



Volume 37 Number 3 May - June 2018

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and **TECHNOLOGY**

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 37 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 3 May - June 2018



ปีที่ 37 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2561

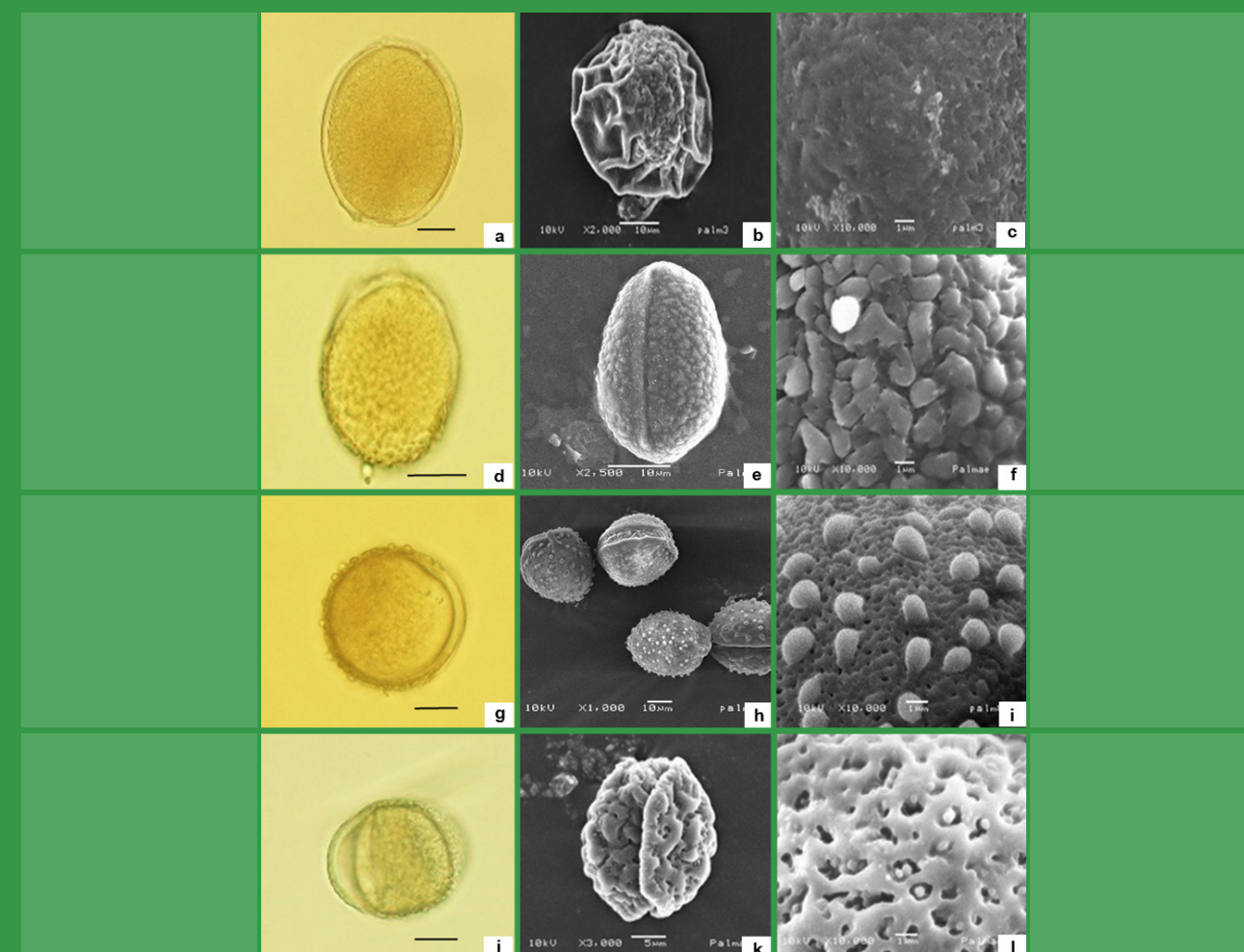
ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

