figure 1 Triangular membership function

$$f(x;a,b,c)=\begin{cases}0, & x<a\\ (x-a)/(b-a), & a\le x<b\\ (c-x)/(c-b), & b\le x\le c\\ 0, & x>c\end{cases} \quad (1)$$

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal MF) มีพารามิเตอร์ 4 ค่าคือ {a b c d} ดังสมการที่ 2



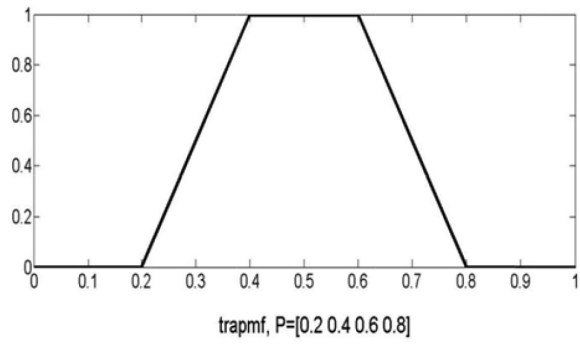


Figure 1 Trapezoidal membership function

$$f(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0, & x<a\\ (x-a)/(b-a), & a\le x<b\\ 1 & b\le x<c\\ (d-x)/(d-c), & c\le x<d\\ 0, & d\le x\end{cases} \quad (2)$$

ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian MF) มีพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ {m σ} ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการที่ 3

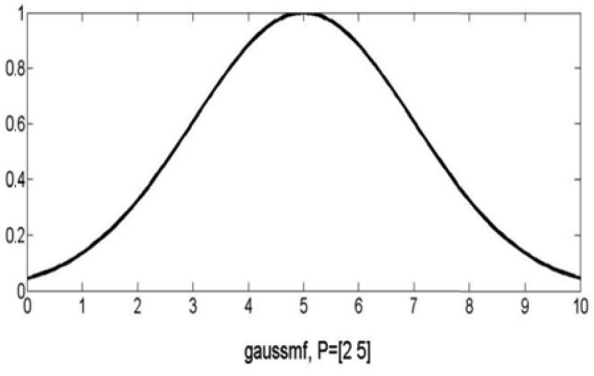


Figure 1 Gaussian membership function

$$f(x;m,\sigma)=\exp\left(-\frac{(x-m^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

การเลือกใช้ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของตัวแปร และความต้องการของผู้เชี่ยวชาญในระบบ นอกจากนี้ฟัซซีเซตยังสามารถใช้ได้กับตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic variable) เพื่อใช้แสดงถึงคุณภาพหรือปริมาณ เช่น Low Medium Good

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตทั่วไป คือ ยูเนียน อินเตอร์เซ็กชัน และ คอมพลีเมนต์

- ยูเนียน (Union) หรือ OR operation ดังสมการที่ 4

$$\mu_{A\cup B}(x)=\{x: x\in A \text{ or } x\in B\},\ \max(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \quad (4)$$

- อินเตอร์เซ็กชัน (Intersection) หรือ AND operation ดังสมการที่ 5

$$\mu_{A\cap B}(x)=\{x: x\in A \text{ and } x\in B\},\ \min(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \quad (5)$$

- คอมพลีเมนต์ (Complement) ดังสมการที่ 6

$$\mu_{\bar{A}}(x)=1-\mu_A(x) \quad (6)$$

ขั้นตอนการอนุมานในระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy inference system)

โครงสร้างภายในระบบอนุมานฟัซซีประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ การทำฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) ฐานความรู้ (Knowledge base) การอนุมานหรือการตีความ(Fuzzy inference) และการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) ดังแสดงใน (Figure 1)

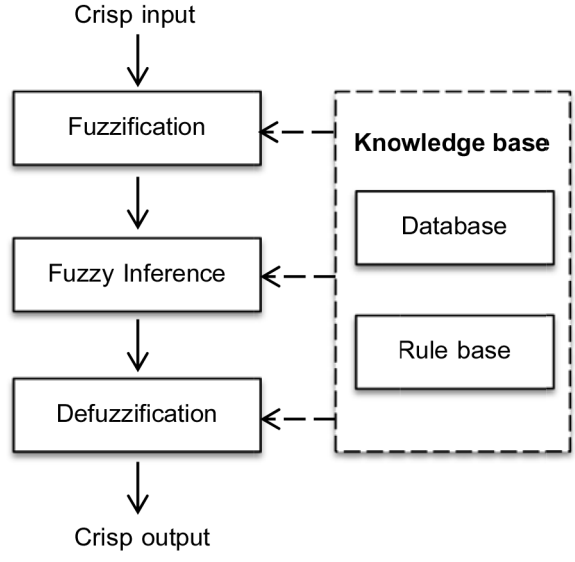


Figure 1 Fuzzy inference system

ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มด้วย ขั้นตอนที่ 1 การทำฟัซซิฟิเคชัน คือการแปลงค่าของข้อมูลนำเข้าเป็นค่าฟัซซีนำเข้า ด้วยการคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้า (Crisp input) โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ขั้นตอนที่ 2 การอนุมานหรือการตีความ เป็นการนำค่าฟัซซีนำเข้าไปตีความหรืออนุมานผ่านกฎฟัซซีที่ตั้งขึ้นมาและได้ผลลัพธ์เป็นค่า

ฟัซซีส่งออก โดยกฎฟัซซีที่นิยมใช้คือ กฎฟัซซีแบบ ถ้า – แล้ว (Fuzzy IF – THEN rule) ที่อาศัยหลักการของเหตุและผล และในขั้นตอนสุดท้ายการทำดีฟัซซิฟิเคชันให้เป็นค่าปกติ (Crisp output) โดยการนำค่าฟัซซีส่งออกมาแปลงเป็นค่าปกติที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีถัวเฉลี่ย ถ่วงน้ำหนัก วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง เป็นต้น

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้นำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจำนวน 25 คน ในการสอบปฏิบัติวิชาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 100 คะแนน คือ Exam 1 และ Exam 2 และได้ทำการตรวจเก็บรวบรวมคะแนนดังแสดงข้อมูลใน (Table 1)

Table 1 Students' score Exam1 and Exam2

No	Examination		No	Examination	
	Exam1	*Exam2*		*Exam1*	*Exam2*
1	27	35	14	61	54
2	41	30	15	70	50
3	50	29	16	52	69
4	35	49	17	53	76
5	42	47	18	71	63
6	48	42	19	75	62
7	41	50	20	68	81
8	29	65	21	79	72
9	31	68	22	63	91
10	42	52	23	76	84
11	49	59	24	89	95
12	48	68	25	100	100
13	49	65			

โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านการประเมินผลสัมฤทธิ์อยู่ที่ 0.50 การทดลองได้ใช้เครื่องมือ Fuzzy logic toolbox ในโปรแกรม Matlab ช่วยในการออกแบบระบบ และทำการเปรียบเทียบวิธีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้วยวิธีระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือร่วมกับวิธีอื่น ๆ อีก 2 วิธี ซึ่งได้แก่ Classical method และ t-score ดังนี้

วิธี Classical method

วิธีแบบดังเดิม คือ วิธีการกำหนดสัดส่วนความสัมพันธ์ของคะแนนที่ได้จากการสอบกับจำนวนคะแนนรวมทั้งหมด ดังสมการที่ 7

$$\frac{Exam1 + Exam2}{FullMarks} = Performance \qquad (7)$$

วิธี T-score method

คะแนนทีเป็นการแปลงข้อมูลดิบให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน หรือที่เรียกว่าแปลงให้เป็นคะแนนมาตรฐาน คะแนนมาตรฐานทีจะมีค่าเฉลี่ยเป็น 50 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 10 มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 แปลงคะแนนดิบให้เป็นมาตรฐานซีเสียก่อน ดังสมการที่ 8

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{S} \qquad (8)$$

ขั้นที่ 2 แปลงคะแนนมาตรฐานซี ให้เป็นคะแนนมาตรฐานทีด้วยสูตร ดังสมการที่ 9

$$T = 10\ Z + 50 \qquad (9)$$

วิธี Fuzzy logic method

การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ขั้นตอนเริ่มต้นนั้น ผู้สอนจะต้องทำการกำหนดองค์ประกอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้องในระบบ ได้แก่ จำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า จำนวนตัวแปรข้อมูลนำออก จำนวนตัวแปรภาษา ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และจำนวนกฎ

Table 2 Fuzzy set of input variables

Input variables (Exam1 and Exam2)		
Linguistic Variables	***MF type***	***Interval***
Low	Trapmf	0,0,20,40
Medium	Trimf	20,40,60
Good	Trimf	40,60,80
Very Good	Tramfl	60,80,100,100

Table 3 Fuzzy set of input variables

Output variables (Performance)		
Linguistic Variables	***MF type***	***Interval***
Low	Trapmf	0,0,0.2,0.4
Medium	Trimf	0.2,0.4,0.6
Good	Trimf	0.4,0.6,0.8
Very Good	Trapmf	0.6,0.8,1,1

จาก (Table 2) และ (Table 3) คือการกำหนดจำนวนตัวแปรภาษาและค่าพารามิเตอร์ฟังชันความเป็นสมาชิกให้กับข้อมูลนำเข้า Exam1 และข้อมูลนำออก Exam2 ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปภาพที่ 2 และ 3 ประกอบไปด้วยระดับการประเมินผล 4 ระดับ Low Medium Good และ Very good ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าฟัซซีเซต

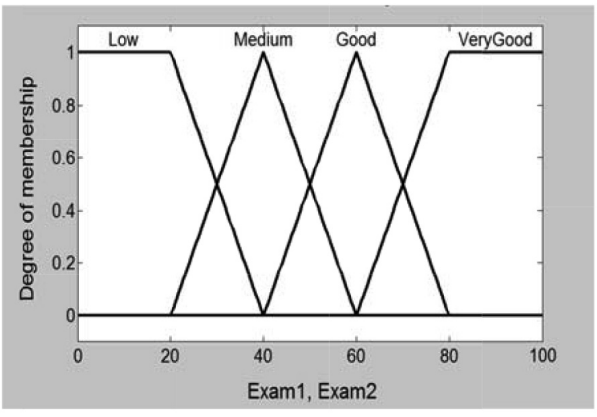


Figure 2 Triangular membership function of Input Exam 1 and Input Exam 2

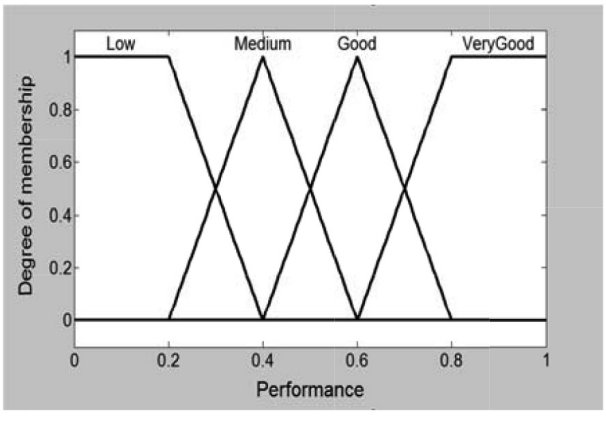


Figure 3 Triangular membership function of Output Performance

จำนวนกฎที่ใช้ในการอนุมานมีทั้งหมด 16 กฎจะอยู่ในรูปของ IF-THEN ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวอนุมาน IF เป็นกฎข้อตั้งต้นถูกเชื่อมด้วยตัวเชื่อมตรรกะ AND หรือ OR ตัวอนุมาน THEN ทำหน้าที่จัดองค์ประกอบของกฎข้อตาม ดังนี้

1. (Ex1==L) & (Ex2==L) => (Performance=L)
2. (Ex1==L) & (Ex2==M) => (Performance=M)
3. (Ex1==L) & (Ex2==G) => (Performance=M)
4. (Ex1==L) & (Ex2==VG) => (Performance=G)
5. (Ex1==M) & (Ex2==L) => (Performance=M)
6. (Ex1==M) & (Ex2==M) => (Performance=M)
7. (Ex1==M) & (Ex2==G) => (Performance=G)
8. (Ex1==M) & (Ex2==VG) => (Performance=G)
9. (Ex1==G) & (Ex2==L) => (Performance=M)
10. (Ex1==G) & (Ex2==M) => (Performance=G)
11. (Ex1==G) & (Ex2==G) => (Performance=G)
12. (Ex1==G) & (Ex2==VG) => (Performance=VG)
13. (Ex1==VG) & (Ex2==L) => (Performance=M)
14. (Ex1==VG) & (Ex2==M) => (Performance=G)
15. (Ex1==VG) & (Ex2==G) => (Performance=G)
16. (Ex1==VG) & (Ex2==VG)=>(Performance=VG)

(Figure 4) เป็นองค์ประกอบภาพรวมของระบบทั้งหมด เป็นระบบแบบ Mamdani ประกอบไปด้วยข้อมูลนำเข้า Exam1 และ Exam2 ข้อมูลนำออก Performance จำนวนกฎที่ใช้ 16 กฎ

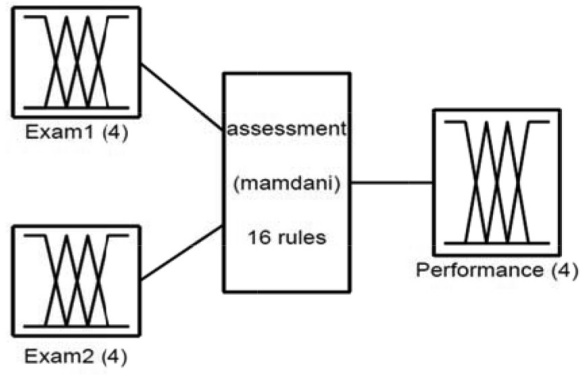


Figure 4 Assessment system: 2 inputs, 1 output, 16 rules

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการวัดและประเมินผลการเรียนจากกลุ่มตัวอย่างผู้เรียนจำนวน 25 คน แบ่งเป็นคะแนนสอบปฏิบัติ Exam1 และ Exam2 ของทั้ง 3 วิธี ได้แก่

Classical method, T-score และ Fuzzy Logic ซึ่งวิธี Classical method เป็นวิธีการคำนวณโดยนำคะแนนสอบ Exam1 รวมกับคะแนนสอบ Exam2 แล้วหารด้วยคะแนนรวมทั้งหมด ได้จากสมการที่ (7) ส่วนวิธี T-score เป็นวิธีการรวมคะแนนแบบอิงกลุ่ม โดยใช้วิธีการทางสถิติได้จากสมการที่ (8, 9) มาเปรียบเทียบกันภายในกลุ่มผู้เรียน ส่วนของวิธี Fuzzy logic เมื่อรับข้อมูลอินพุตจากคะแนนสอบ Exam1 และ Exam 2 จะถูกคำนวณเป็นค่าฟัซซีเซต แล้วนำไปอนุมานตามกฎฟัซซีว่าตรงกับกฎข้อใด ดังตัวอย่างที่แสดงใน (Figure 5) เป็นการคำนวณหาผลสัมฤทธิ์จากผลสอบ 49 และ 65 ซึ่งจะไปตรงกับกฎที่ใช้ในการอนุมานข้อที่ 6 7 11 และ 12 ดังนั้นค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้คือ 0.68

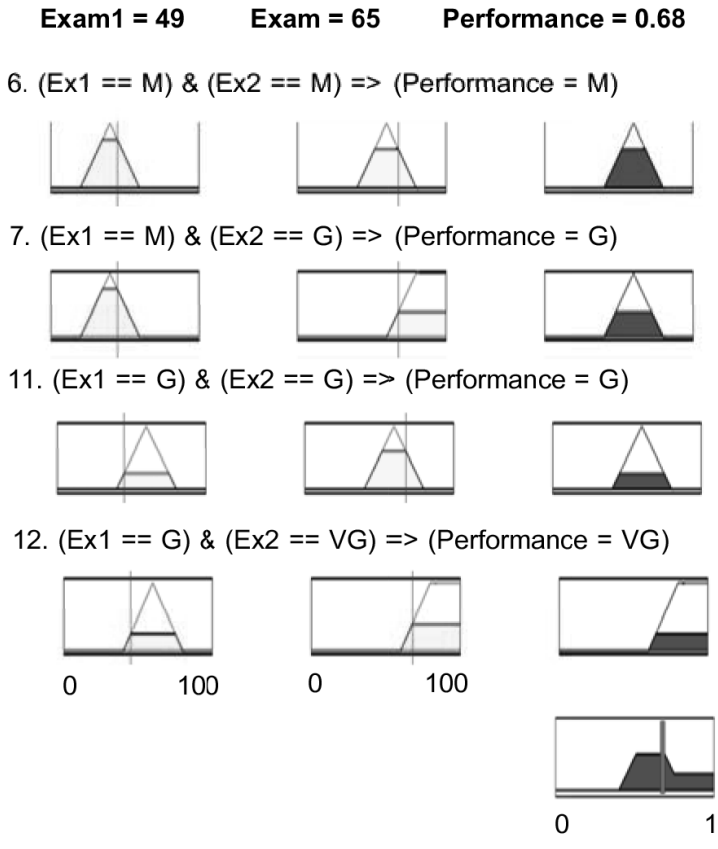
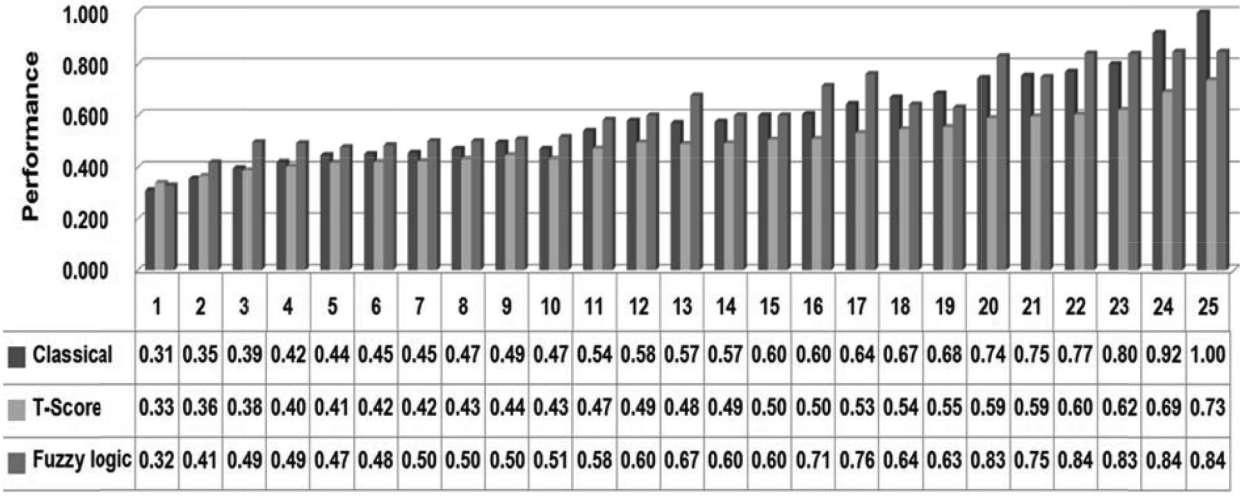


Figure 5 Active rules and performance value for exam scores of 49 and 65



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Classical	0.31	0.35	0.39	0.42	0.44	0.45	0.45	0.47	0.49	0.47	0.54	0.58	0.57	0.57	0.60	0.60	0.64	0.67	0.68	0.74	0.75	0.77	0.80	0.92	1.00
T-Score	0.33	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.43	0.47	0.49	0.48	0.49	0.50	0.50	0.53	0.54	0.55	0.59	0.59	0.60	0.62	0.69	0.73
Fuzzy logic	0.32	0.41	0.49	0.49	0.47	0.48	0.50	0.50	0.50	0.51	0.58	0.60	0.67	0.60	0.60	0.71	0.76	0.64	0.63	0.83	0.75	0.84	0.83	0.84	0.84

Figure 6 Comparison of Classical Method, T-score and Fuzzy logic for students' Learning achievement

Table 4 Comparison of Classical Method, T-score and Fuzzy logic for students' Learning achievement

No	Exam		Evaluating method			No	Exam		Evaluating method		
	1	2	Classical	T- score	FL		1	2	Classical	T- score	FL
1	27	35	Fail	Fail	Fail	14	61	54	Pass	Fail	Pass
2	41	30	Fail	Fail	Fail	15	70	50	Pass	Pass	Pass
3	50	29	Fail	Fail	Fail	16	52	69	Pass	Pass	Pass
4	35	49	Fail	Fail	Fail	17	53	76	Pass	Pass	Pass
5	42	47	Fail	Fail	Fail	18	71	63	Pass	Pass	Pass
6	48	42	Fail	Fail	Fail	19	75	62	Pass	Pass	Pass
7	41	50	Fail	Fail	Pass	20	68	81	Pass	Pass	Pass
8	29	65	Fail	Fail	Pass	21	79	72	Pass	Pass	Pass
9	31	68	Fail	Fail	Pass	22	63	91	Pass	Pass	Pass
10	42	52	Fail	Fail	Pass	23	76	84	Pass	Pass	Pass
11	49	59	Pass	Fail	Pass	24	89	95	Pass	Pass	Pass
12	48	68	Pass	Fail	Pass	25	100	100	Pass	Pass	Pass
13	49	65	Pass	Fail	Pass						

จาก (Figure 3) และ (Table 4) เป็นผลการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวิธี แบ่งเป็นการสอบ 2 ส่วนส่วนละ 100 คะแนน คือ Exam1 และ Exam2 เกณฑ์ที่กำหนดให้ผ่านการประเมินอยู่ที่ระดับ 0.50 จากการวิเคราะห์ผลประเมินพบว่าผู้เรียนที่ผ่านการประเมินของวิธี Classic แล้วนั้นยังจะมีผลผ่านการประเมินด้วยวิธี Fuzzy logic เหมือนกัน แต่ในบางกรณีคะแนนที่มากกว่าหรือเท่ากับ 50 คะแนนใน Exam1 หรือ Exam2 ผลการประเมินของวิธี Fuzzy logic จะให้ผลการประเมินที่สูงกว่าวิธี Classical เช่น ผู้เรียนได้คะแนน 31 ใน Exam1 และ 68 ใน Exam2 ผู้เรียนจะไม่ผ่านการประเมินในวิธีของ Classic (0.490) แต่จะผ่านการประเมินในวิธีของ Fuzzy logic (0.50) เนื่องมาจากการประเมินผลแบบ Fuzzy logic ยอมให้มีความยืนหยุ่นตามระดับของช่วงเกณฑ์คะแนน จึงทำให้ผลประเมินด้วยวิธี Fuzzy logic สูงกว่า Classical Method นั่นเอง แต่สำหรับวิธีของ T-score ถึงแม้ว่าคะแนนใน Exam1 และ Exam2 จะมากกว่า 50 คะแนน เช่น นักเรียนได้คะแนนใน Exam1 61 คะแนน และ 54 ใน Exam2 ผู้เรียนก็จะไม่ผ่านการประเมินผล เพราะการประเมินผลแบบ t-score มีการจัดเกณฑ์แบบอิงกลุ่ม เมื่อนำมาปรับกระจายคะแนนแล้วทำให้ได้ค่าคะแนนอยู่ในลักษณะเป็นกลุ่ม

สรุปผลการวิจัย

จุดประสงค์ของการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความก้าวหน้าหรือพัฒนาการของผู้เรียนด้านความรู้ทักษะกระบวนการ และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ จากการเรียนรู้และการร่วมกิจกรรมของผู้เรียน ผลที่ได้จากการวัดและประเมินทำให้ได้ข้อมูลที่บ่งบอกถึงพัฒนาการการเรียนรู้ของผู้เรียน และยังสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพการจัดการเรียนการสอนของผู้สอนสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปพัฒนาผู้เรียนให้บรรลุผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง และเป็นข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงกิจกรรมการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับผู้เรียน ส่วนจะเลือกนำวิธีการใดมาทำการวัดและประเมินย่อมขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและจุดประสงค์ของผู้ประเมินเป็นสำคัญ

การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการวัดและประเมินผล ผู้ประเมินมีส่วนสำคัญในการกำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบ เช่น การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จำนวนตัวแปลภาษา จำนวนกฎ ฯลฯ เพื่อให้ได้ระบบประเมินผลที่สอดคล้องตามความเป็นจริงและเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และจากผลการทดลองในงานวิจัยจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับวิธี Classical method และวิธีของ T-score method จะพบว่าการประเมินผลแบบ Fuzzy logic ยอมให้มีความยืนหยุ่นตามระดับของช่วงเกณฑ์คะแนน จึงส่งผลให้ผลประเมินที่ได้นั้นเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนนอกจากนี้แล้วนั้นยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยในการวัดและประเมินผลผู้เรียนอย่างเป็นกระบวนการ และยังสามารถลดความคลุมเครือของผู้สอนในการตัดสินผลประเมิน และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

1. อุไร อภิชาตบรรลือ. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการวัดและประเมินผลทางการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2553
2. Hameed, I.A., *Using Gaussian membership functions for improving the reliability and robustness of students' evaluation systems.* Expert Systems with Applications, 2011. 38(6): p. 7135-7142
3. Ingoley, S.N. and P.D. J.W. Bakal, *Evaluating Students' Performance using Fuzzy Logic. International Conference in Recent Trends in Information Techno logy and Computer Science (ICRTITCS - 2012). Proceedings published in International Journal of Computer Applications® (IJCA) (0975 – 8887).*
4. Rusmiari, Darma-Putra, and Arya-Sasmita, *Fuzzy Logic Method for Evaluation of Difficulty Level of Exam and Student Graduation.* International Jornal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 2013. 10(2): p. 7.
5. Ingoley, S.N. and J.W. Bakal. *A novel method for inferring strict and lenient marks into normal marks using fuzzy logic*. in *Engineering (NUiCONE), 2013 Nirma University International Conference on*. 2013.
6. Kaur, P., et al. *Fuzzy rule based students' per formance analysis expert system*. International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 2014. p.100-105
7. Chen, J.-F., H.-N. Hsieh, and Q.H. Do, *Evaluating teaching performance based on fuzzy AHP and comprehensive evaluation approach.* Applied Soft Computing, 2015. 28(0): p. 100-108.
8. Jamsandekar, S.S. and R.R. Mudholkar, *Performance Evaluation by Fuzzy Inference Technique.* International Jornal of Soft Computing and Enginerring (IJSCE), 2013. 3(2): p.48-53.
9. Yusoff, Y.M., M.Z. Omar, and A. Zaharim, *Evaluation of Graduates' Performance Using Fuzzy Approach.* Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2013. 102(0): p. 64-73.
10. Yildiz, Z. and A.F. Baba. *Evaluation of student performance in laboratory applications using fuzzy decision support system model*. in *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 IEEE*. 2014.
11. L. A. Sadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, June 1965.
12. พยุง มีสัจ, *ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม*. เอกสารประกอบการสอน, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนโดยใช้ตัวจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด *k* ตำแหน่ง – วิจัยเชิงสำรวจ

Handwritten Character Recognition Using *k*-Nearest Neighbors Classifier – A Survey

โอพาริก สุรินต๊ะ[1*], กวีพจน์ บรรลือวงศ์[2]

Olarik Surinta[1*], Kaveepoj Bunluewong[2]

Received: 5 February 2016; Accepted: 23 May 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจฉบับนี้ ได้นำเสนอการนำวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด k ตำแหน่ง (k-Nearest Neighbors: kNN) เพื่อใช้ในงานด้านการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน เนื่องจาก kNN เป็นขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่นิยมใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่ของข้อมูล และยังเป็นขั้นตอนวิธีที่ไม่มีความซับซ้อน ขั้นตอนวิธี kNN ทำงานโดยนำข้อมูลมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความใกล้เคียงระหว่างข้อมูลที่ต้องการจำแนก และข้อมูลทั้งหมดจากฐานข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลที่มีค่าระยะห่างน้อยที่สุดจำนวนทั้งสิ้น k ข้อมูลจะถูกนำมาพิจารณาคัดเลือกโดยใช้เทคนิคเสียงส่วนใหญ่ ดังนั้น ข้อมูลที่ต้องการจำแนกจะถูกกำหนดกลุ่มโดยพิจารณาจากกลุ่มของข้อมูลที่ปรากฏบ่อยที่สุด จากการสำรวจพบว่า ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยทางด้านตัวอักษรลายมือเขียนได้เก็บรวบรวมตัวอักษรลายมือเขียนที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน การเขียนตัวอักษรที่มีความหลากหลาย ตัวอักษรที่เขียนไม่สมบูรณ์ หรือแม้กระทั่งข้อมูลมีจำนวนไม่เพียงพอ เป็นต้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน ดังนั้นเมื่อนำคุณลักษณะพิเศษที่มีความคงทนต่อตัวอักษรที่เขียนในลักษณะที่แตกต่างกันมาใช้งานร่วมกับขั้นตอนวิธี kNN สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน

คำสำคัญ: การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน ขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด *k* ตำแหน่ง ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการแยกประเภทข้อมูล คุณลักษณะพิเศษ การประมวลผลเบื้องต้น

Abstract

The use of *k*-Nearest Neighbors (*k*NN) algorithm for recognizing handwritten character scripts is presented in this survey paper. The kNN algorithm, the simple and well-known algorithm for machine learning, is suitable for classification scheme. According to the *k*NN algorithm, unknown data is firstly compared with the training samples to compute the similarity function. The most similar *k* neighbors, which have the smallest distance values, are subsequently selected by using the majority vote. The unknown data is then assigned by determining the number of its occurrences in each class. The most frequent class in *k* neighbors is finally selected as the output of the classifier. In this survey, it is found that the handwritten character datasets are collected from the different types of handwriting,

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนท์ ระบบอัจฉริยะ และการจำลองสถานการณ์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 ประเทศไทย*

[2] *อาจารย์ หน่วยวิจัยการประมวลชั้นสูงสำหรับงานด้านปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพและหุ่นยนต์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัด มหาสารคาม 44150 ประเทศไทย*

[1] *Assistant Professor, Multi-Agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL), Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai district, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: olarik.s@msu.ac.th*

[2] *Lecturer, (High) Processing Object for Learning Artificial intelligence, Image processing and Robot (POLAR), Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai district, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: kaveepoj.b@msu.ac.th*

** Corresponding author; Olarik Surinta, olarik.s@msu.ac.th*

including different character sets with the similar structure, a variety of the handwriting styles, incomplete handwritten characters and insufficient number of handwritten character samples. These factors have a directl impact on the performance of the handwritten character recognition. Thus, the robust feature extraction techniques for handwritten recognition can be combined with the *k*NN algorithm in order to obtain the effective recognition performance.

Keywords: Handwritten Character Recognition, *k*-Nearest Neighbors Algorithm, Classifier, Feature Extraction, Pre-Processing

บทนำ

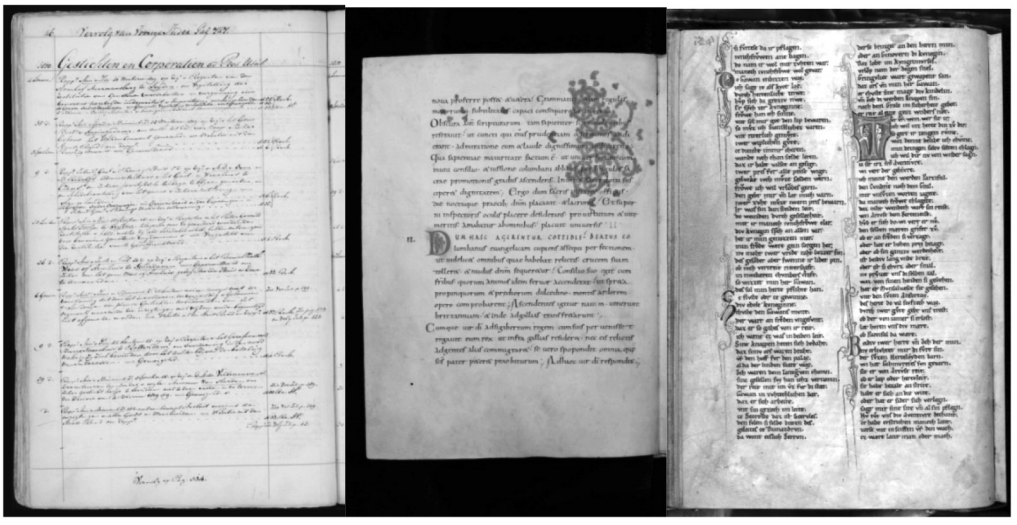
งานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษร (Character Recognition) นักวิจัยได้เริ่มค้นคว้าเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1940 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอลซึ่งการรู้จำตัวอักษรเริ่มต้นพัฒนาเพื่อใช้สำหรับงานด้านประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเท่านั้น ซึ่งต่อมานักวิจัยต่างให้ความสนใจศึกษา ค้นคว้า และพัฒนา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ (1) โดยงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษร เป็นกระบวนการในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานควบคู่กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะและมีลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติ กระบวนการในการประมวลผลเริ่มตั้งแต่การสแกนเอกสารการแปลงรูปภาพของตัวอักษร จนกระทั่งการรู้จำตัวอักษร ทั้งนี้เพื่อบันทึกข้อมูลรูปภาพตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะนำข้อมูลตัวอักษรไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว (2)

ในปัจจุบันบริษัทต่าง ๆ ได้นำงานวิจัยด้าน การรู้จำตัวอักษรไปพัฒนา และใช้งานในเชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น ABBYY Fine Reader, Wondershare PDF element, Nuance Omni Page และ Readiris เป็นต้น อีกทั้งยังได้พัฒนาให้สามารถใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนเพื่ออำนวยความสะดวกผู้ใช้ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น เช่น Atalasoft Mobile Image และ Scanner Pro เป็นต้น โดยโปรแกรมที่กล่าวมาข้างต้นเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่พัฒนาเพื่อใช้ในการรู้จำตัวอักษร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับเอกสารหลากหลายประเภท และทำงานในลักษณะของการรู้จำตัวอักษรพิมพ์เพียงเท่านั้น ในส่วนของการรู้จำตัวอักษรภาษาไทย ในปี ค.ศ. 1996 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิสก์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้ร่วมกันพัฒนาโปรแกรมอ่านไทย (Arn Thai) เพื่อสนับสนุนการทำงานในส่วนของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

งานวิจัยทางด้านการรู้จำตัวอักษรเป็นงานวิจัยที่ได้รับความนิยม ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางด้านการรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition) (3) ซึ่งเป็นส่วนย่อยของงานวิจัยทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) โดยทั่วไปแล้วการรู้จำตัวอักษรสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ (Optical Character Recognition: OCR) และการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน (Handwritten Character Recognition: HCR) (4) งานวิจัยทางด้านการรู้จำตัวอักษรนั้น ผู้วิจัยต้องวิเคราะห์ถึงโครงสร้างของเอกสาร (Document Layout Analysis) เนื่องจากเอกสารที่นำมาวิเคราะห์อาจมีหลากหลายประเภท เช่นหนังสือ หนังสือพิมพ์ เอกสารใบลาน และหลักศิลาจารึก เป็นต้น ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้างก็คือพื้นที่ที่ให้ความสนใจ โดยผู้วิจัยต้องนำพื้นที่ส่วนนั้นมาพิจารณา เพื่อแบ่งพื้นที่ที่เป็นข้อความ (Textual Information) และพื้นที่ที่เป็นรูปภาพ (Nontextual Information) ออกจากกัน จากนั้นจึงแบ่งกลุ่มพื้นที่เหล่านั้นให้ตรงกับกลุ่ม ที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา (5, 6) ตัวอย่างของเอกสารโบราณ แสดงใน (Figure 1) ตัวอย่างของเอกสาร Cabinet of the King (Kdk) ซึ่งเขียนขึ้นในปี ค.ศ. 1893 โดยเขียนเป็นภาษาดัชต์ (7) แสดงดัง (Figure 1a) ตัวอย่างเอกสารของ Saint Gallen ที่เขียนขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 9 เขียนเป็นภาษาลาติน และเขียนโดย ผู้เขียนเพียงคนเดียว (8) แสดงดัง (Figure 1b) และ (Figure 1c) เป็นตัวอย่างเอกสารของ Parzival เขียนขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 13 โดยเขียนเป็นภาษาเยอรมัน และเขียนเอกสารด้วยผู้เขียนจำนวน 3 คน ซึ่งเป็นลักษณะการเขียนในรูปแบบโกธิค (9)

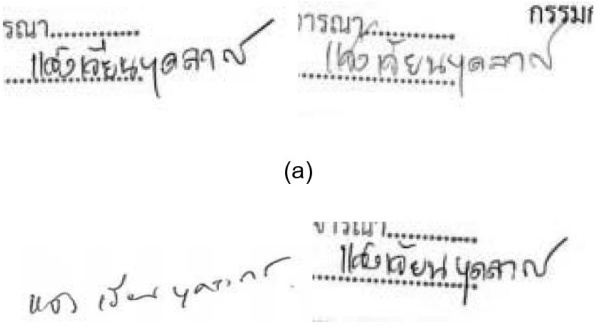
บทความฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษางานวิจัยทางด้าน HCR เป็นหลัก เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่มีความท้าทาย และมักพบปัญหาที่เกิดจากการเขียนตัวอักษรได้อยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ตัวอักษรที่เขียนติดกัน ตัวอักษรเลือน ตัวอักษรที่เขียนไม่สมบูรณ์ ตัวอักษรที่ซ้อนทับกันระหว่างบรรทัด และตัวอักษรที่เขียนลากหางยาว เป็นต้น ส่งผลให้นักวิจัยต้องคิดค้น และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่อย่างสม่ำเสมอ สิ่งสำคัญของงานวิจัยทางด้าน HCR นั้น ผู้วิจัยต้องวิเคราะห์ถึงลักษณะของตัวอักษรลายมือเขียนในลักษณะที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ตัวอักษรที่เขียนโดยบุคคลเดียวกันหรือต่างบุคคล ตัวอักษรที่เขียนโดยบุคคลเดียวกันแต่ต่างกันในเรื่องของช่วงเวลา สภาวะอารมณ์ และ

สภาพแวดล้อม เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาล้วนส่งผลต่อลักษณะของตัวอักษรที่เขียนขึ้นมาในแต่ละครั้ง (Figure 2a) ซึ่งเป็นผลทำให้ตัวอักษรที่เขียนนั้นผิดแผกไปจากลายมือเดิมของผู้เขียนนั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนำตัวอักษรลายมือเขียนของบุคคลหนึ่งไปเปรียบเทียบกับบุคคลอื่น ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของลายมือทั้งสองได้อย่างชัดเจน (Figure 2b) ทั้งนี้ผู้วิจัยยังต้องคำนึงถึงตัวอักษรที่มีลักษณะของโครงสร้างที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย (Figure 3)



(a) (b) (c)

Figure 1 Some examples of the historical manuscripts: manuscript from (a) MLS dataset (Cabinet of the King, KdK 1893), (b) Saint Gall dataset (page 4, 9th century) and (c) Parzival dataset (page 124).



(a)

(b)

Figure 2 An illustration of Thai handwritten text which is written by (a) the same person and (b) two different persons.

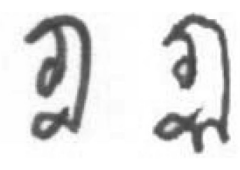


Figure 3 The similarities of structure between different character sets of Thai handwriting.

นอกเหนือจากนี้ งานวิจัยทางด้าน HCR สามารถนำไปพัฒนา และประยุกต์ใช้ในงานด้านธุรกิจได้อย่างกว้างขวาง เช่น การตรวจสอบข้อมูลที่ปรากฏอยู่บนเช็คธนาคาร การจัดเรียงและการคัดแยกไปรษณีย์โดยอัตโนมัติ เป็นต้น (10–14) อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์กับงานวิจัยหลากหลายประเภททั้งที่มีลักษณะที่เหมือน และแตกต่างกัน ได้แก่ การระบุตัวตนผู้เขียน (Writer Identification) การยืนยันตัวตนผู้เขียน (Writer Verification) และงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) (15–18) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว งานวิจัยด้าน HCR ต้องใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) และ ML ทำงานควบคู่กันเพื่อให้การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนมีความถูกต้องมากที่สุด

หลักการเบื้องต้นของการรู้จำตัวอักษร เริ่มต้นด้วยการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรลายมือเขียน เพื่อนำข้อมูลเอกลักษณ์ที่ได้จากการคำนวณมาใช้เป็นตัวแทนของตัวอักษร จากนั้นจึงจำแนกประเภทของตัวอักษรให้ตรงกับกลุ่มที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยใช้เทคนิคทางด้าน ML ทั้งนี้ขั้นตอนของ ML จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อใช้ในการประมวลผล (19)

ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยทางด้าน HCR

ในงานวิจัยทางด้าน HCR ผู้วิจัยอาจใช้ชุดข้อมูลมาตรฐานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของทฤษฎี และขั้นตอนวิธีที่ได้คิดค้น โดยชุดข้อมูลมาตรฐานที่สามารถนำมาใช้ทดสอบได้แก่ ชุดข้อมูล USPS (The U.S. Postal Service) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่นิยมใช้ในยุคเริ่มต้นของงานวิจัยทางด้าน HCR ข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลตัวเลขที่ถูกเก็บรวบรวมโดยไปรษณีย์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเมื่อนำซองจดหมายมาผ่านการสแกน โปรแกรมจะหาตำแหน่งของรหัสไปรษณีย์ และตัด ตัวเลขออกมาจากซองจดหมาย และปรับเปลี่ยนขนาด ของตัวเลขให้มีขนาด 16x16 พิกเซล โดยจัดเก็บในรูปแบบของภาพสีเทา โดยประกอบด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้มีจำนวนทั้งสิ้น 7,291 ตัวอักษร และจำนวน 2,007 ตัวอักษรสำหรับข้อมูลชุดทดสอบ (20)

ข้อมูลชุดมาตรฐานที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ MNIST (Mixed National Institute of Standards and Technology) (21) ประกอบด้วยตัวเลข (0-9) ที่เป็นลายมือเขียน โดยตัวเลขมีขนาด 28x28 พิกเซล และจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของภาพสีเทา ชุดข้อมูลประกอบไปด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้ และชุดทดสอบ จำนวน 60,000 และ 10,000 ตัวอักษร ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2009 ชุดข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษรภาษาลาตินถูกนำเสนอโดย Laurens van der Maaten (22) ได้รวบรวมตัวอักษรภาษาลาตินทั้งหมดมาจากชุดข้อมูล Firemaker ซึ่งต้นฉบับเป็นของ Schomaker and Vuurpijl (23) ข้อมูลชุดนี้ถูกนำไปใช้งานในด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการระบุตัวตนผู้เขียน ตัวอักษรลาตินที่ถูกเก็บรวบรวม แบ่งออกเป็นตัวอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่และตัวเลข แต่ในชุดข้อมูลตัวอักษรลาตินขาดตัวอักษร ‘X’ ทำให้ข้อมูลชุดนี้มีอักษรลาตินทั้งสิ้น 25 ตัวอักษร และตัวเลขจำนวน 10 ตัวเลข ข้อมูลตัวอักษรทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบของภาพสีเทา และขนาดของตัวอักษรถูกเปลี่ยนเป็น 50x50 พิกเซล โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ทั้งสิ้น 27,966 ตัวอักษร และข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 12,167 ตัวอักษร

สำหรับข้อมูลภาษาไทย ยังไม่มีชุดข้อมูลมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในปี ค.ศ. 2003 หน่วยงาน NECTEC ได้นำเสนอชุดข้อมูลที่เรียกว่า NECTEC และในปี ค.ศ. 2006 ชุดข้อมูล Thai CAM ถูกนำเสนอโดย *Nopsuwan et al.* (24) ทั้งนี้เพื่อใช้สำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย โดยทั้งสองชุดข้อมูลประกอบด้วย ตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยจำนวน 77 ตัวอักษร ซึ่งประกอบด้วย ตัวอักษร สระ วรรณยุกต์ ตัวเลขไทย และสัญลักษณ์พิเศษ ตัวอักษรทั้งหมดถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาด 64x64 พิกเซล ซึ่งชุดข้อมูล NECTEC ประกอบด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้จำนวน 9,702 และชุดทดสอบ 4,851 ตัวอักษร และชุดข้อมูล ThaiCAM ประกอบด้วย ข้อมูลชุดเรียนรู้จำนวน 4,620 ตัวอักษร และชุดทดสอบจำนวน 4,955 ตัวอักษร

ในปี ค.ศ. 2015 ชุดข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ALICE-THI ถูกนำเสนอโดย Surinta et al. (25) ในชุดข้อมูลประกอบด้วยตัวอักษร (THI-C68) (พยัญชนะ สระ วรรณยุกต์ และสัญลักษณ์) และตัวเลข (THI-D10) จำนวนทั้งสิ้น 68 และ10 ตัวอักษร ตามลำดับ ผู้วิจัยได้ตัดตัวอักษร และสัญลักษณ์บางตัวที่ไม่เป็นที่นิยมใช้งานออกไป ข้อมูลชุด ALICE-THI ถูกเปลี่ยนขนาดให้เป็น 36x36 พิกเซล โดย THI-C68 ประกอบไปด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้จำนวน 13,130 ตัวอักษร และข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 1,360 ตัวอักษร และ THI-D10 มีจำนวนของตัวอักษรในชุดเรียนรู้ และชุดทดสอบจำนวน 8,055 และ 1,500 ตามลำดับ ภาพรวมของชุดข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียน แสดงดัง (Table 1)

จากการค้นคว้าพบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษา และพัฒนางานทางด้าน HCR อยู่เป็นจำนวนมาก บทความนี้ศึกษาเฉพาะงานวิจัยทางด้าน HCR ที่ใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดเพื่อเข้ามาช่วยในการจำแนกข้อมูลของตัวอักษรลายมือเขียนเท่านั้น

ขั้นตอนวิธีสำหรับการค้นหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุด (***K*-**Nearest Neighbors (*k*NN) Algorithm)

การค้นหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุด หรือเรียกโดยย่อว่า *k*NN เป็นเทคนิคหนึ่งทางด้าน ML ที่เป็นวิธีการแบบนอนพาราเมตริก (26) ดังนั้นการทดสอบจะไม่คำนึงถึงลักษณะการแจกแจงของกลุ่มข้อมูล และไม่ทดสอบเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธี *k*NN ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองเพื่อนำมาใช้ทำนายค่าของข้อมูล แต่จะนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ต้องการจำแนกเพื่อหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุด โดย *k*NN เป็นเทคนิคที่นำไปใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่ข้อมูลที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางด้าน HCR และ CR

ข้อมูลที่ใช้สำหรับนำเข้า ใน *k*NN คือจำนวนข้อมูลชุดเรียนรู้ที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นคุณลักษณะพิเศษทั้งสิ้นจำนวน *k* ชุดข้อมูล โดยที่ผลลัพธ์ จะขึ้นอยู่กับจำนวน *k* ที่ถูกเลือก โดยทั่วไปแล้ว *k* จะถูกกำหนดให้เป็นจำนวนเลขคี่ เช่น 1, 3, 5, 7 และ 9 เป็นต้นซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดหมวดหมู่โดยขั้นตอนวิธี *k*NN นั้นเรียกว่า “สมาชิกของกลุ่ม” (c_i) โดยนำข้อมูลจากชุดเรียนรู้ (x_i) ทั้งหมดมาคำนวณกับข้อมูลที่ต้องการจำแนก (y) เพื่อคำนวณหาระยะห่าง (d_i) ระหว่าง x_i และ y จากนั้นเลือกข้อมูลที่มีค่า d_i ที่น้อยที่สุดจำนวนทั้งสิ้น *k* ชุด

การคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างชุดข้อมูลและข้อมูลที่ต้องการจำแนกที่เป็นที่นิยม (25,27) ก็คือการหาระยะห่างแบบยุคลิด (Euclidean Distance) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$d(x,y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)^2} \qquad (1)$$

โดยที่ N คือจำนวนมิติของข้อมูลที่เป็นคุณลักษณะพิเศษ ขณะที่ x และ y คือข้อมูลชุดเรียนรู้ และข้อมูลที่ต้องการจำแนก ตามลำดับ

ท้ายที่สุดแล้ว ข้อมูลที่ต้องการจำแนกจะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม โดยวิธีที่เรียกว่า “เสียงส่วนใหญ่” (Majority Vote: MV) ซึ่งตรวจสอบจากข้อมูล x_i โดยที่ *i = 1, ..., k* ดังนั้น กลุ่มของข้อมูลที่ปรากฏบ่อยที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของขั้นตอนวิธี *k*NN (28) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$y(d_i)=arg\,max_k \sum_{x_j \in kNN} S(d_i,x_j)\,y(x_j,c_k) \qquad (2)$$

โดยที่ d_i คือข้อมูลที่ต้องการจำแนกที่จะนำมาจัดกลุ่ม

x_j คือข้อมูลจากชุดเรียนรู้ที่ j

$S(d_i, x_j)$ คือ ฟังก์ชันที่ใช้หาค่าความใกล้เคียงของข้อมูล (Similarity Function) ระหว่าง d_i และ x_j ซึ่งวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือการหาระยะห่างแบบยุคลิด ดังสมการที่ (1)

$y(x_j, c_k)$ เป็นสมาชิกของ {0, 1} มีค่าเป็น 0 เมื่อ x_j อยู่ในกลุ่มของ c_k และมีค่าเป็น 1 เมื่อx_j ไม่อยู่ในกลุ่มของ c_k ดังนั้น x_j จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม c_k ที่มีจำนวนมากที่สุด

ตัวอย่างการจำแนกกลุ่มของ kNN แสดงดัง Figure 4 จากตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงข้อมูลชุดทดสอบจำนวนทั้งหมด 3 กลุ่ม ประกอบไปด้วยกลุ่ม a, b และ c ซึ่งผลลัพธ์ของการจัดแบ่งกลุ่มเมื่อ k มีค่าเป็น 1, 3 และ 5 สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1) เมื่อกำหนดให้ k=1 สังเกตุได้ว่า กลุ่มข้อมูล a ณ ตำแหน่ง d_1 มีค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลที่ต้องการจำแนกน้อยที่สุด ดังนั้น ในกรณีนี้ ข้อมูลที่ต้องการจำแนกจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม a

Table 1 Overview of Handwritten Character Datasets.