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

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

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

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไข่มุข
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรรพวรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิวิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณดี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานแป๊ะ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ นุญยะสิทธิ์พรหม
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขวาลิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภูววรรธ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญญา วงศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดดพร รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทตรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสิทธ์

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

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

Aim and Scope:

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

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Mr.Paul Alexander Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

การเผยแพร่ตีพิมพ์ผลงานวิจัยและวิชาการ เป็นส่วนสำคัญในการดำรงไว้ซึ่งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังที่มีคำกล่าวที่ว่า “Without publications, science is dead!” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ภูมิใจที่ได้มีส่วนช่วยผลักดันในขบวนการนี้เสมอ สำหรับเนื้อหาของวารสารในฉบับนี้ มีบทความทั้งหมด 15 บทความทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากสาขาชีววิทยา ฟิสิกส์ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ได้รับการตีพิมพ์หลังผ่านการพิจารณาจากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขา

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่าน ทั้งเหล่านักวิจัยที่ได้ส่งบทความเข้ามาพิจารณาตีพิมพ์กับทางวารสาร ทั้งกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละด้าน ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบและพิจารณาบทความ อย่างเข้มแข็งและมีคุณภาพ โดยได้ให้ข้อเสนอแนะทางเทคนิคอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักวิจัย

ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : เรณูวิทยาของพืชวงศ์ปาล์มบางชนิด

ภาพปก : ศรายุทธ รักอาชา และคณะ. 2561, 328-338.

สารบัญ

Biological Science

การศึกษาความชุกของโรคทางจักษุวิทยาและผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต:

โครงการตรวจคัดกรองสุขภาพตา ณ สถานสงเคราะห์คนชราบ้านมหาสารคาม

318

Prevalence of Geriatric Ocular Diseases and Impact on Quality of Life:

An Eye Screening Project at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center

ปริญญญา สีหไตร, ธานิตา หล่อจิตต์เสียง

Parinya Srihatrai, Thanita Hlowchitsieng

เรณูวิทยาของพืชวงศ์ปาล์มบางชนิด

328

Palynology of some Arecaceae Species

ศรายุทธ รักอาชา, สุรพล แสนสุข, ปิยะพร แสนสุข

Sarayut Rakarcha, Surapon Saensouk, Piyaporn Saensouk

Physical Science

การศึกษาค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตของมะพร้าว

เพื่อการประเมินศักยภาพชีวมวลเชิงพลังงานในเขตพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย

339

Technical Study of Residues-to-Product-Ratios Values

for Energy Potential Assessment: Residues from Coconut in Western of Thailand

กิตตินันท์ บุญรอด, พิเชฐ นิลดวงดี, อวิศา พงศ์พิพัฒน์

Kittinun Boonrod, Pichet Ninduangdee, Awassada Phongphiphat

สมรรถนะในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

347

Long term performance of a grid connected inverter under operation conditions

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์, รัฐพร เงินมีศรี, อำนาจ ฉิมทวี, คงฤทธิ์ แม่นศิริ

Chatchai Sirisamphanwong, Rattaporn Ngoenmeesri, Amnaj Chimtavee, Kongrit Mansiri

ปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญวางนัยทั่วไป

358

Generalized Ordinary Smooth Topological Spaces

ศศิกานต์ พิมพา, ดรุณี บุญขารี, จีระนันท์ คำภักดิ์, กิตติศักดิ์ แสงสุระ

Sasikarn Pimpa, Daruni Boonchari, Jeeranunt Khampakdee, Kittisak Saengsura

การดูดซับนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยแกลบและแกลบที่ปรับสภาพ

363

Adsorption of Nickel (Ni^{2+}) by Rice Husk and Modified Rice Husk

นิติศ นามขารี, ปานใจ สี่ประเสริฐสิทธิ์, ธายุกร พระบำรุง

Nitit Namcharee, Panjai Saueprasearsit, Thayukorn Prabamroong

สารบัญ

Computer and Information Science

การจำแนกความคิดเห็นของคนไทยเกี่ยวกับสื่อออนไลน์โดยใช้การทำเหมืองข้อความ 372

Classifying Thai opinions on online media using text mining

นุชนาฏ ปิ่นเมือง, จารี ทองคำ

Noochanat Pinmuang, Jaree Thongkam

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ความสำเร็จการศึกษา
ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ 380