Dataset	Language	Year	Color Format	Number of Writers	Number of Classes	Train Data	Test Data
USPS	digit	1990	Binary	Multi	10	7,291	2,007
MNIST	digit	1998	Grayscale	250	10	60,000	10,000
NECTEC	Thai and digit	2003	Binary	63	77	9,702	4,851
ThaiCAM	Thai and digit	2006	Binary	20	77	4,620	4,955
LATIN	Latin and digit	2009	Grayscale	251	35	27,966	12,167
ALICE-THI	Thai and digit	2015	Grayscale	150	78	21,185	2,860

กรณีที่ 2) กำหนดให้ k=3 ชุดข้อมูลที่มีระยะห่างถึงข้อมูลที่ต้องการจำแนกน้อยที่สุดจำนวน 3 อันดับ (d_1, d_2 และ d_3) ก็คือ ข้อมูลของกลุ่ม a จำนวน 1 ข้อมูล และ b จำนวน 2 ข้อมูล ดังนั้น เมื่อกำหนดให้ k=3 ข้อมูลที่ต้องการจำแนกจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม b

กรณีที่ 3) กำหนดให้ k=5 ชุดข้อมูลที่มีระยะห่างถึงข้อมูลที่ต้องการจำแนกน้อยที่สุดจำนวน 5 อันดับ (d_1, d_2, d_3, d_4 และ d_5) ซึ่งก็คือ ข้อมูลของกลุ่ม a จำนวน 3 ข้อมูล และ b จำนวน 2 ข้อมูล ดังนั้นในกรณี k=5 ข้อมูลที่ต้องการจำแนกจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม *a*

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อ้างอิงจากหลากหลายงานวิจัย สามารถกล่าวได้ว่า kNN เป็นขั้นตอนวิธีที่มีการประมวลผลที่รวดเร็ว อีกทั้งประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรยังอยู่ในระดับดี (28–30) ทั้งนี้ งานวิจัยของ Elglaly and Quek (28) ได้ทำการทดลองการรู้จำตัวอักษรอารบิกที่เป็นตัวอักษรโดด โดยใช้เพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multilayer Perceptrons: MLP) และ kNN เป็นขั้นตอนวิธีที่ช่วยในการแยกประเภทข้อมูล เป็นที่น่าสนใจว่าการรู้จำตัวอักษรอารบิกด้วยขั้นตอนวิธี kNN ให้ความถูกต้องถึง 90% ในขณะที่ MLP ให้ความถูกต้องเพียง 60% เท่านั้น ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า kNN ให้ประสิทธิภาพในการรู้จำที่สูงกว่า MLP ถึง 30%

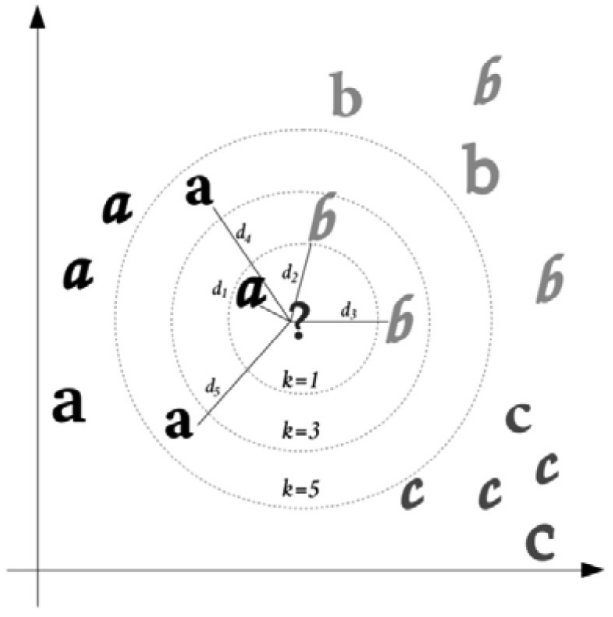


Figure 4 Finding the most similar examples between the training data and the unknown data (for example, k = 1, 3 and 5).

แต่ทั้งนี้ kNN ยังให้คำตอบที่ผิดพลาดในกรณีที่โครงสร้างของตัวอักษรใกล้เคียงกัน และที่สำคัญ ในกรณีที่ใช้เข้ามูลนำเข้าชุดเดียวกันkNN มีความเร็วมากกว่า MLP ถึง 150 เท่า

เมื่อนำ *k*NN ไปเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น เช่น ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) จากงานวิจัยของ Kale et al., (14) แสดงให้เห็นว่า SVM เป็นขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่า *k*NN ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณของ SVM นั้นมีการคำนวณที่ซับซ้อน และใช้เวลาประมวลผลนานกว่า *k*NN แต่งานวิจัยก็แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธี *k*NN ให้ประสิทธิภาพสูงมากกว่า 95% ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดลองรู้จำตัวอักษรเทวานาครี (Devanagari) ในการทดลองได้ใช้ตัวอักษรจำนวนทั้งสิ้น 27,000 ตัวอักษร โดยที่ตัวอักษรนั้นถูกทำการปรับเปลี่ยนขนาดให้เป็น 90x90 พิกเซล จากนั้นจึงหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรด้วยวิธีการเซอนิเกอร์โมเมนต์ (Zernike Moment) เมื่อได้คุณลักษณะพิเศษจากตัวอักษรแล้วจึงนำไปจัดแบ่งกลุ่มด้วยวิธี SVM และ *k*NN ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพปรากฏว่า SVM ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 98.37% ในขณะที่ *k*NN มีความถูกต้องอยู่ที่ 95.82%

นอกจากนั้น ในงานวิจัยของ Vyas and Goswami (31) ได้นำขั้นตอนวิธี *k*NN, SVM และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural networks: ANN) มาเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวเลขคุรชาต (Gujarati) โดยใช้คุณลักษณะพิเศษทั้งสิ้น 3 วิธี ประกอบด้วย การดัดแปลงรหัสโซ่ (Modified Chain Code: MCC), การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT) และการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform: DCT) ซึ่งชุดข้อมูลตัวเลข Gujarati ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 3,000 ตัวเลข ซึ่งการทดสอบจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล 1) ข้อมูลจำนวน 900 ตัวเลขที่เขียนด้วยปากกาที่มีเส้นหนา 2) ข้อมูลจำนวน 2,100 ตัวเลขที่เขียนด้วยปากกาที่มีเส้นปกติ และ 3) นำข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 มารวมกัน จากนั้นนำข้อมูลทั้งสามชุดไปคำนวณด้วยคุณลักษณะพิเศษทั้ง 3 วิธี สุดท้ายนำคุณลักษณะพิเศษที่ได้ไปผ่านกระบวนการรู้จำด้วยวิธี *k*NN, SVM และ ANN จากการทดลองโดยใช้คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากเทคนิค MCC ปรากฏว่า*k*NN ให้ผลการรู้จำที่สูงกว่าทั้ง SVM และ ANN โดยอัตรการรู้จำของ *k*NN, SVM และ ANN เมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดที่ 3 คือ 85.67%, 83.63% และ 84.89% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณด้วย DFT และ DCT ปรากฏว่า SVM มีอัตราการรู้จำที่สูงกว่าทั้ง *k*NN และ ANN

Borji et al. (32) นำเสนอการรู้จำตัวอักษร ฟาซี (Farsi) และตัวเลขจากชุดข้อมูล MNIST โดย Farsi นั้นเป็นตัวอักษรในภาษาเปอเซียร์ และยังเป็นภาษาทางราชการของประเทศอิหร่าน ข้อมูลชุด Farsi ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้จำนวน 60,000 ตัวอักษร และข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 20,000 ตัวอักษร งานวิจัยนี้เพื่อหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรโดยใช้เทคนิคซีทู (C2 Feature) โดยศึกษาถึงตัวกรองแบบกาเบอร์ (Gabor) และการหาความแตกต่างของเกาส์เซียน (Difference of Gaussian: DoG) ที่อยู่ในกระบวนการทำงานของ HMAX (Hierarchical Model and X) โดยตัวอักษรที่ใช้นั้นถูกเปลี่ยนขนาดให้เป็น 32x32 พิกเซล จากนั้นจึงนำเข้ากระบวนการ C2 เพื่อหาคุณลักษณะพิเศษ โดยการทดลองนี้ใช้ ANN, SVM และ *k*NN เป็นขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำ จากการทดลองพบว่า SVM ให้ประสิทธิภาพดีกว่า ANN ใน ชุดข้อมูล MNIST ส่วนชุดข้อมูล Farsi ปรากฏว่า ANN ให้ประสิทธิภาพดีกว่า SVM เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อมองในส่วนของขั้นตอนวิธี *k*NN ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการรู้จำในข้อมูลชุด MNIST และ Farsi อยู่ที่ 87.8% และ 91.5% ตามลำดับ

Kumar et al. (3) นำเสนอการรู้จำตัวอักษร เกอมูวกี่ (Gurmukhi) ตัวอักษรนี้ถูกเขียนขึ้นโดย ชาวซิกข์เพื่อใช้สำหรับสื่อสารในภาษา ปัญจาบซึ่งเป็นรัฐที่มีผู้คนที่ใช้ภาษานี้ถึง 130 ล้านคน ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้เลือกผู้เขียนจำนวน 100 คน จากทั้งโรงเรียน วิทยาลัย สถานที่ราชการ และสถานที่อื่น ๆ โดยตัวอักษรที่ใช้ในงานวิจัยจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาดที่ใหญ่ถึง 100x100 พิกเซล จากนั้นเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของเส้นแสดงรูปร่าง เพื่อนำไปใช้หาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธีการหาค่าความหนาแน่นของแต่ละโซนที่เส้นทแยงมุม (Diagonal Features) ลากผ่าน และตัวอักษรจะถูกเปลี่ยนให้เป็นเส้นแสดงโครงร่าง เพื่อหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธีการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงจากพื้นหลังไปยังวัตถุ (Transition Features) โดยคำนวณจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา และจากด้านบนลงด้านล่าง จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN ทดสอบประสิทธิภาพของทั้งสองคุณลักษณะพิเศษ ซึ่งพบว่าอัตราการรู้จำของ Diagonal Features อยู่ที่ 94.12% และอัตราการรู้จำของ Transition Features อยู่ที่ 86.57%

Surinta et al. (33) ได้นำเสนอการหาคุณลักษณะพิเศษด้วยขั้นตอนวิธีฮอตสปอต (Hotspot) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก และใช้ *k*NN เป็นขั้นตอนวิธีในการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยจุดเด่นของ เทคนิค Hotspot คือมีเพียง 2 พารามิเตอร์ที่ต้องปรับแต่ง เท่านั้น ประกอบด้วย 1) จำนวนของจุด Hotspot และ 2) จำนวนทิศทางของรหัสโซ่ และได้นำขั้นตอนวิธี Hotspot ไปทดสอบกับข้อมูลจำนวน 3 ชุด ได้แก่ ข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ข้อมูลตัวเลขแบงกลา (Bangla) และข้อมูลชุด MNIST ซึ่งงานวิจัยได้สุ่มเลือกข้อมูลจาก MNIST มาเพียง 10,000 ตัวอักษร โดยทุกชุดข้อมูลถูกเปลี่ยนขนาดให้เป็น 40x40 พิกเซล และใช้ขั้นตอนวิธีที่ทำให้ตัวอักษรบาง ทั้งนี้เพื่อให้ตัวอักษรมีขนาดกว้างเพียง 1 พิกเซลเท่านั้น เมื่อนำขั้นตอนวิธี Hotspot, ทิศทางของมาร์ก (Mark Direction: MD) และทิศทางของรหัสโซ่ (Direction of Chain Code: DCC) มาทำการเปรียบเทียบ ปรากฏว่าขั้นตอนวิธี Hotspot ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในชุดข้อมูล MNIST และ Bangla โดยมีอัตราการรู้จำที่ 89.9% และ 90.1% ตามลำดับ สำหรับข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยปรากฏว่าขั้นตอนวิธี MD (อัตราการรู้จำ 88.0%) กลับให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่า Hotspot (อัตราการรู้จำ 83.36%) และ DCC (71.3%) จากผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธี Hotspot เหมาะสำหรับนำไปใช้กับข้อมูลที่เป็นชนิดตัวเลข

Rathi et al. (34) นำเสนอผลการรู้จำ ตัวอักษร Devanagari เฉพาะตัวสระเพียงเท่านั้น โดยใช้ข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียนจากสถาบัน ISI (Indian Statistical Institute) เขียนโดยบุคคลที่อาศัยในเมือง โกลกาตา ซึ่งมีตัวสระของอักษรเทวานาครีจำนวน 9,191 สระ จากนั้นจึงแบ่งข้อมูลออกเป็นสี่ส่วน โดย 3 ส่วนถูกแบ่งให้เป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ และอีก 1 ส่วนถูกแบ่งให้เป็นข้อมูลชุดทดสอบ งานวิจัยนี้ได้ใช้ขั้นตอนวิธีฟีเจอร์ไมนิ่ง (Feature Mining) เพื่อหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร เนื่องจากในตัวอักษรลายมือเขียนนั้น ลักษณะของการเขียนตัวอักษรย่อมมีความ แตกต่างกัน ซึ่งเทคนิคของ Feature Mining นั้นใช้ประโยชน์จากลักษณะรูปร่างของตัวอักษรเป็นหลัก ในกระบวนการของการรู้จำได้ใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN สำหรับการจัดกลุ่มของตัวอักษร โดยรู้จำตัวสระผิดเพียง 88 ตัวเท่านั้น จากทั้งหมด 2,281 ตัว และมีความถูกต้องสูงถึง 96.14%

Dhandra et al. (35) นำเสนอการรู้จำเฉพาะตัวสระของภาษากันนาดา (Kannada) และภาษาอังกฤษ โดยใช้เทคนิคในการแบ่งพื้นที่ของตัวอักษรเพื่อหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรทั้งสองภาษา โดยตัวอักษรถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาด 32x32 พิกเซล จากนั้นตัวอักษรจะถูกแบ่งออกเป็น 64 โซน ซึ่งค่าความหนาแน่นของจุดพิกเซลในแต่ละโซนจะถูกนำมาใช้เป็นคุณลักษณะพิเศษ ตัวสระในภาษากันนาดานั้นมีทั้งสิ้น 14 ตัวอักษร ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอักษรในชุดเรียนรู้ และชุดทดสอบจำนวนชุดละ 700 ตัวอักษร ซึ่งอัตราการรู้จำโดยใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN นั้นอยู่ที่ 92.71% สำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษนั้นเป็นตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ ข้อมูลชุดเรียนรู้ และชุดทดสอบมีจำนวนชุดละ 1,300 ตัวอักษร ความถูกต้องที่ได้อยู่ที่ 97.51%

และงานวิจัยนี้ยังได้นำทั้งสระของภาษา Kannada และภาษาอังกฤษมารวมเข้าด้วยกัน ทำให้กลุ่มของตัวอักษรเพิ่มขึ้นเป็น 40 กลุ่ม จากการทดสอบ ความถูกต้องอยู่ที่ 95.77%

Dhandra et al. (36) นำเสนอขั้นตอนวิธีที่ใช้ลักษณะรูปร่างของตัวอักษรลายมือเขียนมาคำนวณเพื่อหาคุณลักษณะพิเศษ ได้แก่ วิธีการปรับเปลี่ยนช่วงข้อมูลของรหัสโซ่ (Normalized Chain Code) และเวฟเล็ตฟิลเตอร์ (Wavelet Filters) โดยได้นำไปใช้กับ ตัวสระของภาษา Kannada ซึ่งมีข้อมูลทั้งสิ้น 1,400 ตัวอักษร โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นข้อมูลชุดทดสอบและชุดเรียนรู้ จำนวนชุดละ 700 ตัวอักษร โดย ตัวอักษรถูกแปลงให้เป็นภาพสีขาวดำ และเปลี่ยนให้มีขนาด 40x40 พิกเซล จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN เพื่อทำการรู้จำตัวอักษร จากผลของการทดสอบมีอัตราการรู้จำอยู่ที่ 95.08%

Babu et al. (37) ได้นำเสนอการหาคุณลักษณะพิเศษโดยใช้โครงสร้างของตัวอักษร (Structural Features) และหลักทางสถิติ (Statistical Features) เข้ามาช่วยในการรู้จำตัวเลข ซึ่งใช้ชุดข้อมูล MNIST จำนวน 60,000 ตัวอักษรเพื่อใช้ในการเรียนรู้ และใช้ตัวอักษรเพียง 5,000 จากทั้งหมด 10,000 ตัวอักษรเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยคุณลักษณะพิเศษที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ 1) การหาองค์ประกอบที่เกี่ยวโยงกัน (Connected Component) เพื่อหาจำนวนของเส้นแสดงรูปร่าง 2) การหาอัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของตัวอักษร 3) การหาค่าการกระจายของพิกเซลของตัวอักษรที่ปรากฏอยู่ในแต่ละพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้ (Distribution Features) และ 4) วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษจากเส้นแสดงโครงร่าง (Skeleton Features) วิธีนี้ถูกแบ่งออกเป็น 4.1 การหาจำนวนของจุดตัดระหว่างเส้นที่ลากผ่านทั้งในแนวตั้งและแนวนอน 4.2 การหาจุดสิ้นสุด การหาจุดเชื่อมต่อ และการการจุดตัดของตัวอักษร จากนั้นจึงนำข้อมูลคุณลักษณะพิเศษที่ได้คำนวณไว้ข้างต้น มาทำการจัดแบ่งกลุ่มโดยนำขั้นตอนวิธี *k*NN ไปเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Neural Network: BPNN) ผลการทดลองปรากฏว่า *k*NN และอัตรา BPNN มีอัตราการรู้จำ 98.42% และ 95.4% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า *k*NN ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า BPNN ถึง 3%

Surinta et al. (25) ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีที่ใช้คำนวณเพื่อหาคุณลักษณะพิเศษด้วยเทคนิค Local Gradient จำนวน 2 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Histograms of Oriented Gradients (HOG) และ Scale Invariant Feature Transform (SIFT) โดยนำขั้นตอนวิธีทั้ง 2 มาหาคุณลักษณะพิเศษของชุดข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียน จำนวน 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ALICE-THI, LATIN และ Bangla ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนขนาดของตัวอักษรลายมือเขียนเป็น 28x28 และ 36x36 พิกเซล โดยใช้ *k*NN และ SVM เป็นขั้นตอนวิธีในการแบ่งกลุ่มข้อมูล จากการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีทั้ง HOG และ SIFT เป็นขั้นตอนวิธีที่มีความมั่นคงต่อการย่อขยาย หมุนของตัวอักษร ผลการทดลองโดยใช้ SVM เป็นเครื่องมือในการแบ่งกลุ่มข้อมูล พบว่า SIFT ให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่า HOG โดยที่ขั้นตอนวิธี SIFT ให้อัตราการรู้จำสูงมากกว่า 98% ในทุกชุดข้อมูล ยกเว้นเพียงข้อมูลชุด Bangla ที่เป็นตัวอักษรลายมือเขียน (BANG-C45) เท่านั้น โดยมีอัตราการรู้จำอยู่ที่ 85.6% ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนของข้อมูลชุด BANG-C45 มีลักษณะการเขียนตัวอักษรนั้นมีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก มีจำนวนข้อไม่เพียงพอ และตัวอักษรบางตัวมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำคุณลักษณะพิเศษที่ได้จากขั้นตอนวิธี SIFT และ HOG มาผ่านกระบวนการรู้จำโดยใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN ปรากฏว่าอัตราการรู้จำสูงมากกว่า 95% ยกเว้นเพียงข้อมูลชุด BANG-C45 เท่านั้น ที่มีอัตราการรู้จำอยู่ที่ 74.50% งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีแบบ Local gradient ที่ใช้สำหรับหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรลายมือเขียน แม้ว่าจะนำคุณลักษณะพิเศษจากทั้ง SIFT และ HOG มาผ่านการรู้จำด้วย *k*NN ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่มีลักษณะของกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน สิ่งที่น่าสนใจก็คือยังสามารถให้ประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรในอัตราที่สูง

จากงานวิจัยที่ศึกษาถึงขั้นตอนวิธี *k*NN เพื่อใช้ในการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนข้างต้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานของ *k*NN ซึ่งอยู่ในระดับดี และให้อัตราการรู้จำที่สูงมากกว่า 90% ยกเว้นข้อมูลบางชุดเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวแปรที่หลากหลาย เช่นการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรอาจไม่สามารถนำคุณลักษณะที่โดดเด่นของตัวอักษรแต่ละตัวมาใช้งานได้เพียงพอ ข้อมูลมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการประมวลผล ตัวอักษรในชุดข้อมูลมีลักษณะโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน หรือแม้แต่ตัวอักษรในกลุ่มเดียวกันอาจเขียนออกมาในลักษณะที่มีความแตกต่างกันมาก เป็นต้น ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงข้อมูลสมมุติฐานที่อัตราการรู้จำโดยใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN ต่ำกว่า 90% อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนวิธี *k*NN ให้อัตราการรู้จำที่สูงที่สุดถึง 98.42% โดยทดสอบกับข้อมูลชุด MNIST ที่ใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้จำนวน 60,000 และข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 5,000 ตัวเลข โดยใช้คุณลักษณะพิเศษที่แตกต่างกันถึง 4 เทคนิคด้วยกัน (37) การศึกษาการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนโดยใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN แสดงดัง (Table 2)

นอกจากจะใช้เพียงขั้นตอนวิธี *k*NN ในการ รู้จำตัวอักษรลายมือเขียน ซึ่งสามารถเรียกวิธีการแบบนี้ว่าการใช้เพียงขั้นตอนวิธีเดียวในการรู้จำซึ่งอาจเป็นเรื่องยากที่จะทำให้

มีอัตราการรู้จำที่สูงยังมีอีกหลากหลายงานวิจัยที่ใช้เอ็นเซมเบิลเทคนิค (Ensemble Technique) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านการจำแนกรูปแบบ (Pattern Classification) และ ML (38) วิธีนี้ทำงานด้วยการนำผลที่ได้จากการคาดการณ์ของแต่ละขั้นตอนวิธีมาจัดกลุ่มใหม่ โดยในแต่ละ Classifier อาจจะแสดงค่าการคาดการณ์ที่อาจจะแตกต่าง หรือเหมือนกัน ดังนั้นค่าการคาดการณ์ที่ปรากฏบ่อยที่สุดจาก Classifier ทั้งหมด นั่นก็คือผลลัพธ์ของ Ensemble Technique

Kumar et al. (39) นำเสนอการรู้จำตัวเลขจากข้อมูลชุด MNIST โดยใช้ขั้นตอนวิธีที่ประกอบด้วย *k*NN, ANN และการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis: LDA) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล และคุณลักษณะพิเศษที่ใช้ในประกอบด้วย Profile-Based Feature และ Kirsch Operator Based Feature จากการทดลองปรากฏว่าอัตราการรู้จำสูงที่สุดคือ 93% เมื่อใช้ Classifier เพียงตัวเดียว และเมื่อใช้ MV ปรากฏว่าอัตราการรู้จำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 98.05%

Azad et al. (38) ได้นำเสนอการรู้จำตัวเลขเปอร์เซียด้วยวิธี Classifier Fusion โดยใช้ *k*NN, ตัวจำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Classifier: LC) และ SVM เป็นขั้นตอนวิธีในการรู้จำตัวอักษร โดยค่าการคาดการณ์จากทั้ง 3 ขั้นตอนวิธีจะถูกนำไปหาคำตอบโดยวิธีการโหวตข้อมูลชุดนี้ประกอบด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้ 15,000 และข้อมูลชุดทดสอบ 5,000 ตัวเลข ในงานวิจัยนี้ได้คำนวณหาคุณลักษณะพิเศษของตัวเลขจำนวน 3 เทคนิคประกอบด้วย Directional Chain Code Frequencies, Modified Edge Maps Features และ Transition Features จากการทดลองปรากฏว่าอัตราการรู้จำสูงถึง 99.90% จากนั้นทดสอบด้วยการใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 20,000 ตัวเลข และแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน ทำให้มีอัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นเป็น 99.97%

นอกเหนือไปจากนั้น งานวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นถึงการนำ *k*NN ไปใช้งานร่วมกัน (Combination) กับขั้นตอนวิธีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน ดังต่อไปนี้

Pramod Kumar Sharma (40) นำเสนอการใช้งาน Classifier มากกว่าหนึ่งประเภท (Classifier Combination Method: CCM) เพื่อทำการรู้จำตัวเลขลายมือเขียน ซึ่งประกอบไปด้วย MLP, Learning Vector Quantization (LVQ) และ *k*NN โดยผลลัพธ์จากทั้ง 3 Classifier ถูกนำมารวมกันทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการคำนวณด้วย Discriminant Function การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือMV ซึ่งมีอัตราการรู้จำ 97.2% และ Classifier และ CCM มีอัตราการรู้จำ 98.1% จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรู้จำโดยใช้ CCM กับข้อมูลประเภทตัวเลขลายมือเขียนมีอัตราการรู้จำที่สูงกว่า MV

Zanchettin et al. (41) ได้นำขั้นตอนวิธี *k*NN มารวมเข้ากับ SVM ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า “KNN-SVM” ทั้งนี้ SVM สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี *k*NN ในการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน จากข้อสังเกตุ ผลลัพธ์ที่ถูกต้องของ *k*NN โดยทั่วไปนั้นจะอยู่ที่ข้อมูลจำนวน 2 ข้อมูลเท่านั้น (*k=2*) ดังนั้น SVM จึงถูกนำมาเพื่อช่วยตัดสินใจ แบ่งกลุ่มให้กับข้อมูลในกรณีที่ *k*NN ไม่สามารถแยกแยะได้ เช่น โครงสร้างของ ตัวอักษรที่คล้ายกัน ทำให้มักจะเกิดข้อผิดพลาดเมื่อเขียนตัวอักษรหนึ่งและไปคล้ายกับอีกตัวอักษรหนึ่ง เป็นต้น ผลของการทดลองโดยการใช้ขั้นตอนวิธี *k*NN มีอัตราการรู้จำ 82.26% เมื่อทดสอบกับชุดข้อมูล ตัวอักษรลายมือเขียนที่เขียนด้วยตัวพิมพ์เล็กและเขียนด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ซึ่งรวมกันเป็น 52 กลุ่ม และเมื่อนำขั้นตอนวิธี KNN-SVM มาใช้ปรากฏว่ามีอัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นเป็น 83.76% ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 1.5%

สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ***k*** ตำแหน่งไปใช้เพื่อรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน โดย *k*NN เป็นวิธีการที่ทำงานไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับการจัดหมวดหมู่ข้อมูล ขั้นตอนวิธี *k*NN สามารถทำได้โดยหาค่าความใกล้เคียงระหว่างข้อมูลที่ต้องการจำแนก และข้อมูลทั้งหมด โดยนำข้อมูลที่มีค่าระยะห่างน้อยที่สุดจำนวน *k* ข้อมูลมาพิจารณาจัดกลุ่ม จากการสำรวจพบว่า การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนด้วยขั้นตอนวิธี *k*NN มีอัตราการรู้จำมากกว่า 90% ทั้งนี้อาจเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น คุณลักษณะพิเศษ ที่ใช้ในงานวิจัย ลายมือเขียนที่อาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน หรือตัวอักษรที่มีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อรวมวิธีการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษที่คงทน ต่อการย่อขยาย และการหมุน เป็นต้น และขั้นตอนวิธี *k*NN เข้าด้วยกัน มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการรู้จำตัวอักษร ท้ายที่สุด ขั้นตอนวิธี *k*NN ยังมีจุดเด่นทางด้านความเร็วเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีประเภทอื่น เช่น ANN หรือ SVM เป็นต้น

Table 2 Study of various handwritten character recognition systems using *k*NN algorithm

Authors	Dataset				Image Size (Pixel)	Pre-processing	Feature Extraction	Performances
	Name	Train	Test	Classes				
Borji et al. (2008) (32)	MNIST	60,000	10,000	10	32x32	- N/A	- C2 features	87.80%
	Farsi	60,000	20,000	10				91.50%
Kumar et al. (2011) (3)	Gurmukhi	3,150	350	56	100x100	- Normalization - Contour Image	- Diagonal features - Transition features	94.12%
Surinta et al. (2012) (33)	Thai Character	5,310	590	68	40x40	- Cropping to exceeding part - Binarization - Normalization - Thinning	- Hotspot technique - Mark direction technique - Direction of chain code technique	88.00%
	MNIST	9,000	1,000	10				89.90%
	Bangla numeric	8,636	959	10				90.10%
Rathi et al. (2012) (34)	Devanagari Vowel	6,910	2,281	13	90x90	- Binarization - Removing isolated object - Median filter	- Feature mining algorithm	96.14%
Dhandra et al. (2012) (35)	Kannada vowel and English	2,000	2,000	40	32x32	- Noise removal - Normalization	- Density based zone features	95.77%
Dhandra et al. (2014) (36)	Kannada vowel	700	700	14	40x40	- Binarization	- Normalized chain code - Wavelet filters	95.07%
Elglaly and Quek (2014) (28)	Arabic	196	84	28	64x64	- Noise removal - Binarization - Normalization	- Height/Width - Number of black pixels / Number of - Number of horizontal transitions - Number of vertical transitions	90.00%

Table 2 Study of various handwritten character recognition systems using *k*NN algorithm (Cont.)

Authors	Dataset				Image Size (Pixel)	Pre-processing	Feature Extraction	Performances
	Name	Train	Test	Classes				
Kale et al. (2014) (14)	Devanagari Marathi	21,600	5,400	108	30x30	- Binarization - Noise removal - Boundary Tracing - Normalization - Skeletonization	- Zernike moment features	95.82%
Babu et al. (2014) (37)	MNIST	60,000	5,000	10	28x28	- Binarization - Noise removal	- The number of contours in the image - Area of the digit - Height, Width and Width to Height ratio features - Distribution features - Skeleton features	98.42%
Vyas and Goswami (2015) (31)	Gujarati Numeral	2,100	900	10	20x20	- Noise removal - Binarization - Normalization - Thinning	- Modified chain code - Discrete Fourier Transform (DFT) - Discrete Cosine Transform (DCT)	93.60%
Surinta et al. (2015) (25)	THI-C68	13,130	1,360	68	36X36	- Normalization - Convert to grayscale image	- Histograms of Oriented Gradients (HOG) - Scale Invariant Feature Transform (SIFT)	91.91%
	THI-D10	8,055	1,500	10				97.83%
	BANG-C45	4,627	900	45				69.67%
	BANG-C10	9,161	1,500	10				96.07%
	LATIN-C25	23,329	11,287	25				96.12%
	LATIN-C10	1,637	880	10				96.48%

เอกสารอ้างอิง

1. Mantas J. An Overview of Character Recognition Methodologies. Pattern Recognit. 1986;19(6):425–30.
2. Bag S, Harit G. A survey on Optical Character Recognition for Bangla and Devanagari Scripts. In: Sadhana Academy Proceedings in Engineering Sciences. 2013. p. 133–68.
3. Kumar M, Jindal M.K, Sarma R.K. *k* -Nearest Neighbor Based Offline Handwritten Gurmukhi Character Recognition. In: International Conference on Image Information Processing (ICIIP). 2011. p. 1–4.4.
   Borovikov E. A survey of Modern Optical Character Recognition Techniques. In: International Workshop on Applied Modelling & Simulation. 2004. p. 1–38.
5. Esposito F, Malerba D, Semeraro G. A knowledge-based approach to the layout analysis. In: International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 1995. p. 466–71.
6. Singh V, Kumar B. Document Layout Analysis for Indian Newspapers Using Contour Based Symbiotic Approach. In 2014. p. 1–4.
7. Surinta O, Holtkamp M, Karabaa F, Oosten JP Van, Schomaker L, Wiering M. A Path Planning for Line Segmentation of Handwritten Documents. In: International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR). IEEE; 2014. p. 175–80.
8. Fischer A, Frinken V, Fornés A, Bunke H. Transcription Alignment of Latin Manuscripts Using Hidden Markov Models. In: The Workshop on Historical Document Imaging and Processing (HIP). 2011. p. 29–36.
9. Fischer A, Keller A, Frinken V, Bunke H. Lexicon-Free Handwritten Word Spotting Using Character HMMs. Pattern Recognit Lett. 2012;33(7):934–42.
10. Tang H, Augustin E, Suen C.Y, Baret O, Cheriet M. Recognition of Unconstrained Legal Amounts Handwritten on Chinese Bank Checks. In: International Conference on Pattern Recognition (ICPR). 2004. p. 610–3.
11. Gaceb D, Eglin V, Lebourgeois F, Emptoz H. Physical Layout Segmentation of Mail Application Dedicated to Automatic Postal Sorting System. In: IAPR International Workshop on Document Analysis Systems (DAS). 2008. p. 408–14.
12. Pal U, Roy R.K, Kimura F. Bangla and English City Name Recognition for Indian Postal Automation. In: International Conference on Pattern Recognition. 2010. p. 1985–8.
13. Salimi H, Giveki D. Farsi/Arabic Handwritten Digit Recognition Based on Ensemble of SVD Classifiers and Reliable Multi-Phase PSO Combination Rule. Int J Doc Anal Recognit. 2013;16(4):371–86.
14. Kale K.V, Deshmukh P.D, Chavan S.V, Kazi M.M, Rode Y.S. Zernike Moment Feature Extraction for Handwritten Devanagari (Marathi) Compound Character Recognition. Int J Adv Res Artif Intell. 2014;3(1):68–76.
15. He S, Wiering M, Schomaker L. Junction Detection in Handwritten Documents and Its Application to Writer Identification. Pattern Recognit. Elsevier; 2015;48(12):4036–48.
16. Guerbai Y, Chibani Y, Hadjadji B. The Effective Use of the One-Class SVM Classifier for Handwritten Signature Verification Based on Writer-Independent Parameters. Pattern Recognit. 2015;48(1):103–13.
17. Bertolini D, Oliveira L.S, Justino E, Sabourin R. Texture-Based Descriptors for Writer Identification and Verification. Expert Syst Appl. Elsevier Ltd; 2013;40(6):2069–80.
18. Akao Y, Yamamoto A, Higashikawa Y. Assisting Forensic Writer Verification by Visualizing Diversity of Digit Handwritings. In: International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR). IEEE; 2014. p. 110–5.
19. Wolfshaar J van de, Karaaba M.F, Wiering M.A. Deep Convolutional Neural Networks and Support Vector Machines for Gender Recognition Deep Convolutional Neural Networks and Support Vector Machines for Gender Recognition. In: IEEE Symposium Series on Computational Intelligence. IEEE; 2015. p. 188–95.
20. LeCun Y, Matan O, Boser B, Denker J.S, Henderson D, Howard RE, et al. Handwritten Zip Code Recognition with Multilayer Networks. In: International Conference on Pattern Recognition. 1990. p. 35–40.

21. LeCun Y, Cortes C, Burges C.J.C. The MNIST database of handwritten digits [Internet]. 1998. Available from: http://yann.lecun.com/exdb/mnist/
22. der Maaten L van. A New Benchmark Dataset for Handwritten Character Recognition. Technical Report. Tilburg University, Tilburg, The Netherlands. 2009.
23. Schomaker L.R.B, Vuurpijl L. Forensic Writer Identification: A Benchmark Data Set and a Comparison of Two Systems. Technical Report. Nijmegen University, Tilburg, The Netherlands. 2000.
24. Nopsuwanchai R, Biem A, Clocksin W.F. Maximization of Mutual Information for Offline Thai Handwriting Recognition. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2006;28(8):1347–51.
25. Surinta O, Karaaba M.F, Schomaker L.R.B, Wiering M.A. Recognition of Handwritten Characters Using Local Gradient Feature Descriptors. Eng Appl Artif Intell. Elsevier; 2015;45:405–14.
26. Carmen Mart ınez, Fuentes O. Face Recognition Using Unlabeled Data. Iberoam J Comput Sci Res. 2003;7(2):123–9.
27. AlKhateeb J.H, Khelifi F, Jiang J, Ipson SS. A new approach for Off-Line Handwritten Arabic Word Recognition Using *k*NN Classifier. In: IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications. IEEE; 2009. p. 191–4.
28. Elglaly Y, Quek F. Isolated Handwritten Arabic Characters Recognition Using Multilayer Perceptrons and *k*-Nearest Neighbor Classifiers. In 2012. p. 1–6.
29. Cordella L, Stefano C De, Fontanella F, Marrocco C. A Feature Selection Algorithm for Handwritten Character Recognition. In: International Conference on Pattern Recognition (ICPR). 2008. p. 1–4.
30. Rashad M, Semary N.A. Isolated Printed Arabic Character Recognition Using *k*NN and Random Forest Tree Classifiers. Adv Mach Learn Technol Appl. 2014;488:11–7.
31. Vyas AN, Goswami MM. Classification of Handwritten Gujarati Numerals. In: International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). 2015. p. 1231–7.
32. Borji A, Hamidi M, Mahmoudi F. Robust handwritten character recognition with features inspired by visual ventral stream. Neural Process Lett. 2008;28(2):97–111.
33. Surinta O, Schomaker L.R.B, Wiering M.A. Handwritten Character Classification Using the Hotspot Feature Extraction Technique. In: International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM). Vilamoura, Algarve, Portugal: SciTePress - Science and and Technology Publications; 2012. p. 261–4.
34. Rathi R, Krishan Pandey R, Chaturvedi V, Jangid M. Offline Handwritten Devanagari Vowels Recognition using *k*NN Classifier. Int J Comput Appl. 2012;49(23):11–6.
35. Dhandra B.V, Mukarambi G, Hangarge M. Handwritten Kannada Vowels and English Character Recognition System. Int J Image Process Vis Sci. 2012;1(1):12–7.
36. Dhandra B.V, Parameshwarapa S, Mukarambi G. Kannada Handwritten Vowels Recognition Based on Normalized Chain Code and Wavelet Filters. Int J Comput Appl Recent Adv Inf Technol. 2014;21–4.
37. Babu UR, Chintha A.K, Venkateswarlu Y. Handwritten Digit Recognition Using Structural, Statistical Features and K-nearest Neighbor Classifier. Int J Inf Eng Electron Bus. 2014;6(1):62–8.
38. Azad R, Azad B, Mogharreb I, Jamali S. Classifier Fusion Method to Recognize Handwritten Persian Numerals. Int J Cybern Informatics. 2014;3(3):1–10.
39. Kumar R, Goyal M.K, Ahmed P, Kumar A. Unconstrained Handwritten Numeral Recognition using Majority Voting Classifier. In: IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Compu ting (PDGC). 2012. p. 284–9.
40. Sharma P.K. Multiple Classifiers for Unconstrained Offline Handwritten Numeral Recognition. In: International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, (ICCIMA). 2007. p. 344–8.
41. Zanchettin C, Bezerra B.L.D, Azevedo W.W. A *k*NN-SVM Hybrid Model for Cursive Handwriting Recognition. In: International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). 2012. p. 1–8.

เป้าหมายใหม่ในการลดระดับความดันโลหิตผ่านการควบคุม Renin-Angiotensin-Aldosterone System (RAAS)

Novel Targets for Lowering Blood Pressure via a Regulation of renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS)

ปวิตรา พูลบุตร[1]

Pawitra Pulbutr[1]

Received: 26 February 2016; Accepted: 23 May 2016

บทคัดย่อ

Renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS) เป็นระบบสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับความดันโลหิตของร่างกาย โดย angiotensin II เป็น peptide หลักที่ออกฤทธิ์ผ่าน angiotensin II type 1 (AT1) receptor ทำให้หลอดเลือดหดตัว และเพิ่มการหลั่งฮอร์โมน aldosterone จากต่อมหมวกไตชั้นนอก ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซึมกลับของน้ำและโซเดียมบริเวณท่อไตส่วน collecting tubule นอกจากนี้ angiotensin II ยังมีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่ง antidiuretic hormone (ADH) และกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก ฤทธิ์เหล่านี้ของ angiotensin II ล้วนส่งผลทำให้ระดับความดันโลหิตภายในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการขัดขวางการทำงานของ RAAS จึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญของการลดระดับความดันโลหิต ยาลดระดับความดันโลหิตในปัจจุบันที่ออกฤทธิ์ขัดขวาง RAAS ได้แก่ β1-adrenoceptor blockers, renin inhibitors, angiotensin converting enzyme inhibitors (ACEIs) และ AT1 receptor blockers (ARBs) นอกจากการทำงานของ ACE/Angiotensin II/AT1 receptor แล้ว ปัจจุบันมีการค้นพบบทบาทของสารประเภท peptides ใหม่หลายชนิดในระบบ RAAS โดยเฉพาะการทำงานของ ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดฤทธิ์ทางสรีรวิทยาที่ตรงข้ามกับการกระตุ้น AT1 receptor รวมทั้งสาร angiotensin III, angiotensin IV, Ang-(1-9) และ alamandine ซึ่งเป็น peptides ที่มีฤทธิ์ทางสรีรวิทยาต่อความดันโลหิตเช่นเดียวกัน การควบคุมการทำงานของ ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor และ peptides ชนิดใหม่เหล่านี้จึงเป็นเป้าหมายใหม่สำหรับการควบคุมความดันโลหิตที่มีความน่าสนใจ ผ่านกลไกการออกฤทธิ์ที่หลากหลาย เช่น กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACE2 (ACE2 activators), กระตุ้น Mas receptor (Mas receptor agonists) และกระตุ้น angiotensin II type 2 (AT2) receptor (AT2 receptor agonists) เป็นต้น สารเหล่านี้บางชนิดมีประสิทธิภาพที่ดีในการควบคุมความดันโลหิตจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาทางคลินิกเพื่อพัฒนาเป็นยาลดความดันโลหิตต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: โรคความดันโลหิตสูง ระบบ renin-angiotensin-aldosterone ยาลดความดันโลหิต

Abstract

The Renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS) plays a pivotal role in the regulation of blood pressure in the body primarily via the activation of angiotensin II type 1 (AT1) receptor by angiotensin II. The major blood pressure-regulatory actions of angiotensin II include vasoconstricting action and secretion of aldosterone from the adrenal cortex, resulting in Na^+ and water reabsorptions at the renal collecting tubules. Additionally, angiotensin II also causes antidiuretic hormone (ADH) secretion and stimulation of the sympathetic nervous system activity. Modulations of RAAS are thus the extensive targets for various groups of antihypertensive agents including β1-adrenoceptor blockers, renin inhibitors, angiotensin converting enzyme inhibitors (ACEIs) and AT1 receptor blockers (ARBs). In addition to the

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1] *Assistant Professor, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, Kantharawichai district, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: pawitra.p@msu.ac.th*

classic RAAS acting via the ACE/Angiotensin II/AT1 receptor pathway, a recent discovery of the counter-regulatory pathway of RAAS, the ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway, as well as several RAAS-derived active peptides such as angiotensin III, angiotensin IV, Ang-(1-9) and alamandine offers intriguingly novel targets for the control of high blood pressure. The newly developed blood pressure-lowering agents act via distinct modes of action such as ACE2 activation (ACE2 activators), Mas receptor stimulation (Mas receptor agonists) and AT2 receptor stimulation (AT2 receptor agonists). Some of these agents exerted an effective antihypertensive action in the animal studies and are currently under the clinical investigations as a putative breakthrough in the treatment of hypertension.