The Comparison of Performance Models for Predicting Students Success in Vocation Education

พัฒนพงษ์ ดลรัตน์, จารี ทองคำ

Pattanaphong Donrat, Jaree Thongkam

การเปรียบเทียบ 12 กระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน 389

Comparison of 12 Learning Algorithms of Artificial Neural Network Models for Flood Forecasting in the Upper Ping Catchment

ทวี ชัยพิมลผลิน

Tawee Chaipimonplin

การพัฒนาเว็บช่วยสอนสำหรับสมาร์ตโฟน 402

The development of Web based instruction for smartphone

อนิรุทธ์ โชติถนอม

Anirut Chottanom

ไอเอ็มอาร์พีแอล : โพรโทคอลอาร์พีแอลแบบปรับปรุงสำหรับโหนดเคลื่อนที่บนเครือข่ายซิกโลแพน 414

ImRPL: Improved RPL protocol for Mobility Node on 6LoWPAN

ภาคย์ สธนเสาวภาคย์, ชัชชัย คุณบัว

Pak Satanasawapak, Chatchai Khunboa

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมือง
เมืองแก่นพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ 424

Smrtphone Application Development for Tourist Destinations

in Muang Kaen Pattana Municipality, Mae Tang District, Chiang Mai Province

พิมพ์ชนก สุวรรณศรี, ศศิณิสฎา พัชรชนโรจน์

Pimchanok Suwannasri, Sasinipa Patcharatanaroach

สารบัญ

- การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์
เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 431
- The Application of Geographic Information Systems to Develop an Application
for Finding an Optimal Route for Tourist Attractions in Hua Hin, Prachuap Khiri Khan Province**
- อังคณา จัตตามาต, อัชฌาพร กว่างสวาสดี
Aungkana Jattamart, Achaporn Kwangsawad
- การหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่สำหรับการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร 439
- Local Descriptors Approach for Pornographic Image Classification**
- โอพาริก สุรินตะ
Olarik Surinta
- ระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชัน
เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน 449
- Enterprise Resources Planning for Rubber Replanting Aid Fund Cooperative
on Web Application in Order to Enhance the Competitiveness in Gearing Toward ASEAN Community**
- จตุพร จิรันดร, มนต์ทนา คงแก้ว
Jatuporn Jirundorn, Monthana Kongkaew

การศึกษาความชุกของโรคทางจักษุวิทยาและผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต: โครงการตรวจคัดกรองสุขภาพตา ณ สถานสงเคราะห์คนชราบ้านมหาสารคาม

Prevalence of Geriatric Ocular Diseases and Impact on Quality of Life: An Eye Screening Project at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center

ปริญญา สีหไตร^{1*}, ฐานิตา หล่อจิตต์เสียง¹

Parinya Srihatrai^{1*}, Thanita Hlowchitsieng¹

Received: 19 May 2017 ; Accepted: 5 October 2017

บทคัดย่อ

โรคทางจักษุวิทยามีความแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มอายุ ซึ่งการสูญเสียการมองเห็นอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตในมิติต่างๆ ของผู้สูงอายุได้ การศึกษานี้ได้รายงานความชุกของโรคทางตาและวิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตโดยใช้แบบสอบถาม SF-36 ภาษาไทยฉบับแปลใหม่ ทำการศึกษา ณ สถานสงเคราะห์คนชราบ้านมหาสารคาม โดยทำการตรวจวัดระดับการมองเห็น ความดันลูกตา ตรวจโครงสร้างลูกตาส่วนหน้า และถ่ายภาพจอตาโดยไม่ได้ขยายรูม่านตา ประเมินสภาวะสุขภาพโดยการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม พบว่ามีผู้ป่วยจำนวน 23 ราย ค่าเฉลี่ยอายุเท่ากับ 74.2 ปี โรคทางตาที่พบบ่อย ได้แก่ ต้อกระจก (ร้อยละ 80.4) สายตาคิดปกติที่ไม่ได้รับการแก้ไข (ร้อยละ 58.7) สายตายาวที่เกิดในวัยสูงอายุ (ร้อยละ 26.1) โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียการมองเห็น ได้แก่ ภาวะต้อกระจก ต้อหิน ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต พบว่าคะแนนของการรับรู้ภาวะสุขภาพทางด้านสภาพทางร่างกายในมิติ Physical functioning มีค่าต่ำที่สุด และมีมิติ Mental health มีค่าสูงที่สุด โดยไม่พบความสัมพันธ์กับระดับการมองเห็น