Keywords: Hypertension, Renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS), Antihypertensive agents

บทนำ

โรคความดันโลหิตสูง (hypertension) เป็นความผิดปกติทางระบบหัวใจและหลอดเลือดที่พบได้มากที่สุดและจัดเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular disease) โดยที่ความเสี่ยงจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความดันโลหิตที่เพิ่มขึ้น[1] โรคความดันโลหิตสูง (hypertension) หมายถึง ระดับความดันช่วงหัวใจบีบ (systolic blood pressure, SBP) ≥ 140 mmHg และ/หรือ ความดันช่วงหัวใจคลาย (diastolic blood pressure, DBP) ≥ 90 mmHg เกณฑ์การวินิจฉัยโรคความดันโลหิตสูงของ European Society of Hypertension (ESH) และ European Society of Cardiology (ESC) ปีค.ศ.2013[2] (2013 ESH/ESC guidelines) และแนวทางการรักษาโรคความดันโลหิตสูงในเวชปฏิบัติทั่วไป ปีพ.ศ.2555 (ปรับปรุง พ.ศ.2558)[3] จัดแบ่งความรุนแรงของโรคความดันโลหิตสูงโดยเมื่อความรุนแรงของ SBP และ DBP อยู่ต่างระดับกัน ให้ถือระดับที่รุนแรงกว่าเป็นเกณฑ์ (Table 1) สาเหตุของโรคความดันโลหิตสูงส่วนใหญ่ไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด โรคความดันโลหิตสูงที่เกิดขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุนี้เรียกว่า “essential hypertension” หรือ “primary hypertension” ส่วนโรคความดันโลหิตสูงชนิดที่ทราบสาเหตุแน่ชัดเรียกว่า “secondary hypertension” ซึ่งมีผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงเพียง 10-15% เท่านั้นที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงชนิดที่ทราบสาเหตุแน่ชัด สาเหตุของโรคความดันโลหิตสูงชนิด secondary hypertension เช่น การตีบแคบของหลอดเลือดแดงบริเวณไต (renal artery stenosis) การตีบตันของหลอดเลือดแดง aorta (coarctation of the aorta) และเนื้องอกของต่อมหมวกไต (pheochromocytoma) เป็นต้น[4] ความดันโลหิต (arterial blood pressure, BP) ขึ้นกับปริมาตรของเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจ (cardiac output, CO) และความต้านทานของหลอดเลือดแดง (peripheral vascular resistance, PVR) นั่นคือ BP = CO x PVR บริเวณหลักของร่างกายที่ทำหน้าที่ควบคุมความดันโลหิตได้แก่ หลอดเลือดแดง (arteriole) หลอดเลือดดำ (post-capillary venule) หัวใจ และไต บริเวณเหล่านี้ถูกควบคุมโดยการทำงานของ baroreceptor reflex ซึ่งเกิดผ่านระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) และการทำงานของฮอร์โมนซึ่งได้แก่ renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS) นอกจากนี้การหลั่งและการสังเคราะห์สารที่ออกฤทธิ์เฉพาะที่ต่อหลอดเลือดจากเซลล์เยื่อบุหลอดเลือด (vascular endothelium) เช่น ไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว หรือ เอนโดธิลินหนึ่ง (endothelin-1) ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดหดตัวก็ส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือดได้เช่นกัน

ความดันโลหิตที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้มีการทำลายหลอดเลือดในอวัยวะต่างๆ เช่น ตา ไต หัวใจและสมอง เป็นต้น ซึ่งจะนำไปสู่การทำลายอวัยวะ (target organ damage) และเกิดโรคของอวัยวะต่างๆเหล่านี้ เช่น จอตาเสื่อม (retinopathy) ไตวาย (renal failure) โรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary disease) ภาวะหัวใจล้มเหลว (heart failure) และโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) เป็นต้น ปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ที่ส่งผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิด target organ damage ได้แก่ การสูบบุหรี่ ระดับไขมันในเลือดผิดปกติ (dyslipidemia) โรคอ้วน โรคเบาหวาน รวมทั้งประวัติการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในครอบครัว[4] ยาลดความดันโลหิต (antihypertensive agents) สามารถช่วยป้องกัน target organ damage และลดอัตราการเจ็บป่วยและอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงลงได้ แม้ว่าปัจจุบันได้มีการพัฒนายาลดความดันโลหิตซึ่งมีกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันขึ้นหลายกลุ่ม ได้แก่ ยาขับปัสสาวะ (diuretics) ยาที่ขัดขวางการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathoplegic agents) ยาขยายหลอดเลือด (vasodilators) และยาที่ออกฤทธิ์ต่อ RAAS[4] อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงจำนวนประมาณ 10-15% ยังคงไม่ตอบสนองต่อการรักษาหรือเกิดภาวะ resistant hypertension นั่นคือยังคงไม่สามารถควบคุมความดันโลหิตได้แม้ว่าจะได้รับยาลดความดันโลหิตในกลุ่มที่แตกต่างกันจำนวน 3 ชนิดขึ้นไปแล้วก็ตาม หรือจำเป็นต้องได้รับยาลดความดันโลหิตตั้งแต่ 4 ชนิดขึ้นไปจึงจะสามารถควบคุมความ

ดันโลหิตได้[5] สาเหตุส่วนหนึ่งของการเกิดภาวะ resistant hypertension มาจากการขาดความร่วมมือในการใช้ยาของผู้ป่วย ซึ่งอาจมีที่มาจากการเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยาโดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ยาในขนาดสูง ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนายาลดความดันโลหิตกลุ่มใหม่ที่มีกลไกการออกฤทธิ์แตกต่างออกไปจากยากลุ่มเดิมจึงมีความจำเป็น เพื่อช่วยเสริมฤทธิ์ในการควบคุมความดันโลหิต และลดโอกาสการเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา

Table 1 เกณฑ์การวินิจฉัยโรคความดันโลหิตสูงตาม 2013 ESH/ESC guidelines[2]

Category	Systolic		Diastolic
Optimal	<120	and	<80
Normal	120-129	and/or	80-84
High normal	130-139	and/or	85-89
Grade 1 hypertension	140-159	and/or	90-99
Grade 2 hypertension	160-179	and/or	100-109
Grade 3 hypertension	≥180	and/or	≥110
Isolated systolic hypertension	≥140	and	<90

Classical Renin-Angiotensin-Aldosterone System (RAAS)

RAAS เป็นระบบสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมความดันโลหิตภายในร่างกาย การทำงานของ RAAS (Figure 1) เริ่มต้นจากการหลั่งเอนไซม์ renin จาก granular cells ของ juxtaglomerular apparatus ที่บริเวณไต การหลั่งของ renin ถูกกระตุ้นได้จากหลายปัจจัยได้แก่ 1) ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง (arterial blood pressure) ที่ลดลง 2) ระดับโซเดียม (Na^+) ที่ลดลงบริเวณ macula densa cells ของ juxtaglomerular apparatus และ 3) การกระตุ้นโดยระบบประสาทซิมพาเทติกผ่าน β1-adrenoceptor[4] สารที่เป็น substrate ของ renin คือ angiotensinogen ซึ่งส่วนมากสร้างจากตับ renin จะเปลี่ยน angiotensinogen ได้เป็น angiotensin I ซึ่งเป็น decapeptide ขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลง angiotensinogen ไปเป็น angiotensin I จัดเป็น rate-limiting step ของระบบ RAAS สาร angiotensin I จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อด้วยเอนไซม์ angiotensin converting enzyme (ACE) ซึ่งพบได้บริเวณ endothelial cell ของหลอดเลือดและออกฤทธิ์เป็น exopeptidase enzyme โดยทำหน้าที่ตัด dipeptides ออกจาก C-terminus ของ angiotensin I ได้เป็น angiotensin II ซึ่งเป็น octapeptide ที่มีฤทธิ์ทางสรีรวิทยา สาร angiotensin II ออกฤทธิ์โดยการเข้าจับกับ angiotensin II receptors 2 ชนิดได้แก่ angiotensin II type 1 (AT1) receptor และ angiotensin II type 2 (AT2) receptor ฤทธิ์หลักของ angiotensin II ที่เกิดผ่านการกระตุ้น AT1 receptor ได้แก่ 1) กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน aldosterone จากต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex) ซึ่ง aldosterone มีฤทธิ์เพิ่มการดูดกลับของน้ำและ Na^+ ที่ท่อไตบริเวณ collecting tubule และเพิ่มการขับออกของ K^+ และ H^+ 2) เหนี่ยวนำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือด (vasoconstriction) 3) กระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมน antidiuretic hormone (ADH) จากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ซึ่งฮอร์โมน ADH มีฤทธิ์เพิ่มการดูดกลับของน้ำที่บริเวณ collecting tubule และ 4) เพิ่มการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก โดยเพิ่มการหลั่ง norepinephrine จาก sympathetic nerve terminal นอกจากนี้ angiotensin II ยังมีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งของ renin จาก juxtaglomerular apparatus (negative feedback action) และมีฤทธิ์กระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของเซลล์ที่หัวใจและหลอดเลือดแดงอีกด้วย[4] ส่วนการกระตุ้น AT2 receptor นั้นพบว่าทำให้เกิดผลที่ตรงข้ามกับการกระตุ้น AT1 receptor[6]

นอกจาก angiotensin II จะมีฤทธิ์ต่อระบบต่างๆของร่างกายดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว angiotensin II ยังมีฤทธิ์เฉพาะที่ต่อหลอดเลือด โดยที่ angiotensin II สามารถถูกสร้างขึ้นได้ในบริเวณของหลอดเลือด[6] เมื่อ angiotensin II กระตุ้น AT1 receptor มีผลทำให้หลอดเลือดหดตัว เหนี่ยวนำให้การทำงานของเยื่อบุผนังหลอดเลือดบกพร่อง (endothelial dysfunction) เกิดการอักเสบ (inflammation) มีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์บริเวณหลอดเลือด (remodeling) ส่วนการกระตุ้น AT2 receptor บริเวณหลอดเลือดคาดว่าทำให้เกิดผลที่ตรงข้าม อย่างไรก็ตามบางสถานการณ์ เช่น ในหนูขาวชนิด spontaneously hypertensive rats (SHR) พบว่า การกระตุ้น AT2 receptor ที่หลอดเลือดอาจให้ผลเช่นเดียวกับการกระตุ้น AT1 receptor[7] ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการที่ AT2 receptor กับ AT1 receptor มีการเข้าคู่กัน (heterodimerization) การเพิ่มขึ้นของระดับ angiotensin II บริเวณหลอดเลือดมีข้อเสียคือทำให้มีการทำงานของเอนไซม์ NAD(P)H oxidase เพิ่มขึ้นในทั้ง endothelial cells, adventitial cells และ vascular smooth muscle cells ซึ่ง NAD(P)H oxidase จะเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species) เช่น superoxide และ hydrogen peroxide ที่บริเวณผนังหลอดเลือด reactive oxygen species เหล่านี้จะกระตุ้น signaling pathway หลายชนิดและทำให้เกิดการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบและมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์[8] ซึ่งจัดเป็นพยาธิ

สรีรวิทยาที่สำคัญของการเกิดภาวะแทรกซ้อนต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดในโรคความดันโลหิตสูง

ยาลดความดันโลหิตในปัจจุบันที่ออกฤทธิ์ขัดขวางการทำงานของ RAAS ได้แก่ 1) ยากลุ่ม β-adrenoceptor blockers ออกฤทธิ์ยับยั้งการหลั่ง renin 2) ยากลุ่ม renin inhibitors ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ renin ได้แก่ยา aliskiren 3) ยากลุ่ม ACE inhibitors (ACEIs) ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACE เช่น ยา captopril, enalapril, lisinopril, perindopril เป็นต้น และ 4) ยากลุ่ม angiotensin II type 1 receptor blockers (ARBs) ออกฤทธิ์เป็น antagonists ของ AT1 receptors เช่น losartan, valsartan, candesartan, azilsartan เป็นต้น[4] นอกเหนือจากการทำงานของ RAAS ในรูปแบบดั้งเดิมข้างต้น ปัจจุบันได้มีการค้นพบฤทธิ์ทางสรีรวิทยาของ peptides ใหม่หลายชนิดใน RAAS ซึ่งฤทธิ์ทางสรีรวิทยาของ peptides เหล่านี้เกิดจากทั้งการกระตุ้นผ่าน AT1, AT2 receptors รวมทั้ง receptors ใหม่ชนิดอื่นๆ เช่น Mas receptor, Mas-related G-protein-coupled receptor member D (MrgD) เป็นต้น การควบคุมการทำงานของ peptides และ receptors เหล่านี้ในระบบ RAAS จัดเป็นเป้าหมายใหม่ของยาลดความดันโลหิตที่มีกลไกการออกฤทธิ์แตกต่างออกไปจากยากลุ่มเดิมที่มีใช้ทางคลินิก

Peptides ใหม่ใน RAAS

1. Ang-(1-7)

Ang-(1-7) เป็น heptapeptide ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง angiotensin II ด้วยเอนไซม์ angiotensin converting enzyme 2 (ACE2) (Figure 1) เอนไซม์ ACE2 เป็น transmembrane glycoprotein ที่มีความคล้ายคลึงกับ ACE 42%[9] เอนไซม์ ACE2 นอกจากทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลง angiotensin II ไปเป็น Ang-(1-7) แล้ว ยังสามารถทำหน้าที่เปลี่ยนแปลง angiotensin I ไปเป็น Ang-(1-9) ได้ด้วย โดยที่ ACE2 ตัดกรดอะมิโน Phenylalanine ออกจาก angiotensin II ได้เป็น Ang-(1-7) และตัดกรดอะมิโน Leucine ออกจาก angiotensin I ได้เป็น Ang-(1-9)[10] Ang-(1-7) ออกฤทธิ์หลักผ่านการกระตุ้น Mas receptor ซึ่งเป็น G-protein coupled receptor[11] สาร Ang-(1-7) มีฤทธิ์ขับปัสสาวะ (diuresis) และขับโซเดียม (natriuresis) ที่บริเวณไต ซึ่งฤทธิ์เหล่านี้ของ Ang-(1-7) เกิดผ่านการยับยั้ง Na^+ reabsorption ที่บริเวณ proximal renal tubule จากการออกฤทธิ์ผ่านทั้ง Mas receptor, AT1 receptor และ AT2 receptor นอกจากนี้ Ang-(1-7) ยังมีฤทธิ์ทำให้หลอดเลือดขยายตัว (vasodilation) ลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชั่น (oxidative stress) อีกทั้งยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มขนาดของเซลล์ (antihypertrophic effect) และยับยั้งการเกิดพังผืด (antifibrotic effect) ด้วย[1] นอกจากการกระตุ้น ACE2 จะทำให้เกิดการสร้าง Ang-(1-7) แล้วยังมีผลทำลาย angiotensin II อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทำงานของ ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor มีฤทธิ์ทางสรีรวิทยาที่ตรงข้ามกับการกระตุ้น RAAS ผ่านการทำงานของ ACE/Angiotensin II/AT1 receptor ส่วนสาร Ang-(1-9) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง angiotensin I ด้วยเอนไซม์ ACE2 มีฤทธิ์ในการลดความดันโลหิต และลดการบาดเจ็บของระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ จากการศึกษาในแบบจำลองสัตว์ทดลองที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง[12] ซึ่งฤทธิ์ของ Ang-(1-9) เกิดผ่านการกระตุ้น AT2 receptor

2. Angiotensin III และ angiotensin IV

Angiotensin III หรือ Ang-(2-8) เป็น heptapeptide ที่เกิดจากการทำลาย angiotensin II ด้วยเอนไซม์ aminopeptidase A[13] สาร Ang III สามารถเข้าจับกับ AT1 และ AT2 receptors และทำให้เกิดฤทธิ์ natriuresis โดยพบว่าสาร Ang III มีความชอบจับ (affinity) ต่อ AT1 receptors มากกว่า AT2 receptors[14] ส่วน angiotensin IV (Ang IV) หรือ Ang-(3-8) เป็น hexapeptide ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง Ang III ด้วยเอนไซม์ aminopeptidase N นอกจากนี้ Ang IV ยังถูกสร้างได้จากการเปลี่ยนแปลง angiotensin II ด้วยเอนไซม์ D-aminopeptidase ได้อีกด้วย[15] สาร Ang IV ออกฤทธิ์โดยการเข้าจับกับ AT4 receptor ซึ่งเป็นโปรตีนมีคุณสมบัติเป็น insulin-regulated aminopeptidase[16] และมีฤทธิ์เพิ่มการไหลเวียนของเลือดที่ไตและลดการดูดกลับของ Na^+ ที่ proximal renal tubule[17] นอกจากการเข้าจับกับ AT4 receptor แล้ว Ang IV ยังสามารถออกฤทธิ์ผ่านการเข้าจับกับ AT1 receptor ได้ด้วย

3. Ang A

Ang A หรือเป็น octapeptide ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 8 ชนิดได้แก่ Ala-Arg-Val-Tyr-Ile-His-Pro-Phe การสังเคราะห์ Ang A เกิดจากปฏิกิริยา decarboxylation ของกรดอะมิโน Aspartic acid ในโมเลกุลของ angiotensin II สาร Ang A มี affinity ต่อ AT2 receptor มากกว่า angiotensin II และมี affinity ต่อ AT1 receptor เช่นเดียวกับ angiotensin II สาร Ang A มีฤทธิ์ทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดที่ไต[18] Ang A สามารถถูกเปลี่ยนแปลงต่อได้เป็น heptapeptide ชนิดใหม่คือ alamandine[19]

4. Alamandine

Alamandine หรือ Ala^1-Ang-(1-7) เกิดจากปฏิกิริยา decarboxylation ของกรดอะมิโน Aspartic acid บริเวณ N-terminal ของ angiotensin II ได้เป็น Ala^1-Angio-

tensin II (Ang A) ตามด้วยปฏิกิริยา hydrolysis โดยเอนไซม์ ACE2 เกิดเป็น Ala[1]-Ang-(1-7) (alamandine) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับ Ang-(1-7) แต่มีการแทนที่กรดอะมิโน Aspartic acid บริเวณ N-terminal ด้วยกรดอะมิโน Alanine[19] สาร alamandine มีฤทธิ์คล้ายกับ Ang-(1-7) แต่การออกฤทธิ์เกิดผ่าน receptor ที่แตกต่างออกไป โดยที่ alamandine ออกฤทธิ์ผ่าน Mas-related G-protein-coupled receptor member D (MrgD) สาร alamandine ในรูป alamandine/β-hydroxypropylcyclodextrin มีฤทธิ์ลดความดันโลหิตใน SHR และยับยั้งการสร้างพังผืด (antifibrotic effects) ในหนูที่ได้รับ isoprenaline

เป้าหมายใหม่ในการควบคุม RAAS

1. การกระตุ้น ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway

การกระตุ้น ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway ทำให้เกิดฤทธิ์ทางสรีรวิทยาที่ตรงกันข้ามกับการทำงานของ angiotensin II ผ่านการกระตุ้น AT1 receptor (ACE/Angiotensin II/AT1 receptor pathway) โดยพบว่าทำให้ความดันโลหิตลดลง และยังสามารถป้องกันหรือแก้ไขการทำลายอวัยวะ (target organ damage) ในสัตว์ทดลองที่มีความดันโลหิตสูงได้ด้วย[20] ทั้ง ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway และ ACE/Angiotensin II/AT1receptor pathway มีความสัมพันธ์กัน โดยที่การยับยั้ง ACE/Angiotensin II/AT1 receptor pathway ด้วยการให้ ACEIs หรือ ARBs มีผลเพิ่มระดับของ Ang-(1-7) และการให้ Mas receptor antagonist (A-779) มีผลทำให้ฤทธิ์ของ ACEIs และ ARBs ลดลง[9] การกระตุ้น ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway ทำได้โดยวิธีการได้แก่ การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACE2, การเพิ่มระดับ Ang-(1-7) และการกระตุ้น Mas receptor

จากการที่ Ang-(1-7) เป็น peptide ที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้นและถูกทำลายได้ในทางเดินอาหาร จึงมีการพัฒนาสารที่ออกฤทธิ์คล้าย Ang-(1-7) ที่ไม่ใช่ peptide และสามารถเข้าจับกับ Mas receptor ได้ สารนั้นคือ AVE0991 ซึ่งเป็น Mas receptor agonist ที่มีสูตรโครงสร้างเป็น imidazole compound จากการศึกษาพบว่า AVE 0991 มีฤทธิ์กระตุ้นการสร้าง NO ได้ที่บริเวณ endothelial cells[21] สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการคลายตัวของหลอดเลือดแดง aorta ผ่านการกระตุ้น Mas receptor[22] การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า AVE0991 มีฤทธิ์ลดความดันโลหิตในหนู SHR[23] และในหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นความดันโลหิตสูงจากการได้รับ deoxycorticosterone acetate (DOCA) และ เกลือ (DOCA-salt-induced hypertension) โดยที่ AVE0991 สามารถลดความดันโลหิตลงได้อีก หลังจากที่ความดันโลหิตลดลงเมื่อได้รับยา aliskiren (renin inhibitor)[24] นอกจากฤทธิ์ลดความดันโลหิตแล้ว AVE0991 ยังมีผลปกป้องไตได้ในแบบจำลองภาวะไตเสื่อมจากการเหนี่ยวนำด้วยสาร adriamycin (adriamycin-induced nephropathy) อีกด้วย[25]

สารอีกชนิดที่ออกฤทธิ์เป็น Mas receptor agonist ได้แก่ Ang-(1-7)-CyD ซึ่งเป็นการนำเอา Ang-(1-7) ไปเชื่อมต่อกับโมเลกุลของ hydroxypropyl-β-cyclodextrin ซึ่งจะทำให้สารที่ได้ทนต่อการถูกทำลายด้วยเอนไซม์ในทางเดินอาหารและสามารถให้ด้วยการรับประทานได้ การศึกษาในหนูที่ได้รับ isoprenaline พบว่าการได้รับ Ang-(1-7)-CyD สามารถเพิ่มระดับ Ang-(1-7) ในกระแสเลือดและลดการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจตายได้[26] Ang-(1-7)-CyD ยังมีผลลดความดันโลหิต ลดอัตราการเต้นของหัวใจ และลดการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจโต (myocardial hypertrophy) ได้ในหนู SHR[27] อีกทั้งยังมีผลลดการอักเสบในบริเวณ atherosclerotic plaque ของหลอดเลือด carotid ได้[9] นอกจากผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดแล้ว ยังมีการศึกษาพบว่า Ang-(1-7)-CyD มีผลดีในการลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้จากการเพิ่มการส่งสัญญาณของอินซูลินและกระตุ้นการนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์อีกด้วย[28]

นอกเหนือจากการพัฒนาสารที่ออกฤทธิ์เป็น Mas receptor agonist แล้ว การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACE2 (ACE2 activator) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มการทำงานของ ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway โดยที่การกระตุ้น ACE2 จะมีผลทั้งเพิ่ม Ang-(1-7) และลด angiotensin II ซึ่งจะส่งผลให้มีการกระตุ้น AT1 receptor ที่ลดลงด้วยนั่นเอง การดัดแปลงพันธุกรรมให้หนู SHR มีการแสดงออกของ ACE2 เพิ่มขึ้นมีผลลดการหดตัวของหลอดเลือด และลดความดันโลหิต[29] สารที่ออกฤทธิ์เป็น ACE2 activator ที่มีการพัฒนาขึ้นได้แก่ xanthenone (XNT) ซึ่งออกฤทธิ์โดยเข้าจับกับบริเวณจำเพาะของ ACE2 และเหนี่ยวนำให้เกิด conformational change ที่มีผลเพิ่มการทำงานของ ACE2 การศึกษาในหนู SHR พบว่า XNT สามารถลดความดันโลหิต เพิ่มการทำงานของหัวใจและลดการเกิด renal fibrosis ได้[30] สาร XNT มีฤทธิ์ลดภาวะความดันโลหิตสูงที่ปอด (pulmonary hypertension) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสาร monocrotaline ซึ่งฤทธิ์ลดภาวะความดันโลหิตสูงที่ปอดนี้ เกิดผ่านกลไกในการกระตุ้น Mas receptor อีกทั้ง XNT ยังสามารถป้องกันการเกิด remodeling ของหลอดเลือดที่บริเวณปอด ป้องกันการเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างขวาโตและการเกิด fibrosis ที่กล้ามเนื้อหัวใจด้วย ซึ่งฤทธิ์ของ XNT ในการปกป้องปอดและหัวใจนี้คาดว่าเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ลดการสร้าง

proinflammatory cytokines ได้แก่ tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), interleukin-1 (IL-1), interleukin-6 (IL-6), monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1), nuclear factor-kappa B (NF-kB) p50 และ NF-kB p65 และเพิ่มระดับ anti-inflammatory cytokines คือ interleukin-10 (IL-10)[31]

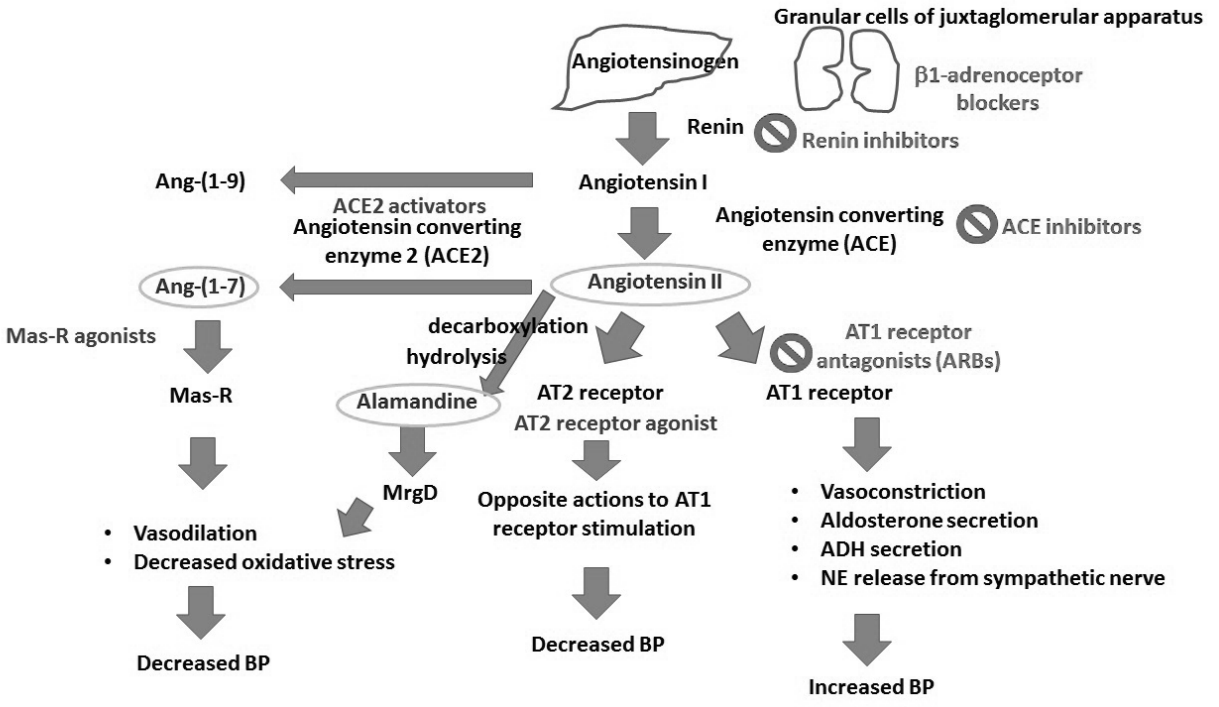


Figure 1 **Classical and counter regulatory renin-angiotensin-aldosterone system (RAAS).** Activation of the classical RAAS pathway increases BP and target organ damage whilst activation of counter regulatory RAAS, ACE2/Ang-(1-7)/Mas-R, decreases BP. Other novel peptides in RAAS such as alamandine and Ang-(1-9) also regulate BP. Mas-R, Mas receptor; Mrg-D, Mas-related G-protein coupled receptor member D

การศึกษาในหนู SHR พบว่าการให้ XNT มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ ACE2 ที่หัวใจเพิ่มขึ้น เพิ่มระดับของ Ang-(1-7) และลดการเกิด fibrosis ที่หัวใจ โดยฤทธิ์ยับยั้งการเกิด fibrosis ที่หัวใจนี้เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการส่งสัญญาณผ่าน extracellular signal-regulated kinases (ERK) signaling[32] อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่า XNT มีฤทธิ์ลดระดับความดันโลหิตได้ในหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีความดันโลหิตสูงด้วย angiotensin II (angiotensin II-induced acute hypertension) โดยที่ฤทธิ์ในการลดความดันโลหิตไม่ได้เกี่ยวข้องกับฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของ ACE2 หรือ ระดับของ angiotensin II จึงอาจเป็นไปได้ว่าฤทธิ์ลดความดันโลหิตของ XNT อาจเกิดผ่านกลไกการออกฤทธิ์อื่นนอกเหนือจากการกระตุ้นเอนไซม์ ACE2[33]

การพัฒนา recombinant human ACE2 (rhACE2) ก็เป็นอีกวิถีทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มการทำงานของ ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway โดยพบว่า rhACE2 สามารถลดความดันโลหิตในหนู SHR อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านการอักเสบบริเวณปอด และชะลอการเกิดภาวะไตบกพร่องจากโรคเบาหวาน (diabetic nephropathy) ในสัตว์ทดลองได้[34,35] จากการศึกษา phase 1 clinical trial ในอาสาสมัครสุขภาพดีพบว่าการให้ rhACE2 โดยการฉีดเข้าหลอดเลือดดำขนาด 100 – 1,200 ไมโครกรัม/กิโลกรัม มีผลเพิ่มระดับ ACE2 ลดระดับ angiotensin II แต่ไม่มีผลต่อความดันโลหิต และไม่ทำให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ที่เป็นอันตรายร้ายแรง[36]

2. การเพิ่มระดับของ alamandine

การพัฒนาสารที่เป็นอนุพันธ์ของ alamandine ซึ่งมีฤทธิ์คล้ายกับ Ang-(1-7) โดยการนำ hydroxypropyl-β-cyclodextrin มาเชื่อมต่อกับโมเลกุลของ alamandine ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน alamandine/HPβCD สารชนิดนี้สามารถให้โดยการรับประทานได้ และมีฤทธิ์ลดระดับความดัน

โลหิตในหนู SHR และยับยั้งการเกิด cardiac fibrosis ได้ในหนูที่ได้รับ isoprenaline[19]

3. การกระตุ้น AT2 receptor (AT2 receptor agonists)

โดยปกติแล้วบริเวณหลอดเลือดของผู้ใหญ่มี AT2 receptor จำนวนน้อย แต่ในภาวะที่ความดันโลหิตสูงหรือมีการบาดเจ็บของหลอดเลือดจะมีการแสดงออกของ AT2 receptor เพิ่มขึ้นบริเวณหลอดเลือด[37] การกระตุ้น AT2 receptor ให้ผลที่ตรงข้ามกับ AT1 receptor นั่นคือทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด ยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์ (antiproliferation) และยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ในระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular remodeling) นอกจากนี้การกระตุ้น AT2 receptor ที่บริเวณไตยังมีฤทธิ์เพิ่มการขับ Na^+ (natriuresis) อีกด้วย เมื่อ AT2 receptor ถูกกระตุ้นจะมีการส่งสัญญาณภายในเซลล์ผ่าน signaling pathway หลายชนิด เช่น การกระตุ้นเอนไซม์ protein phosphatases ทำให้เกิดการยับยั้งเอนไซม์ mitogen-activated protein kinases (MAPKs)[38] เพิ่มการสร้าง NO จากการเพิ่มระดับของ cGMP[39] และการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ phospholipase A2[40] ปัจจุบันมีสารที่ออกฤทธิ์เป็น selective AT2 receptor agonist คือ compound 21 (C21) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ใช่ peptide และสามารถให้ด้วยการรับประทาน การศึกษาในหนู SHR ที่มีความเสี่ยงเป็นโรคหลอดเลือดสมอง (stroke-prone spontaneously hypertensive rat, sp SHR) พบว่าการได้รับ C21 เพียงอย่างเดียว หรือการได้รับ C21 ร่วมกับ losartan (ARBs) มีผลช่วยเพิ่มการทำงานของ endothelial cells โดยมีผลลด oxidative stress ลดปริมาณของ collagen, fibronectin และลดปริมาณของเซลล์อักเสบบริเวณหลอดเลือด การให้ C21 ร่วมกับ losartan ยังมีผลลดความดันโลหิตได้ด้วย แต่การได้รับ C21 เพียงอย่างเดียวไม่มีผลในการลดความดันโลหิต[41] ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ในการลดความดันโลหิตของสารที่ออกฤทธิ์เป็น AT2 receptor agonist จะเกิดขึ้นเมื่อ AT1 receptor ถูกยับยั้งร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม AT2 receptor agonist ยังอาจมีผลดีในการป้องกันการทำลายอวัยวะ (target organ damage) ได้ ซึ่งนอกจากมีผลดีต่อหลอดเลือดแล้ว AT2 receptor agonist ยังมีผลในการปกป้องไตและชะลอการเกิดพยาธิสภาพของสมองจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง[42,43,44] และช่วยลดการเกิด fibrosis ในกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างหลังการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจตายในสัตว์ทดลองได้ด้วย[45] ดังนั้นแม้ว่าการให้ AT2 receptor agonist เพียงอย่างเดียวอาจไม่มีผลลดความดันโลหิต แต่อาจมีผลดีในการป้องกัน target organ damage ที่เกิดจากความดันโลหิตสูงได้[46] ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาทางคลินิกต่อไป

4. การยับยั้ง AT1 receptor ร่วมกับการยับยั้งเอนไซม์ neprilysin (NEP) (Dual AT1 receptor/ NEP inhibition)

เอนไซม์ NEP เป็น membrane metallo-endopeptidase enzyme ที่มีฤทธิ์เร่งปฏิกิริยาการสลาย peptide hormones ที่มีผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ทั้ง peptides ที่ออกฤทธิ์กระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด (vasocontrictive mediators) เช่น angiotensin II, endothelin เป็นต้น และ peptides ที่ออกฤทธิ์ทำให้เกิดการคลายตัวของหลอดเลือด (vasodilative mediators) เช่น natriuretic peptides, kinins เป็นต้น[37] ปัจจุบันมีการพัฒนาสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งทั้ง AT1 receptor และเอนไซม์ NEP โดยการเชื่อมต่อโมเลกุลของ valsartan ซึ่งเป็น AT1 receptor antagonist กับ sacubitril (AHU377) ซึ่งเป็น prodrug ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ NEP สารที่ได้คือ LCZ696 (sacubitril/valsartan) จากการศึกษาทางคลินิกใน phase II clinical trial พบว่า การให้ sacubitril/valsartan ขนาด 200 และ 400 mg ต่อวัน เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีผลลด systolic BP และ diastolic BP ในท่านั่งได้ดีกว่าการได้รับ valsartan ในขนาด 160 และ 320 mg ต่อวัน และไม่พบรายงานการเกิด angioedema ในการศึกษานี้[47] การศึกษาในผู้ป่วยกลุ่มตัวอย่างชาวเอเชียเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ก็พบเช่นกันว่า sacubitril/valsartan สามารถลดความดันโลหิตได้ และไม่พบการเกิด angioedema[48] การศึกษาในหนู SHR พบว่า sacubitril/valsartan มีผลลดความดันโลหิตได้ดีกว่า valsartan โดยสามารถลดความดันโลหิตได้โดยไม่ขึ้นกับปริมาณเกลือที่ได้รับ (salt intake) ซึ่งฤทธิ์ลดความดันโลหิตของ sacubitril/valsartan เกี่ยวข้องกับฤทธิ์เหนี่ยวนำการขับออกของ Na^+ ทางปัสสาวะ และฤทธิ์กดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก sacubitril/valsartan ยังมีผลในการลดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจโต (cardiac hypertrophy) และการอักเสบ รวมทั้งยังลดการเกิด remodeling ของหลอดเลือด coronary artery และ endothelial dysfunction ได้ดีกว่า valsartan ด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า sacubitril/valsartan มีผลในการปกป้องระบบหัวใจและหลอดเลือดได้[49] ขณะนี้กำลังมีการศึกษาทางคลินิกถึงผลการได้รับ sacubitril/valsartan เปรียบเทียบกับยา olmesartan ในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงชาวเอเชีย นอกจากการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดความดันโลหิตแล้วยังมีการศึกษาฤทธิ์ของ sacubitril/valsartan ในการรักษาโรคหัวใจล้มเหลวด้วย โดยจากการศึกษาในผู้ป่วยโรคหัวใจล้มเหลว functional class II, III หรือ IV ที่มี ejection fraction ลดต่ำลง (≤ 40%) เปรียบเทียบระหว่าง sacubitril/valsartan (200 mg วันละ 2 ครั้ง) กับ enalapril (10 mg วันละ 2 ครั้ง) พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับ sacubitril/valsartan มีอัตราการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุ

(all-cause mortality) ลดลง 16% มีอัตราการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดลดลง 20% และมีอัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจากโรคหัวใจล้มเหลวลดลง 21% ซึ่งผลดีที่เกิดขึ้นนี้เหนือกว่าการได้รับ enalapril อย่างมาก จึงต้องยุติการศึกษาลงก่อนกำหนด[50] ปัจจุบัน sacubitril/valsartan ได้รับอนุมัติให้ใช้ร่วมกันกับยากลุ่ม ACEIs ในการรักษาโรคหัวใจล้มเหลวเมื่อเดือนกรกฎาคม ปีค.ศ.2015

สรุป

การควบคุมการทำงานของ RAAS เป็นเป้าหมายการออกฤทธิ์ของยาลดความดันโลหิตที่สำคัญหลายชนิด นอกจากการควบคุมการทำงานของ ACE/Angiotensin II/AT1 receptor pathway แล้ว การควบคุมการทำงานของ RAAS ผ่าน ACE2/Ang-(1-7)/Mas receptor pathway โดยการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACE2 (ACE2 activators) และการกระตุ้น Mas receptor (Mas receptor agonists) รวมทั้งการกระตุ้นการทำงานของ angiotensin II type 2 (AT2) receptor (AT2 receptor agonists) หรือการส่งเสริมการทำงานของ peptides ชนิดใหม่ใน RAAS เช่น alamandine จัดเป็นเป้าหมายใหม่ในการควบคุมความดันโลหิตที่มีความน่าสนใจ โดยสารที่ได้รับการพัฒนาขึ้นหลายชนิดสามารถลดความดันโลหิตอย่างมีประสิทธิภาพและยังสามารถป้องกันการทำลายอวัยวะที่เกิดขึ้นในสัตว์ทดลองที่เป็นแบบจำลองโรคความดันโลหิตสูงได้อีกด้วย แม้ว่าผลการศึกษาในสัตว์ทดลองจะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีของยากลุ่มดังกล่าวหลายชนิดในการควบคุมความดันโลหิต อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้ยาทางคลินิกเพิ่มเติมต่อไป การควบคุม RAAS ผ่านกลไกการออกฤทธิ์ใหม่เหล่านี้อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความดันโลหิต ลดความเสี่ยงของการเกิด target organ damage และยังอาจมีผลดีต่อการรักษาโรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงความผิดปกติทางระบบเมแทบอลิซึมอื่นๆอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Oparil S and Schmieder RE. New approaches in the treatment of hypertension. Circ Res 2015;116: 1074-1095.
2. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension. J Hypertens 2013;31:1281–1357.
3. สมาคมความดันโลหิตสูงแห่งประเทศไทย. แนวทางการรักษาโรคความดันโลหิตสูงในเวชปฏิบัติทั่วไป พ.ศ.2555 (ปรับปรุง พ.ศ.2558). กรุงเทพมหานคร;2558.
4. Benowitz NL. Antihypertensive Agents. In: Katzung BG, Trevor AJ. eds. Basic & Clinical Pharmacology, 13e. New York, NY: McGraw-Hill; 2015.
5. Sim JJ, Bhandari SK, Shi J, et al. Characteristics of resistant hypertension in a large,ethnically diverse hypertension population of an integrated health system. Mayo Clin Proc 2013;88:1099–1107.
6. te Riet L, van Esch JHM, Rocks AJM. Hypertension: Renin-Angiotensin-Aldosterone system alterations. Circ Res 2015;116:960-975.
7. Moltzer E, Verkuil AV, van Veghel R, et al. Effects of angiotensin metabolites in the coronary vascular bed of the spontaneously hypertensive rat: loss of angiotensin II type 2 receptor-mediated vasodilation. Hypertension 2010;55:516–522.
8. Montezano AC, Touyz RM. Reactive oxygen species, vascular Noxs, and hypertension: focus on translational and clinical research. Antioxid Redox Signal 2014;20(1):1641-82.
9. Fraga-Silva RA, Ferreira AJ, Dos Santos RA. Opportunities for targeting the angiotensin-converting enzyme 2/angiotensin-(1-7)/mas receptor pathway in hypertension. Curr Hypertens Rep 2013;15:31-38.
10. Shaltout HA, Westwood BM, Averill DB, et al. Angiotensin metabolism in renal proximal tubules, urine, and serum of sheep: evidence for ACE2-dependent processing of angiotensin II. Am J Physiol Renal Physiol 2007;292:F82-F91.
11. Santos RA, Simoese Silva AC, Maric C, et al. Angiotensin-(1-7) is an endogenous ligand for the G protein-coupled receptor Mas. Proc Natl Acad Sci USA 2003;100:8258–8263.
12. Ocaranza MP, Moya J, Barrientos V, et al. Angiotensin-(1-9) reverses experimental hypertension and cardiovascular damage by inhibition of the angiotensin converting enzyme/Ang II axis. J Hypertens 2014;32: 771–783.
13. Kemp BA, Bell JF, Rottkamp DM, et al. Intrarenal angiotensin III is the predominant agonist for proximal

tubule angiotensin type 2 receptors. Hypertension 2012;60:387-395.

14. Padia SH, Kemp BA, Howell NL, et al. Intrarenal aminopeptidase N inhibition augments natriuretic responses to angiotensin III in angiotensin type 1 receptor-blocked rats. Hypertension 2007;49:625-630.
15. Axelband F, Dias J, Miranda F, et al. A scrutiny of the biochemical pathways from Ang II to Ang-(3-4) in renal basolateral membranes. Regul Pept 2009; 158:47-56.
16. Albiston AL, McDowall SG, Matsacos D, et al. Evidence that the angiotensin IV (AT(4)) receptor is the enzyme insulin-regulated aminopeptidase. J Biol Chem 2001;276:48623-48626.
17. Chai SY, Fernando R, Peck G, et al. The angiotensin IV/AT4 receptor. Cell Mol Life Sci 2004;61:2728-2737.
18. Coutinho DC, Foureaux G, Rodrigues KD, et al. Cardiovascular effects of angiotensin A: a novel peptide of the renin-angiotensin system. J Renin Angiotensin Aldosterone Syst 2014;15(4):480-486.
19. Lautner RQ, Villela DC, Fraga-Silva RA, et al. Discovery and characterization of alamandine: a novel component of the renin-angiotensin system. Circ Res 2013;112:1104-1111.
20. Jiang F, Yang J, Zhang Y, et al. Angiotensin-converting enzyme 2 and angiotensin 1-7: novel therapeutic targets. Nat Rev Cardiol 2014;11:413–426.
21. Wiemer G, Dobrucki LW, Louka FR, et al. AVE 0991, a nonpeptide mimic of the effects of angiotensin-(1-7) on the endothelium. Hypertension 2002;40(6): 847-852.
22. Lemos VS, Silva DM, Walther T, et al. The endothelium-dependent vasodilator effect of the nonpeptide Ang(1-7) mimic AVE 0991 is abolished in the aorta of mas-knockout mice. J Cardiovasc Pharmacol 2005;46(3):274-279.
23. Benter IF, Yousif MH, Anim JT, et al. Angiotensin-(1-7) prevents development of severe hypertension and end-organ damage in spontaneously hypertensive rats treated with L-NAME. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2006;290(2):H684-H691.
24. Singh Y, Singh K, Sharma PL. Effect of combination of renin inhibitor and Mas-receptor agonist in DOCA-salt-induced hypertension in rats. Mol Cell Biochem 2013;373(1-2):189-194.
25. Silveira KD1, Barroso LC, Vieira AT, et al. Beneficial effects of the activation of the angiotensin-(1-7) MAS receptor in a murine model of adriamycin-induced nephropathy. PLoS One 2013;8(6):e66082.
26. Marques FD, Ferreira AJ, Sinisterra RD, et al. An oral formulation of angiotensin-(1-7) produces cardioprotective effects in infarcted and isoproterenol-treated rats. Hypertension 2011;57(3):477-483.
27. Bertagnolli M, Casali KR, De Sousa FB, et al. An orally active angiotensin-(1–7) inclusion compound and exercise training produce similar cardiovascular effects in spontaneously hypertensive rats. Peptides 2014;51:65–73.
28. Santos SH, Giani JF, Burghi V, et al. Oral administration of angiotensin-(1-7) ameliorates type 2 diabetes in rats. J Mol Med (Berl) 2014;92(3):255-265.
29. Rentzsch B, Todiras M, Iliescu R, et al. Transgenic angiotensin-converting enzyme 2 overexpression in vessels of SHRSP rats reduces blood pressure and improves endothelial function. Hypertension 2008; 52(5):967-973.
30. Hernández Prada JA, Ferreira AJ, Katovich MJ, et al. Structure-based identification of small-molecule angiotensin-converting enzyme 2 activators as novel antihypertensive agents. Hypertension 2008;51(5): 1312-1317.
31. Ferreira AJ, Shenoy V, Yamazato Y, et al. Evidence for angiotensin-converting enzyme 2 as a therapeutic target for the prevention of pulmonary hypertension. Am J Respir Crit Care Med 2009;179:1048-1054.
32. Ferreira AJ, Shenoy V, Qi Y, et al. Angiotensin-converting enzyme 2 activation protects against hypertension-induced cardiac fibrosis involving extracellular signal-regulated kinases. Exp Physiol 2011;96(3):287-294.
33. Haber PK, Ye M, Wysocki J, et al. Angiotensin-converting enzyme 2-independent action of presumed

angiotensin-converting enzyme 2 activators: studies in vivo, ex vivo, and in vitro. Hypertension 2014;63: 774–782.

34. Treml B, Neu N, Kleinsasser A, et al. Recombinant angiotensin-converting enzyme 2 improves pulmonary blood flow and oxygenation in lipopolysaccharide-induced lung injury in piglets. Crit Care Med 2010;38(2):596-601.
35. Oudit GY, Liu GC, Zhong J, et al. Human recombinant ACE2 reduces the progression of diabetic nephropathy. Diabetes 2010;59(2):529-538.
36. Haschke M, Schuster M, Poglitsch M, et al. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of recombinant human angiotensin-converting enzyme 2 in healthy human subjects. Clin Pharmacokinet 2013;52(9):783-792.
37. Paulis L, Rajkovicova R, Simko F. New developments in the pharmacological treatment of hypertension: dead-end or a glimmer at the horizon? Curr Hypertens Rep 2015;17(6):557.
38. Fischer TA, Singh K, O'Hara DS, et al. Role of AT1 and AT2 receptors in regulation ofMAPKs andMKP-1 by ANG II in adult cardiac myocytes. Am J Physiol 1998;275:906–916.
39. Gohlke P, Pees C, Unger T. AT2 receptor stimulation increases aortic cyclic GMP in SHRSP by a kinin-dependent mechanism. Hypertension 1998;31:349–355.
40. Nouet S, Nahmias C. Signal transduction from the angiotensin II AT2 receptor. Trends Endocrinol Metab 2000;11:1–6.
41. Rehman A, Leibowitz A, Yamamoto N, et al. Angiotensin type 2 receptor agonist compound 21 reduces vascular injury and myocardial fibrosis in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. Hypertension 2012;59:291–299.
42. Hrenak J, Arendasova K, Rajkovicova R, et al. Protective effect of captopril, olmesartan, melatonin and compound 21 on doxorubicin-induced nephrotoxicity in rats. Physiol Res 2013;62:181–189.
43. Matavelli LC, Huang J, Siragy HM. Angiotensin AT(2) receptor stimulation inhibits early renal inflammation in renovascular hypertension. Hypertension 2011;57: 308–313.
44. Gelosa P, PignieriA, Fandriks L, et al. Stimulation ofAT2 receptor exerts beneficial effects in stroke-prone rats: focus on renal damage. J Hypertens 2009;27:2444–2451.
45. Lauer D, Slavic S, Sommerfeld M, et al. Angiotensin type 2 receptor stimulation ameliorates left ventricular fibrosis and dysfunction via regulation of tissue inhibitor of matrixmetalloproteinase 1/matrix metalloproteinase 9 axis and transforming growth factor β1 in the rat heart. Hypertension 2014;63:60–67.
46. Sumners C, de Kloet AD, Krause EG, et al. Angiotensin type 2 receptors: blood pressure regulation and end organ damage. Curr Opin Pharmacol 2015; 21:115-121.
47. Ruilope LM, Dukat A, Böhm M, et al. Blood-pressure reduction with LCZ696, a novel dual-acting inhibitor of the angiotensin II receptor and neprilysin: a randomised, double-blind, placebo-controlled, active comparator study. Lancet 2010;375:1255–1266.
48. Kario K, Sun N, Chiang FT, et al. Efficacy and safety of LCZ696, a first-in-class angiotensin receptor neprilysin inhibitor, in Asian patients with hypertension: a randomized, double-blind, placebo controlled study. Hypertension 2014;63:698–705.
49. Kusaka H, Sueta D, Koibuchi N, et al. LCZ696, angiotensin ii receptor-neprilysin inhibitor, ameliorates high-salt-induced hypertension and cardiovascular injury more than valsartan alone. Am J Hypertens 2015;28(12):1409-1417.
50. McMurray JJ, Packer M, Desai AS, et al. Angiotensin-neprilysin inhibition versus enalapril in heart failure. N Engl J Med 2014;371:993–1004.