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ คนชรา ระดับการมองเห็น ตาบอด โรคทางตา คุณภาพชีวิต แบบประเมิน SF-36 ฉบับภาษาไทย

Abstract

Ocular diseases are different among each age group. Visual impairment can affect quality of life (QoL) in the ageing population. This cross-sectional study reports the prevalence of ocular diseases and evaluates the impact of visual impairment on QoL using the Short Form (36) Health Survey (SF-36): retranslated Thai version questionnaire at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center. The examinations included visual acuity test, intraocular pressure and anterior eye segment examination. A nonmydriatic, digital fundus camera was used for the posterior segment evaluation. All patients were interviewed to evaluate health status. According to the findings, 23 patients were enrolled, the mean (SD) age was 74.2 (7.7) years old. The prevalence of ocular diseases was; cataract (80.4%), uncorrected refractive errors (58.7%) and presbyopia (26.1%). Two major causes of visual impairment were cataract and glaucoma. The questionnaire showed the lowest score in the physical functioning domain and highest score in the mental health domain with no significant correlation to visual impairment status.

Keywords: blindness, elderly, geriatric, ocular disease, quality of life, questionnaire, SF-36, visual impairment.

¹ อาจารย์ ฝ้ายจักษุวิทยา โรงพยาบาลสุทธาเวช คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Faculty of Medicine, Suddhavej Hospital, Mahasarakham University, Mueang, Maha Sarakham 44000, Thailand

* Corresponding author: Srihatrai P. Tel.: +66865342777, Fax: +6643712991 e-mail: parinya@msu.ac.th

Introduction

Causes of visual impairment and ocular diseases may vary among each age group. Based on the statistics in 2010, approximately 285 million people worldwide were affected by visual impairment, 80% of which is avoidable. Cataract and uncorrected refractive errors are the leading causes of avoidable visual impairment. Accordingly, unoperated cataract and glaucoma are the leading causes of avoidable blindness. By 2019, the world population will have reached 7.5 billion and the number of blind people aged above 50 will grow, particularly in Southeast Asian countries¹. In 1999, World Health Organization (WHO) launched 'Vision 2020', a global initiative campaign to eliminate avoidable blindness.

Problems of perception, especially the decline of vision, can affect quality of life (QoL) and lead to limitations of daily activities in ageing population². Furthermore, the physical limitations of ageing patients may cause them to experience near task activities, especially reading. Presbyopia and cataract, in particular, could be troublesome leisure and result in mental health problems. In 1996, the United States Preventive Services Task Force (USPSTF) suggested routine visual screening in a primary care center via Snellen eye chart, which is a subjective measurement and cannot be used to evaluate the impact on QoL^{3,4}.

In Thailand, the report in 2014 found that there were 672 cases of people aged 60 years and over in the eye screening project of Primary Care Unit, Faculty of Medicine, Thammasat University. Of these, 31.4% were the cases with pterygium, 4.5% were cataract which caused visual acuity lower than 20/70, diabetic retinopathy 2.7% and glaucoma 2.4%⁵. In 2016, Ratanasukon M, et al. reported the vision-related quality of life (VRQoL) in 120 patients with visual impairment by different causes at Songklanagarind Hospital, Songkhla province⁶, using Thai version of the impact of vision impairment (IVI) questionnaire, which divided the health aspects into three categories; (i) mobility and independence, (ii) reading and accessing information and (iii) emotional well-being. It was found that the symptoms of the common vision impairment diseases are associated with an adverse

impact on VRQoL.