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอันเนื่องมาจากพยาธิตัวกลม *Angiostrongylus Cantonensis*

Eosinophilic Meningitis due to *Angiostrongylus Cantonensis*

ญาณิศา นราพงษ์[1], นพคุณ ภักดีณรงค์[2*]

Yanisa Narapong[1], Noppakun Pakdeenarong[2*]

Received: 24 April 2016; Accepted: 24 June 2016

บทคัดย่อ

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอีโอซิโนฟิลิก (Eosinophilic meningitis) เป็นโรคที่สำคัญทางสาธารณสุขมาเป็นเวลายาวนาน เกิดขึ้นเนื่องจากการติดเชื้อพยาธิตัวกลม *Angiostrongylus cantonensis* ซึ่งพบการกระจายได้ทั้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และหมู่เกาะแปซิฟิก ส่วนประเทศไทยพบมากในประชากรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีรายงานพบพยาธิชนิดนี้ครั้งแรกในผู้ป่วยจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าจำนวน 4 ราย โดยส่วนใหญ่คนที่เป็นโรคนี้เกิดจากรับประทานโฮสต์กึ่งกลาง (intermediate host) และโฮสต์พาราทีนิก (paratenic host) ที่ปรุงไม่สุก เช่น ก้อยหอย ก้อยกุ้ง หรือการรับประทานผักสดและดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนตัวอ่อนของพยาธิ *Angiostrongylus cantonensis* โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอีโอซิโนฟิลิก เป็นโรคที่เกิดจากการได้รับพยาธิระยะตัวอ่อน L3 จากโฮสต์ติดต่อซึ่งตัวอ่อนจะพัฒนาไปเป็นระยะ young adult ในระบบประสาทส่วนกลาง มีการสะสมของเม็ดเลือดขาวอีโอซิโนฟิลด์ (Eosinophil) ผู้ป่วยที่ติดเชื้อพยาธิจะมีอาการปวดหัวอย่างรุนแรง เป็นไข้ อาเจียนพุ่ง คอแข็ง ตาพร่ามัว ท้องเสีย และปวดกล้ามเนื้อ เป็นต้น แต่ถ้ามีการติดเชื้ออย่างรุนแรงสามารถนำไปสู่อาการเรื้อรังของโรคจนอาจทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มียาที่ใช้รักษาโดยตรง แต่จะรักษาตามอาการของผู้ป่วย ดังนั้นการให้ความรู้กับประชาชนเกี่ยวกับอันตรายในการรับประทานโฮสต์กึ่งกลางและโฮสต์พาราทีนิก แบบปรุงไม่สุกในแต่ละพื้นที่จึงเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันและควบคุมของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบจากพยาธิได้

คำสำคัญ: โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ โฮสต์กึ่งกลาง โฮสต์พาราทีนิก *Angiostrongylus cantonensis*

Abstract

Eosinophilic meningitis is a persistant public health problem. The disease is caused by the *Angiostrongylus cantonensis* infection which has spread in Southeast Asia and the Pacific Islands including northeastern Thailand. There were 4 infected patients in Pramongkutklao hospital. Nearly all infected patients had eaten raw or undercooked intermediate hosts and paratenic hosts such as raw snails and shrimps, or contaminated vegetables and water that contain the infective 3rd stage larvae and then develop to young adults in the central nervous system resulting in white blood cells accumulation. The infected patients suffer headaches, fever, vomiting, blurred vision, diarrhea and muscle pain etc. If the serious infection leads to chronic disease, the patient will did. In the present, there is no specific medicine, but symptomatic treatments to alleviate the symptoms. Therefore, public awareness fo the risks of eating raw or under-cooked intermediate hosts or paratenic hosts is essential for prevention and control of Eosinophilic meningitis.

Keywords: Eosinophilic meningitis, Intermediate hosts, Paratenic hosts, *Angiostrongylus cantonensis*

---

[1] *นิสิตปริญญาโท, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1] *Graduate Students, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand.*

[2] *Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand.*

** Corresponding author, E-mail: noppakun241@gmail.com*

บทนำ

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบอีโอซิโนฟิลิก (Eosinophilic meningitis) ที่มีสาเหตุอันเนื่องมาจากการติดเชื้อพยาธิตัวกลม *Angiostrongylus cantonensis*[1] ผู้ป่วยจะมีภาวะเยื่อหุ้มสมองอักเสบภายหลังได้รับพยาธิเข้าสู่ร่างกาย และทำให้เกิดความผิดปกติเกิดขึ้นภายในสมอง จนกระทั่งแสดงอาการ เช่นแขนขาอ่อนแรง ปวดศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน ถ้ามีเลือดคั่งในสมองก็จะทำให้เสียชีวิตได้ พยาธิ *A. cantonensis* จัดอยู่ใน Family Metastrongyloidae พยาธิชนิดนี้มีความสำคัญทางสาธารณสุขมาเป็นระยะเวลายาวนาน ซึ่งพบการระบาดได้ทั่วโลก (Figure 1) โดยเฉพาะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และหมู่เกาะแปซิฟิก รวมทั้งในประเทศไทย[2,3] โดยพยาธิชนิดนี้ถูกค้นพบตัวเต็มวัยครั้งแรกเมื่อ ปี พ.ศ. 2478 ที่เส้นเลือดแดงของปอด และหัวใจห้องขวาของหนูบ้าน ในมณฑลกวางตุ้ง ประเทศจีน ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 มีรายงานพบพยาธิชนิดนี้ในสมองและเยื่อหุ้มสมองของคนที่เสียชีวิตจากอาการปวดหัวอย่างรุนแรง[4] ซึ่งมีรายงานพบผู้ป่วยโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบทั่วโลกมากกว่า 827 ราย โดยจำนวน 337 รายพบในประเทศไทย[3] ขณะที่ในประเทศไทยมีรายงานพบพยาธิชนิดนี้ครั้งแรกในผู้ป่วยจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าจำนวน 4 ราย ซึ่งตรวจพบจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด eosinophil ในน้ำไขสันหลังสูง (eosinophilic pleocytosis)[5] และต่อมามีรายงานพบพยาธิ *A. cantonensis* ในตาผู้ป่วยซึ่งนับเป็นรายแรกของโลก[6] และนอกจากนั้นยังมีรายงานว่าพยาธิ *A. cantonensis* ทำให้เกิดภาวะเยื่อหุ้มสมองอักเสบ[7,8,9,10] โดยผู้ป่วยส่วนใหญ่มาเป็นประชากรทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย[11,12] ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่ของโรคเกิดจากการรับประทานโฮสต์กึ่งกลาง (intermediate hots) และโฮสต์ข้างเคียง (paratenic hots) แบบดิบหรือปรุงไม่สุก เช่น ก้อยหอย พล่ากุ้ง ส้มตำปู และก้อยปลา เป็นต้น โดยผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อพยาธิจะมีไข้ และปวดศีรษะอย่างรุนแรงในสัปดาห์แรกที่ติดเชื้อ และอาการข้างเคียง เช่น ตาพร่ามัว กล้ามเนื้ออ่อนแรง เวียนศีรษะ และคลื่นไส้อาเจียน เป็นต้น ขณะที่ความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับจำนวนพยาธิและภูมิคุ้มกันร่างกายของแต่ละบุคคล และอาจทำให้ผู้ป่วยพิการหรือเสียชีวิตได้[13]

ดังนั้นบทความวิชาการนี้จะทำให้ทราบถึงอาการของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบที่เกิดจากพยาธิ *A. cantonensis* วงจรชีวิต อาการของโรค รวมถึงวิธีป้องการติดโรค และเพื่อตระหนักถึงการบริโภคอาหารที่ปรุงสุก ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ทางสาธารณสุขในประเทศไทยในการป้องกันการติดเชื้อพยาธิชนิดนี้ต่อไปในอนาคต

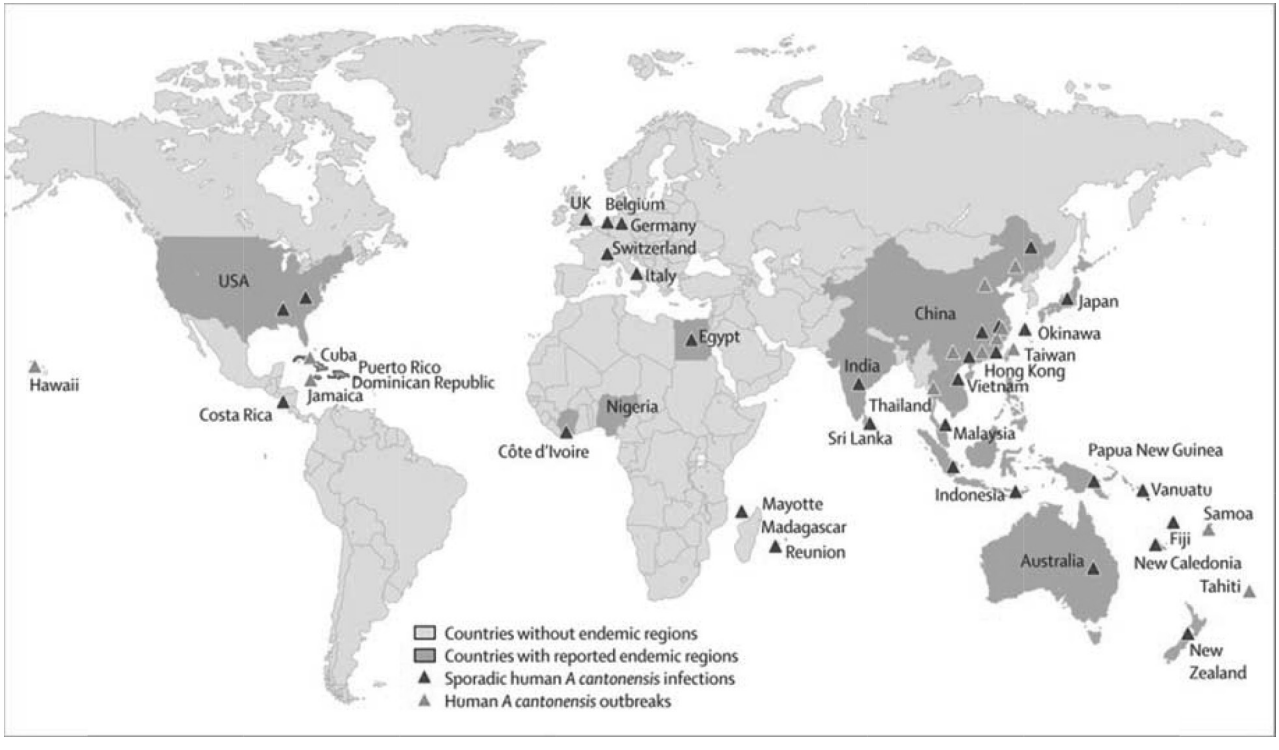


Figure 1 Distribution of Eosinophilic meningitis outbreaks worldwide.[11]

ระบาดวิทยาของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีประชากรป่วยด้วยโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบที่มีสาเหตุจากพยาธิตัวกลม *A. cantonensis* สูงขึ้นในแต่ละปี โดยจากการสำรวจประชากรที่ป่วยด้วยโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบในปี พ.ศ. 2511 จาก 37 จังหวัด พบผู้ป่วยด้วยโรคนี้มากสุดในประชากรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจากการศึกษาอัตราการเป็นโรคพบอย่างน้อย 18.6-20 คนต่อประชากร 1,000 คน[14] และต่อมามีรายงานจากนายแพทย์วีรจิตต์ โชติมงคล พบอัตราการเป็นโรคนี้ในเพศชายต่อเพศหญิง 1.38: 1 และพบบ่อยในอายุ 20-39 ปี[15] ในปีเดียวกันมีรายงานพบผู้ป่วยจำนวน 355-1139 รายต่อปี[16] และในปี พ.ศ. 2540-2544 พบผู้ป่วยจำนวน 431-1386 รายต่อปี[17] นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาผู้ป่วยในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เข้ารับการรักษาอาการเยื่อหุ้มสมองอักเสบ ในปี พ.ศ.2529 และ 2530 จำนวน 65 และ 87 รายต่อปี ตามลำดับ ขณะที่มีรายงานของสำนักงานควบคุมโรคติดต่อเขต 6 จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2543 พบผู้ป่วยจำนวน 323-733 รายต่อปี โดยสรุปโรคนี้พบได้ในทุกเพศและทุกช่วงอายุซึ่งจะพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง อีกทั้งยังพบว่าโรคนี้จะมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับปริมาณน้ำฝนซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญของหอยที่เป็นโฮสต์กึ่งกลาง โดยพบอัตราการเป็นโรคภายหลังจากฝนตกชุกแล้วประมาณ 1-2 เดือน และพบโรคนี้ได้ในทุกอาชีพแต่จะพบมากในเกษตรกรเพราะมีโอกาสรับประทานอาหารที่นำเชื้อมากกว่าอาชีพอื่น และมีรายงานการพบผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง ดังเช่น ในปี ค.ศ. 2000-2004 พบผู้ป่วยที่เป็นโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นเพศชายทั้งหมดอายุอยู่ระหว่าง 28-35 ปี อาการที่พบ คือ มีไข้สูง ปวดหัว และตึงที่คอ โดยผู้ป่วยมีประวัติการรับประทานตะกวดเมื่อ 10 วันก่อนเกิดอาการ[18]

รายละเอียดของพยาธิ *A. cantonensis*

พยาธิ *A. cantonensis* มีโฮสต์เฉพาะ (definitive host) ในทางธรรมชาติ คือ สัตว์ฟันแทะ เช่น หนูบ้าน และหนูป่า ในสกุล *Rattus, Bandicota* และ *Melomys* ซึ่งในประเทศไทยมีรายงานพบคือ หนูท่อ (*R. norvegicus*) หนูท้องขาว (*R. rattus*) หนูฟันขาวเล็ก (*Berylmys berdmorei*)หนูพุกใหญ่ (*B. indica*) และหนูพุกเล็ก (*B.* savilei)[19] ส่วนโฮสต์กึ่งกลาง (intermediate host) ในธรรมชาติ คือ หอยทากบกได้แก่ หอยทากลาย (*Achatina fulica*) หอยน้ำจืด ได้แก่ หอยโข่ง (*Pila* spp.) และหอยขม (*Filopaludina* spp.) ทาก ได้แก่ *Veronicella* spp. ส่วนโฮสต์พาราทีนิกหรือโฮสต์ข้างเคียง (paratenic host) ที่สำคัญได้แก่ กุ้งน้ำจืด (*Macrobrachium* spp.) ปูขน (*Eriocheir japonicus*) กบ คางคก ลูกอ๊อด และตะกวด เป็นต้น ซึ่งเคยมีรายงานจากการตรวจตะกวดที่ได้จากจังหวัดลำปาง พิษณุโลก กำแพงเพชร ตาก และปราจีนบุรี พบตัวอ่อนพยาธิ *A. cantonensis* ในตะกวดทุกตัว[20] และมีรายงานพบพยาธิชนิดนี้ใน 5 จังหวัด ได้แก่ อุบลราชธานี อุดรธานี กาฬสินธุ์ ชัยภูมิ และขอนแก่น ซึ่งพบในหนูท่อคิดเป็นร้อยละ 3.8 และหนูพุกใหญ่คิดเป็นร้อยละ 1.4[21] และมีรายงานพบในหนู (rat) ที่จังหวัดเชียงใหม่ คิดเป็นร้อยละ 42.11[22]

รูปร่างลักษณะของพยาธิ A. cantonesis

ตัวเต็มวัยมีลำตัวเรียวเล็กปลายด้านหัวกลมมน ผนังลำตัวเรียบแต่มีรอยขีดขวางจางๆ ตลอดลำตัว มีริมฝีปาก 3 อัน แต่ละริมฝีปากมี papillae 1 คู่ ไม่มี buccal capsule ปากเปิดตรงสู่หลอดอาหารซึ่งเป็นแบบ filariform ลำไส้เป็นท่อตรงทอดยาวตลอดลำตัว โดยเปิดออกที่รูเปิดร่วมของทวารหนักกับอวัยวะสืบพันธุ์ (cloaca)[23] พยาธิเพศผู้ขนาด 6-19x0.26 มิลลิเมตร ที่ปลายหางมี bursa มีลักษณะคล้ายรูปไต และมี spicule 1 คู่ (Figure 2B) ส่วนพยาธิเพศเมีย ขนาด 21-25x0.6 มิลลิเมตร ขณะมีชีวิตอยู่จะเห็นมดลูกสีขาวขุ่นสองข้างพันล้อมรอบลำไส้สีแดงซึ่งเต็มไปด้วยเลือด คล้ายกับเครื่องหมายของร้านตัดผม (barber's pole) ปลายหางแหลม (Figure 2A) ทวารหนักเปิดใกล้ปลายหาง และไข่มีขนาดประมาณ 70-79 ไมโครเมตร เปลือกบางใสคล้ายไข่ของพยาธิปากขอ ไข่จะติดอยู่ตามเส้นเลือดฝอยในปอดและเจริญไปเป็นตัวอ่อนระยะที่ 1 ต่อไป โดยที่ตัวอ่อนพยาธิ *A. cantonensis* มีทั้งหมด 5 ระยะ ซึ่งระยะติดต่อคือ ตัวอ่อนระยะที่ 3 ซึ่งจะพบได้ในโฮสต์กึ่งกลางและโฮสต์ข้างเคียง[24]

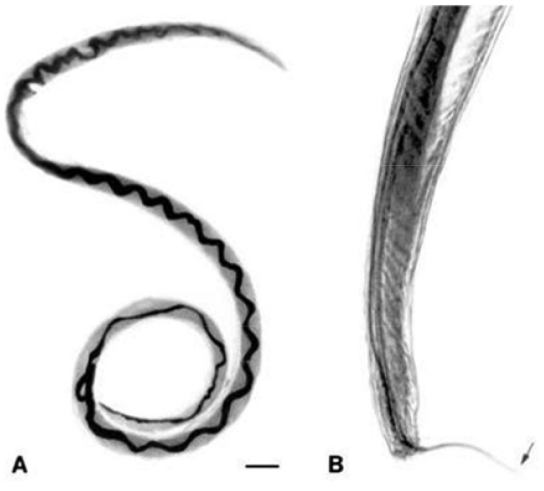


Figure 2 *Angiostrongylus cantonensis* adult female (A) indicated by barber's pole and male worms (B) showing spicules (arrow). [12]

Figure 3 The 3rd larva of *A. cantonensis* [26]

วงจรชีวิต

พยาธิ *A. cantonensis* ต้องการโฮสต์กึ่งกลางสำหรับให้ตัวอ่อนพยาธิเจริญเติบโต ตัวเต็มวัยพยาธิเพศผู้และเพศเมียอาศัยอยู่ที่เส้นเลือดแดงในปอดและหัวใจห้องขวาของหนู ภายหลังพยาธิเจริญเติบโตผสมพันธุ์ประมาณวันที่ 39-40 วางไข่ที่เส้นเลือดฝอยในปอด ไข่จะเจริญเป็นตัวอ่อนระยะที่ 1 ไชผ่านถุงลมปอดไปตามทางเดินของระบบหายใจสู่คอหอย และถูกกลืนเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารปนไปกับอุจจาระของโฮสต์เฉพาะแล้วตกสู่พื้นดิน หอยซึ่งเป็นโฮสต์กึ่งกลาง ได้รับตัวอ่อนพยาธิระยะที่ 1 เข้าไปโดยการกินหรือตัวอ่อนของพยาธิไชเข้าไปเองทาง foot pad[25] จะเจริญไปเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 และที่ 3 ภายในเวลา 7-9 วัน และ 12-16 วัน ภายหลังการติดเชื้อตามลำดับ จากการศึกษาในโฮสต์กึ่งกลางพบว่าในหอยทากลาย (*Achatina fulica*) พบตัวอ่อนระยะติดต่ออยู่ที่ mantle 85% อยู่ที่ไต 11% และที่เหลือพบอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ ส่วนหอยโข่ง (*Pila ampullacea*) จะพบตัวอ่อนระยะติดต่อมากที่สุดที่ foot pad และ mantle ตัวอ่อนระยะที่ 3 เป็นระยะติดต่อสำหรับโฮสต์เฉพาะ เมื่อโฮสต์เฉพาะได้รับตัวอ่อนระยะที่ 3 (Figure 3) โดยการกินตัวอ่อนจะไชผนังลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดมาถึงระบบประสาทส่วนกลางภายในเวลา 2 วัน ตัวอ่อนพยาธิเดินทางไปยัง olfactory lobe และ cerebral hemisphere และลอกคราบครั้งที่ 3 เจริญเป็นตัวอ่อนระยะที่ 4 ภายในเวลา 4-6 วัน ภายหลังการติดเชื้อจุดสุดท้ายของพยาธิที่เคลื่อนที่มาอยู่ในสมองคือบริเวณ subarachnoid space ต่อมาภายใน 7-10 วัน ภายหลังการติดเชื้อจะลอกคราบกลายเป็นตัวอ่อนระยะที่ 5 หรือ young adult โดยตัวอ่อนระยะที่ 5 จะสลัดคราบที่หุ้มในบริเวณ subarachnoid space ในวันที่ 26-29 ภายหลังการติดเชื้อตัวอ่อนระยะที่ 5 จะเดินทางมาถึงหลอดเลือดแดงที่ปอดเจริญเป็นพยาธิตัวเต็มวัย (Figure 4) ส่วนมากจะเจริญเต็มที่ภายในหลอดเลือดแดงที่ปอด แต่มีตัวเต็มวัยเพศผู้บางตัวอาจจะเจริญเต็มที่ใน subarachnoid space ระยะเวลาตั้งแต่โฮสต์ได้รับตัวอ่อนระยะติดต่อจนกระทั่งตรวจพบตัวอ่อนระยะที่ 1 ในอุจจาระ ประมาณ 42-45 วัน[26]

ส่วนคนนั้นจัดเป็นโฮสต์บังเอิญ (accidental host) เมื่อได้รับตัวอ่อนระยะที่ 3 เข้าไป ตัวอ่อนจะเดินทางไปยังสมองเช่นเดียวกันกับหนู แต่ไม่สามารถเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้ จะหยุดการเจริญเติบโตที่ตัวอ่อนระยะที่ 4 และตัวอ่อนระยะ young adult และมีชีวิตอยู่ได้เพียง 1-2 เดือน พยาธิก็จะตายไป ส่วนใหญ่พยาธิจะอยู่ในช่องเยื่อหุ้มสมอง น้ำไขสันหลังและสมอง มีเพียงส่วนน้อยที่พยาธิจะไชกลับเข้าระบบเส้นเลือดดำหัวใจ[27] นอกจากนี้พยาธิอาจไม่กลับสู่ระบบหลอดเลือดดำหลังจากออกจากเยื่อหุ้มสมอง แต่จะเคลื่อนที่ไปตามเยื่อหุ้มสมองทำให้เกิดพยาธิสภาพในสมองและเคลื่อนที่เข้าสู่ลูกตาหรือไชไปตามเนื้อเยื่อรอบ ๆ ลูกตาทำ ให้สามารถพบพยาธิได้จากน้ำไขสันหลัง และตาผู้ป่วย[3]

อาการของโรค

เมื่อได้รับตัวอ่อนระยะติดต่อระยะแรกอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน เมื่อพยาธิเดินทางมาถึงระบบประสาทแล้วจะเกิดเป็นกลุ่มอาการเยื่อหุ้มและสมองอักเสบ คือปวดศีรษะ มีลักษณะปวดบริเวณหน้าผากและขมับทั้งสองข้างร่วมกับอาการคอแข็ง วิงเวียน ศีรษะ เกร็งตามกล้ามเนื้อ[3] นอกจากนี้อาจพบอาการสูญเสียการทรงตัวขณะนั่งหรือยืนได้ (Figure 5) ซึ่งทำให้แยกจากโรคติดเชื้อปรสิตอื่นๆ ยากกลุ่มอาการโรคเยื่อหุ้มและสมองอักเสบได้แก่ โรค cysticercosis, gnathostomiasis และ trichinosis เป็นต้น พบว่าในกระแสเลือดมีจำนวนเม็ดโลหิตขาวเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะชนิด eosinophil การตรวจน้ำไขสันหลังอาจไม่พบการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดขาวเหมือนการติดเชื้ออื่นๆ แต่จะเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดขาวชนิด eosinophil แทน แต่อย่างไรก็ตามเม็ดเลือดขาวชนิดนี้อาจจะตรวจไม่พบในช่วงเริ่มต้นของการติดเชื้อ โดยทั่วไปอาการป่วยจะหายไปเอง เพราะว่าพยาธิไม่สามารถอาศัยอยู่ได้นานในร่างกายมนุษย์จึงไม่มีวิธีรักษาที่เฉพาะเจาะจง อย่างไรก็ตามอาการรุนแรงของโรคอาจทำให้ผู้ป่วยมีอาการทางประสาท หรือเสียชีวิต แต่มักพบได้น้อย พยาธิชนิดนี้อาจชอนไชไปที่ลูกตาทำให้มองไม่ชัด ถ้าส่องตาด้วยกล้องตรวจตาจะพบพยาธินี้ ในลูกตา[28]