In the present study, the authors used available, different, easily-trained and non-invasive instruments were used by trainees for the screening of common visual problems at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center, which almost of the patients were difficult to access the eye treatment due to physical disability, social welfare, care giver or self-care ability.

The authors report the QoL as described in the International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF, using the Short Form (36) Health Survey (SF-36) retranslated Thai version questionnaire, which have the statistically significant positive correlation in all aspects with the WHOQOL: BREF ($P < 0.05$) questionnaire in QoL assessment⁷. The prevalence of ocular diseases and visual impairment or blindness are also discussed.

Materials and Methods

Study design

This is the cross-sectional study conducted in April, 2017 at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center. The study was approved by the Mahasarakham University Ethics Committee for research involving human subjects (EC ID 029/2017). All investigations were carried out in accordance with the tenets of the Declaration of Helsinki and all participants gave an informed consent. This study had been registered in the Thai Clinical Trials Registry (TCTR), clinicaltrials.in.th, (TCTR identification number: TCTR 20170418001).

Participants

The population in this study was all geriatric patients at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center, who eligible met the inclusion criteria, which are all patients who participated in the eye screening project of Suddhavej Hospital, Faculty of Medicine, Mahasarakham University. Informed consent were obtained from the participants while some of them were excluded by the exclusion criteria, i.e. the patients who refused to be enrolled, any problems in the response to the questionnaire or had a physical limitation to an eye examination in upright position.

Data Collection

Both eyes of all participants were evaluated for distance visual acuity test with Snellen eye chart and for near vision by Rosenbaum pocket vision screener. Autorefractor and keratometer was used for evaluation of ocular refraction. Intraocular pressure measurement using automatic non-contact tonometer. Data acquisition by these simple, objective and easily-trained instruments were provided by well-trained medicals, paramedics and applied Thai traditional medicine students. The authors used slit-lamp biomicroscope for the assessment of anterior eye segment by one ophthalmologist. Data was recorded in the case record form. The last step was posterior segment photography using a nonmydriatic, digital fundus camera for single-field central posterior 45-degree image of both eyes without pupillary dilatation.

All participants were interviewed using the list in the SF-36: retranslated Thai version questionnaire, which covered 8 aspects of QoL; namely, physical functioning, (role limitations due to physical problems), social functioning, (role limitations due to emotional problems), bodily pain, general mental health, vitality and general health perceptions. This questionnaire was developed in 1992 by Ware and Sherbourne and validated in Thai version by Leurmarnkul W and Meetam P in 2005⁷, which had evidence supporting the validity and reliability of the retranslated Thai version and recommended in the interpretation with caution in Vitality and Role-emotional scales due to the relatively low agreement between the Thai version and the original. The evaluation of the results was done by attributing scores to each question, which were then transformed into a scale ranging from 0 to 100, where 0 corresponds to the worst QoL and 100 to the best. Each dimension was analyzed separately.

Data Analysis and Statistics

Descriptive statistics was used for continuous and categorical variables. Variables were divided into 3 sets of data; patient background data, visual level, ocular status and ocular examination data. Visual acuity levels were divided in 4 categories based on the 4 visual

stratifications proposed by Brown MM, *et al.* in 2002⁸. The prevalence of ocular diseases was evaluated with all 46 eyes from 23 patients. The causes of visual impairment in the better eyes that have presenting or best possible correction worse than 20/70 were also reported. Uncorrected near visual acuity (UNVA) of better eyes was divided in 3 stratifications modified from Sanders and Sanders 2007⁹. Mean scores of the QoL questionnaire were separately reported in each domain. Differences between two groups were evaluated using independent t-test or Mann-Whitney U-test and using one-way analysis of variance (ANOVA) or Kruskal-Wallis test for more than two groups' comparison.

The researchers have also selected the better eyes for evaluating the correlation to QoL by comparing between the eyes with visual acuity level better or equal 20/70 and the eyes with visual acuity level worse than 20/70 (based on a classification of severity of visual impairment by the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10 Version: 2016))¹⁰. Patient performance status was categorized by ECOG which was developed by the Eastern Cooperative Oncology Group¹¹. The patient performance status includes grade 0; fully active, able to carry on all pre-disease performance without restriction, grade 1; restricted in physically strenuous activity but ambulatory and able to carry out work of a light or sedentary nature, e.g., light house work, office work, grade 2; ambulatory and capable of all self-care but unable to carry out any work activities; up and about more than 50% of waking hours, grade 3; capable of only limited self-care; confined to bed or chair more than 50% of waking hours, grade 4; completely disabled; unable to carry on any self-care; totally confined to bed or chair and grade 5; dead. Data was analyzed using R 3.4.0 for Windows (The R Project for Statistical Computing). A p-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

Results

Patient Demographics

Twenty-three geriatric patients were included for

analysis. There were 11 (47.8%) males and 12 (52.2%) females. All patients were Buddhists. The mean (SD) age was 74.2 (7.7) years old and the majority (52.2%) aged between 71-80 years old. The ECOG performance status was grade 2-3 (69.6%), grade 0-1 (21.7%) and grade 4 (8.7%), respectively (Table 1). All patients were under the care of the elderly care officers.

Visual acuity

The majority visual acuity level was moderate visual loss (50%). Binocular status (ICD-10 classification of visual impairment) were mild or none of visual impairment in both eyes, whereas monocular severe visual impairment, binocular moderate visual impairment, monocular blindness, binocular severe visual impairment and binocular blindness, accounted for 30.4%, 21.7%, 17.4%, 13.0%, 8.7% and 8.7%, respectively.

Table 1 General demographic characteristics

Participants baseline characteristics	N	%
Gender		
Male	11	47.8
Female	12	52.2
Age range (years) mean (SD)	74.2	(7.7)
61 - 70	6	26.1
71 - 80	12	52.2
≥ 81	5	21.7
Marriage status		
Married	9	39.1
Divorced/ widowed	12	52.2
Single	2	8.7
Educational level		
None	4	17.4
Primary level	17	73.9
Secondary level	2	8.7
Underlying diseases		
Type 1 and 2 diabetes mellitus	10	43.5
Hypertension	17	73.9
CVA/ IHD	2	4.4
Asthma/ COPD	7	30.4
Psychiatric and cognitive disorders	5	21.7
Others	11	47.9

Table 1 General demographic characteristics (continue)

Participants baseline characteristics	N	%
Body mass index (BMI)		
< 18.5	3	13.0
18.5 to 22.9	11	47.8
23.0 to 24.9	4	17.4
25.0 to 29.9	4	17.4
≥ 30	1	4.4
ECOG Performance status		
Grade 4	2	8.7
Grade 2-3	16	69.6
Grade 0-1	5	21.7

CVA, Cerebrovascular accident; IHD, Ischemic heart disease; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; Psychiatric and cognitive disorders (depression, Alzheimer's disease, Behavioral and Psychological Signs and Symptoms of Dementia (BPSD), Parkinson's disease), Others: osteoarthritis of the knee, polyneu-ropathy, peptic ulcer, anemia, rheumatic heart disease, aortic stenosis and ostium secundum atrial septal defects, ECOG, Eastern Cooperative Oncology Group.

The uncorrected near visual acuity (UNVA) was reported in Jaeger (J) system, which were J7 to J9 (43.5%), J1 to J5 (30.4%) and worse than J9 (26.1%) (Table 2).

Table 2 Visual acuity level

Visual acuity level	N	%
Best possible corrected distance visual acuity		
Good reading vision (20/20–20/25)	4	8.7
Legal driving vision (20/30–20/40)	7	15.2
Moderate visual loss (20/50–20/100)	23	50.0
Legal blindness (20/200 or worse)	12	26.1
Classification of visual status (ICD-10 Version: 2016)		
H54.0 Blindness, binocular	2	8.7
H54.1 Severe visual impairment, binocular	2	8.7
H54.2 Moderate visual impairment, binocular	4	17.4
H54.4 Blindness, monocular	3	13.0
H54.5 Severe visual impairment, monocular	5	21.7
Uncorrected near visual acuity (UNVA) of better eyes		
Jaeger 1 to Jaeger 5	7	30.4
Jaeger 7 to Jaeger 9	10	43.5
Worse than Jaeger 9	6	26.1