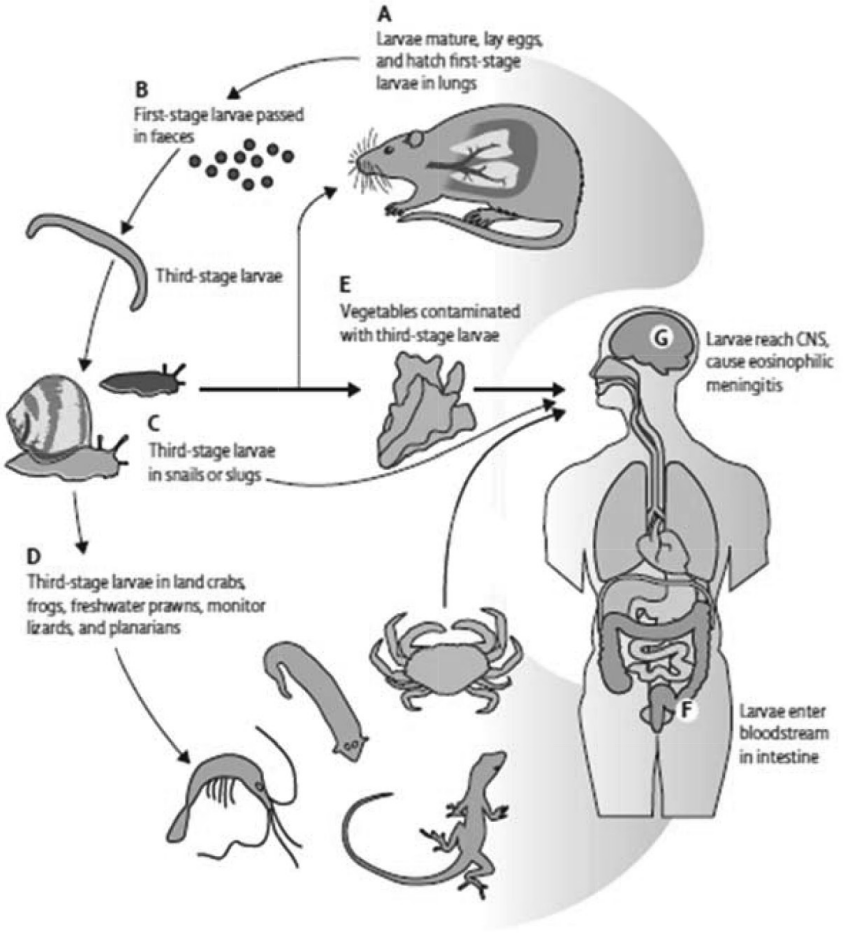


Figure 4 Life cycle of *A. cantonensis* [11]

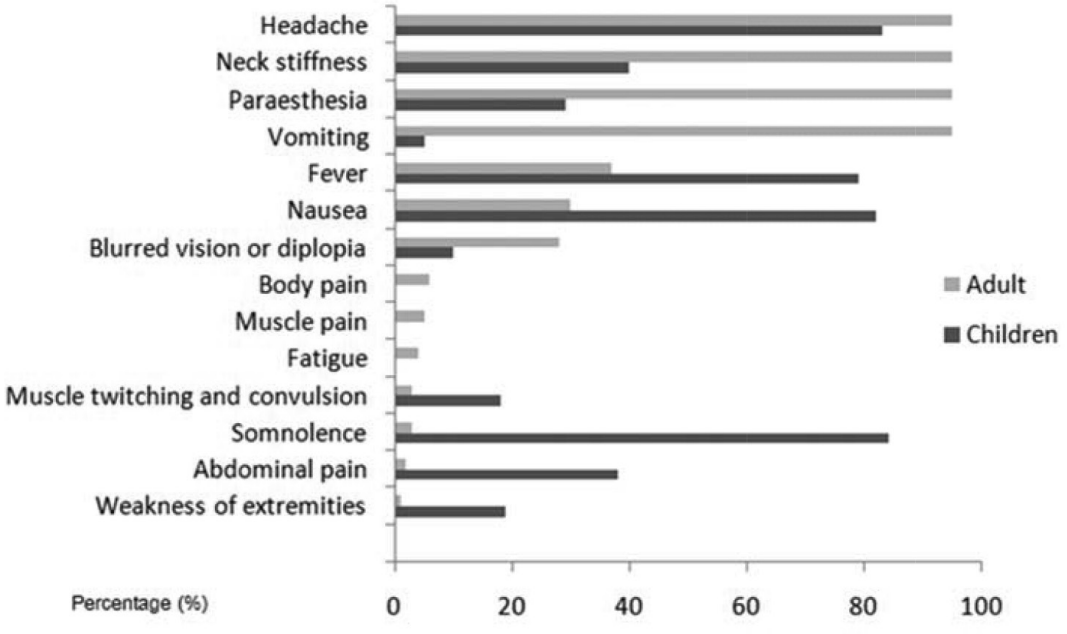


Figure 5 Clinical symptoms and signs of human angiostrongyliasis with eosinophilic meningitis Data are summarised from references reported in Thailand, Taiwan, mainland China, and the USA[3]

พยาธิกำเนิดและพยาธิสภาพ

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบจะเกิดเมื่อพยาธิเดินทางมาถึงสมอง เกิดการลอกคราบเป็นตัวอ่อนระยะที่ 4 ทิ้งคราบ (sheath) ไว้ที่สมอง ซึ่งจะมีปฏิกิริยากับร่างกายโฮสต์อย่างรุนแรง เกิดมี cellular reaction รอบๆ คราบ อาการจะรุนแรงขึ้นเมื่อพยาธิเจริญเป็นตัวอ่อนระยะที่ 5 เนื่องจากพยาธิตัวใหญ่ขึ้น เยื่อหุ้มสมองจะหนาและขุ่นขาว (Figure 6) โดยเฉพาะบริเวณฐานสมองส่วนหน้าและสมองส่วนหลัง นอกจากนี้ยังพบจุดเลือดออกของเยื่อหุ้มสมองส่วน subdural และ subarachnoid บริเวณส่วน cortex (Figure 7) ของสมองบางครั้งอาจพบพยาธิที่บริเวณเยื่อหุ้มสมองส่วน subdural หรือ subarachnoid[29]

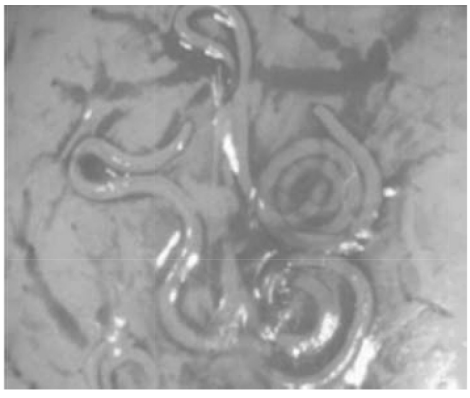


Figure 6 *A. cantonensis* in brain [30]

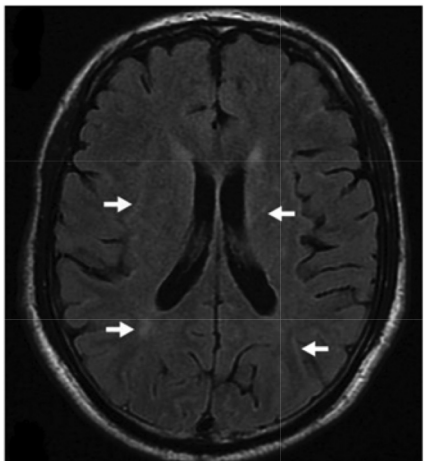


Figure 7 MRI of the brain shows lesions (arrows) caused by migratory *A. cantonensis*. [31]

การวินิจฉัย

การวินิจฉัยที่แน่นอนที่สุดคือ การตรวจพบตัวอ่อนพยาธิระยะที่ 4-5 ที่อวัยวะต่างๆ เช่น ลูกตา หรือในน้ำไขสันหลัง แต่มีโอกาสพบได้น้อยมาก ดังนั้นการวินิจฉัยภาวะเยื่อหุ้มสมองอักเสบที่มีสาเหตุจากพยาธิ *A. cantonensis* จึงเป็นการวินิจฉัยโดยอาศัยอาการทางคลินิกเป็นหลัก ร่วมกับการตรวจน้ำไขสันหลังพบ eosinophil มากกว่าร้อยละ 25 หรือส่งตรวจทางภูมิคุ้มกันวิทยาน้ำเหลืองวิทยา เพื่อยืนยันการวินิจฉัย

ในรายที่ประวัติหรืออาการทางคลินิกไม่สามารถแยกได้แน่ชัด ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่ได้ผลดีที่สุดคือ immunoblot-ting โดยตรวจหาระดับแอนติบอดีในซีรัมที่จำ เพาะต่อแอนติเจนชนิดสารสกัดจากตัวอ่อนพยาธิ *A. cantonensis* ระยะ young adult เพศเมีย ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 29 kDa[32]

การป้องกัน

1. รับประทานอาหารที่ปรุงสุกโดยเฉพาะตัวกลางที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค เช่น หอยโข่ง กุ้งน้ำจืด ปูนา กบ หรือตะกวด เพื่อป้องกันตัวอ่อนพยาธิ
2. กำจัดหนูซึ่งเป็นโฮสต์ธรรมชาติและโฮสต์กึ่งกลาง เช่น หอยทากที่พบในบริเวณบ้านหรือสวน เพื่อลดการกระจาย ของพยาธิ
3. ภายหลังการปรุงอาหารที่ทำจากหอยโข่ง หอยทาก กุ้งน้ำจืด หรือตะกวด แล้วต้องล้างมือช้อนส้อมและถ้วย ชามให้สะอาดทุกครั้ง ก่อนลงมือรับประทานอาหาร
4. ล้างผักสดจนสะอาดหรือทำสุกก่อนรับประทาน

การรักษา

1. การรักษาเฉพาะ ในปัจจุบันยังไม่มีการรักษาเฉพาะ นายแพทย์สุทธิพันธุ์ จิตพิมลมาศและคณะได้ศึกษาผลของ albendazole เพื่อรักษา eosinophilic meningitis พบว่าไม่มีความแตกต่างในการรักษาอาการปวดศีรษะได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับยาหลอก[18]
2. การรักษาตามอาการ ได้แก่ การเจาะหลัง (lumbar puncture) การให้ยาแก้ปวด และการรักษาด้วยสเตียรอยด์ โดยจากการศึกษาในปี ค.ศ. 2006 พบว่าการให้ Mebendazol ขนาด 10 มิลลิกรัมต่อวัน ร่วมกับ prednisolone ขนาด 60 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งสามารถทำให้ผู้ป่วยหายปวดศีรษะได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับยาหลอก โดยไม่พบผลข้างเคียงที่รุนแรง[31] นอกจากนี้ยังมีรายงานการรักษาด้วยสเตียรอยด์ร่วมกับยา mebendazole โดยในผู้ป่วยแรงงานชาวไทยที่เดินทางไปทำงานที่ประเทศไต้หวันก็พบว่าได้ผลดีเช่นกัน
3. การรักษาผู้ป่วยที่มีตัวอ่อนพยาธิที่ลูกตาสามารถทำการรักษาโดยผ่าตัดหรือยิงเลเซอร์[33]

สถานการณ์ปัจจุบัน

ในประเทศไทยจากข้อมูลเฝ้าระวังโรคปี พ.ศ. 2557-2559 พบประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือป่วยเป็นโรคเยื่อหุ้มมากที่สุด โดยจากข้อมูลในปี พ.ศ. 2557 พบผู้ป่วย 208 ราย จาก 24 จังหวัด คิดเป็นร้อยละ 0.32 ต่อแสนประชากร อัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิง 1: 0.63 กลุ่มอายุที่พบมากที่สุด คือ ช่วงอายุ 35-44 ปี คิดเป็นร้อยละ 35-44 ปี คิดเป็นร้อยละ 26.44 อายุ 45-54 ปี คิดเป็นร้อยละ 22.60 อายุ 25-34 ปี คิดเป็นร้อยละ 14.90 ซึ่งอาชีพเกษตรมีอัตราการป่วยด้วยโรคเยื่อหุ้มสมองสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 47.1 และจังหวัดที่มีอัตราการป่วยสูงสุด คือ จังเลย คิดเป็นร้อยละ 10.80 รองลงมาคือ มุกดาหาร คิดเป็นร้อยละ 2.33 หนองบัวลำภู คิดเป็นร้อยละ 1.78 กาฬสินธุ์ คิดเป็นร้อยละ 1.73 และชัยภูมิ คิดเป็นร้อยละ 1.69 ขณะที่ในปี พ.ศ. 2558 พบผู้ป่วย 166 ราย จาก 19 จังหวัด คิดเป็นร้อยละ 0.25 จังหวัดที่มีอัตราการป่วยสูงสุด คือ จังหวัดเลย คิดเป็นร้อยละ 14.18 รองลงมาคือมุกดาหาร คิดเป็นร้อยละ 1.73 ร้อยเอ็ด คิดเป็นร้อยละ 1.07 ชัยภูมิ และหนองคาย คิดเป็นร้อยละ 0.97[33]

สรุป

โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบมีสาเหตุมาจากการติดเชื้อพยาธิตัวกลม *A. cantonensis* พบว่าระบาดทั่วโลกโดยเฉพาะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และหมู่เกาะแปซิฟิกรวมทั้งในประเทศไทย โดยเฉพาะในประชากรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีโฮสต์จำเพาะ คือ สัตว์ฟันแทะ เช่น หนูบ้านและหนู และโฮสต์กึ่งกลาง ในธรรมชาติ คือ หอยทากบกและหอยน้ำจืด และโฮสต์ข้างเคียง เช่น กุ้งน้ำจืด กบ คางคก ลูกอ๊อด เป็นต้น คนติดโรคพยาธินี้จากการรับประทานโฮสต์กึ่งกลางหรือโฮสต์พาราทีนิกที่มีตัวอ่อนระยะติดต่อโดยไม่ปรุงให้สุก หรือตัวอ่อนพยาธิอาจจะออกจากหอยติดอยู่กับก้อนเมือก และปนเปื้อนกับผักเมื่อรับประทานผักสดที่ล้างไม่สะอาดจะทำ ให้ติดเชื้อได้ โดยความรุนแรงของโรคอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้

ดังนั้นวิธีการป้องกันการเกิดโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบที่ดีที่สุด คือ การรับประทานอาหารที่ปรุงสุก และกำจัดหนูที่เป็นแหล่งกุกตุนเชื้อโรค

เอกสารอ้างอิง

1. T seng YT, T sai HC, Sy CL, Lee SS, Wann SR, Wang YH, et al. Clinical manifestations of eosinophilic meningitis caused by *Angiostrongylus cantonensis*: 18 years' experience in a medical center in southern Taiwan. J Microbiol Immunol Infect. 2011; 44: 382-9.
2. Kim DY, Stewart TB, Bauer RW, Mitchell M. *Parastrongylus* (*Angiostrongylus*) *cantonensis* now endemic in Louisiana wildlife. J Parasitol 2002; 88: 1024–6.
3. Wang QP, Lai DH, Zhu XQ, Chen XG, Lun ZR. Human angiostrongyliasis. Lancet Infect Dis. 2008; 8: 621-30.
4. Cross JH. *Angiostrongylus* (*Parastrongylus*) *cantonensis* in the western hemisphere. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2004; 35: 107-11.
5. Sawanyawisuth K, Takahashi K, Hoshuyama T, Senthong V, Limpawattana P, Intapan PM, et al. Clinical factors predictive of encephalitis caused by *Angiostrongylus cantonensis.* Am J Trop Med Hyg. 2009; 81: 698-701.
6. Prommindaroj K, Leelawong N, Pradatsundarasar A. Human agiostrongyliasis of the eye in Bangkok. Am J Trop Med Hyg. 1962; 19: 950-8.
7. Alto W. Human infections *Angiostrongylus cantonensis*. Pacific health dialog. 2001; 8: 178-82.
8. Hochberg NS, Park SY, Blackbum BG, Sejvar JJ, Gaynor K, Chung H, et al. Distribution of eosinophilic meningitis cases attributable to *Angiostrongylus cantonensis*, Hawaii. Emerg Infect Dis. 2007; 13: 1675-80.
9. Ali AB, Enden EVD, Gompel AV, Esbroeck MV. Eosinophilic meningitis due to *Angiostrongylus cantonensis* in a Belgian traveler. Travel Med Infect Dis. 2008; 6: 41-4.
10. Eamsobhana P and Yong HS. Immunological diagnosis of human angiostrongyliasis due to *Angiostrongylus cantonensis* (Nematoda: Angiostrongylidae). Int J Infect Dis. 2009; 13: 425-31.
11. Wang QP, Wu ZD, Wei J, Owen RL, Lun ZR. Human *Angiostrongylus cantonensis*: an update. Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2012; 31: 389-95.
12. Eamsobhana P. Angiostrongyliasis inThailand: epidemiology and laboratory investigations. Hawaii J Med Public Health. 2013; 72: 28-32.
13. Graeff-Teixeira C, da Silva AC, Yoshimura K. Update on eosinophilic meningoencephalitis and its clinical

relevance. Clin Microbiol Rev. 2009; 22: 322-48.

14. Punyagupta S, Bunnag T, Juttijudata P, Rosen L. Eosinophilic meningitis in Thailand. Epidemiology studies of 484 typical cases and the etiology role of *Angiostrongylus cantonensis.* Am J Trop Med Hyg. 1970; 19: 950-960.
15. วีรจิตต์ โชติมงคล. เยื่อหุ้มสมองอักเสบและสมองอักเสบอีโอสิโนฟิลิกในผู้ใหญ่. ศรีนครินทร์เวชสาร. 2530; 251-56.
16. กองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข. รายงานการเฝ้าระวังโรค. 2530.
17. กองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข. รายงานการเฝ้าระวังโรค. 2540-2544.
18. สุทธิพันธ์ จิตพิมลมาศ, วีรจิตต์ โชติมงคล, นิมิตร มรกต, อรรถสิทธิ์ เวชชาชีวะ, มณเฑียร พันธ์เมธากุล, วงศ์วิวัฒน์ ทัศนียกุล และคณะ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง ผลการรักษา eosinophilic meningitis ที่เกิดจาก *Angiostrongylus cantonensis* ด้วย Albendazole: การศึกษาด้วยวิธี double blind placebocontrolled 2533.
19. จำลอง หะริณสุต, ประเสริฐ เสตสุบรรณ, ประยงค์ ระดมยศ. การศึกษาพยาธิแองจิโอสตรองไจลัส แคนโทเนนซิส ในหนูและในหอยในประเทศไทย. จพสท. 2508; 84: 158-75.
20. Tasana S, Srisawangwong T, Sithithaworn P, Laha T, Andrew R. Prevalence and intensity with third stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis* in mollusks from Northeast Thailand. Am J Trop Med Hyg 2009; 80: 983-7.
21. Cross JH, Chen ER. Angiostrongyliasis, In: Murrell KD, Fried B, eds. Food-borne parasitic zoonoses. New York: Springer, 2007: 263-90.
22. Thaenkham U, Pakdee W, Nuamtanong S, Maipanich W, Pubampen S, Sa-Nguankiat S, et al. Population structure of *Angiostrongylus cantonensis* (Nematoda: Metastrongylidae) in Thailand based on PCR-RAPD markers. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2012; 43: 567-73.
23. Moreira VLC, Giese EG, Melo FTV, Simoes RO, Thiengo SC, Maldonado A, et.al. Angiostrongyliasis in the Brazilian Amazon: Natural parasitism of *Angiostrongylus cantonensis* in *Rattus rattus* and *R. norvegicus*, and sympatric giant African land snails, *Achatina fulica*. Acta Tropica. 2013; 90-97.
24. วันชัย มาลีวงษ์ เรื่อง พยาธิแองจิโอสตรองไจลัส **ใน** ปรสิตวิทยาทางการแพทย์ : โปรโตซัวและหนอนพยาธิ. วันชัย มาลีวงษ์, ผิวพรรณ มาลีวงษ์, นิมิตร มรกต. บรรณาธิการ. ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา, 2544: 369-377.
25. Eamsobhana P and Tungtrongchitr A. Angiostrongyliasis in Thailand. In: *Foodborne helminthiasis in Asia*. (Editors N, Arizono JY, Chai Y, Nawa and Takahashi T) Chiba, The Federation of Asian Parasitologists, Japan. 2005; pp. 183-97.
26. Vitta A, Polseela R, Nateeworanart S, Tattiyapong M. Survey of *Angiostrongylus cantonensis* in rats and giant African land snails in Phitsanulok province, Thailand. Asian Pac J Trop Med. 2011; 4: 597-99.
27. Yii CY. Clinical observations on eosinophilic meningitis and meningoencephalitis caused by *Angiostrongylus cantonensis* on Taiwan. Am J Trop Med Hyg. 1976; 25: 233-49.
28. Tsai HC, Liu YC, Kunin CM, Lee SS, Chen YS, Lin HH, et al. Eosinophilic meningitis caused by Angiostrongylus cantonensis: report of 17 cases. Am J Med. 2001; 111:109–14.
29. Chotmongkol V, Sawanyawisuth K, Thavornpitak Y. Corticosteroid treatment of eosinophilic meningitis. Clin Infect Dis. 2000; 31: 660–62.
30. Maleewong W, Sombatsawat P, Intapan PM, Wongkham C, Chotmongkol V. Immunoblot evaluation of the 29-kDa antigen from adult worms *Angiostrongylus cantonensis* for diagnosis of human angiostrongyliasis. Asian Pac J Allerg Immunol. 2001; 19: 267-73.
31. Chotmongkol V, Sawadpanitch K, Sawanyawisuth K, Louhawilai S, Limpawattana P. Treatment of eosinophilic meningitis with a combination of prednisolone and mebendazole. Am J Trop Med Hyg. 2006; 74: 1122–24.
32. Cowie, RH. Biology: taxonomy, identification, and life cycle of *Angiostrongylus cantonensis*. 2011.
33. สำนักงานระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข [2558] Eosinophilic Meningitis. [Online]. Available from: http://www.boe. moph.go.th/boedb/surdata /506wk/y59/d55_0159.pdf [อ้างถึง 18 มกราคม 2559].

คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์

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) ผู้นิพนธ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ 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 ระยะห่างระหว่างบรรทัดในภาษาที่ใช้ double space ภาษาอังกฤษล้วนให้เป็น single space
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา** ชื่อผู้นิพนธ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ** หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา** หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา** บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา** เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้นิพนธ์ ใช้อักษรขนาด **12 pt. ตัวหนา**
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 20 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กะทัดรัด และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้นิพนธ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้นิพนธ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

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

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุอุปกรณ์ สิ่งที่นำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

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

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

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) 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 กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อย่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมนา 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. Procedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันด์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พองาม เดชคำรณ, นภา ขันสุภา. การใช้เอทธีฟอนกระตุ้นการสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

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

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

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

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

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

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมั่นใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. 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 Ehglish. 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 siqe 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 munuscripts 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 desigh, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, disgrams 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.thml)

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 Committe 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

ท่านสามารถสั่งจ่ายธนาณัติหรือตั๋วแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ท่าขอนยาง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครรคะเศรษฐัง กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

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 44150

พิมพ์ที่ : หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา โทร.043-328589-91 โทรสาร 043-328592 Email : klungpress@hotmail.com