Prevalence of ocular diseases

The prevalence reported from 46 eyes of 23 patients may have more than one diagnosis in some cases. There were 38 (82.6%) phakic eyes and 7 (15.2%) pseudophakic eyes, while one eye could not be identified due to corneal opacification. The five common diagnoses were cataract (80.4%), uncorrected refractive errors (58.7%), presbyopia (26.1%), glaucoma (included primary angle-closure suspect, primary angle-closure and pseudoexfoliative glaucoma) (17.4%) and hypertensive retinopathy (17.4%). Other diagnoses were pterygium, diabetic retinopathy, dry eyes, non-neovascular AMD, high myopia, optic disc coloboma, retinitis pigmentosa, flecked retina, macular scar and phthisis bulbi (from chronic uveitis). When evaluated only the three main causes of visual impairment (VA worse than 20/70), visually significant causes most commonly found included cataract, glaucoma and retinitis pigmentosa. Others were macular scar, uncorrected refractive errors and phthisis bulbi (Table 3).

Table 3 Prevalence and principal causes of visual impairment

Ocular conditions	N	%
Prevalence of ocular diseases (46 eyes)		
Cataract	37	80.4
Uncorrected refractive errors	27	58.7
Presbyopia	12	26.1
Glaucoma/ PAC/ PACS/ PXG	8	17.4
Hypertensive retinopathy	8	17.4
Pterygium	6	13.0
Diabetic retinopathy	5	10.9
Others	14	30.7
Principal causes of visual impairment (46 eyes)		
Visual acuity better or equal 20/70	22	47.8
Cataract	16	34.8
Glaucoma	3	6.5
Retinitis pigmentosa	2	4.4
Macular scar	1	2.2
Uncorrected refractive errors	1	2.2
Phthisis bulbi	1	2.2

Table 3 Prevalence and principal causes of visual impairment (continue)

Ocular conditions	N	%
Lens status (46 eyes)		
Phakia	38	82.6
Pseudophakia	7	15.2
N/A	1	2.2

PAC, primary angle-closure; PACS, primary angle-closure suspect; PXG, pseudoexfoliative glaucoma; Others: dry eyes, non-neovascular age-related macular degeneration, high myopia, optic disc coloboma, retinitis pigmentosa, flecked retina and corneal scar with band keratopathy.

Consequences of visual impairment on QoL

The SF-36: retranslated Thai version questionnaire was used to evaluate QoL. This instrument is divided in two major components (8 domains); physical and mental components. The better eyes in each patient were selected for analysis. The visual status of the selected eyes was shown in Table 4.

Table 4 Concurrent ocular conditions of the better eyes

Ocular conditions of the better eyes	N	%
Laterality		
Right eyes	9	39.1
Left eyes	14	60.9
Vision impairment (Brown et al., 2002)		
Good reading vision (20/20–20/25)	3	13.0
Legal driving vision (20/30–20/40)	5	21.7
Moderate visual loss (20/50–20/100)	13	56.5
Legal blindness (20/200 or worse)	2	8.7
Visual impairment (ICD-10 Version: 2016)		
Better or equal 20/70	15	65.2
Worse than 20/70	8	34.8
Lens status		
Phakia	19	82.6
Pseudophakia	4	17.4

The patients had the lowest score in physical functioning domain (49.134.4), and the highest score in mental health domain (77.4) (Table 5). When compared to the Thai population from the study reported by Leurmarnkul W and Meetam P, 2005, the results of the present research had significantly lower scores in physical functioning domain ($P < 0.001$), role physical

domain ($P = 0.008$), but higher in mental health domain ($P = 0.003$).

For each category, the health status were not significantly different for patients with and without visual impairment (cut point VA was 20/70), each level of VA (good reading vision, legal driving vision, moderate visual loss and legal blindness) or UNVA as well (Table 6, 7, 8).

Table 5. The SF-36: retranslated Thai version scores in our population

Domains	Mean	SD	Median	min-max
Physical components summary	57.9	23.8	48.8	24.4-100
Physical functioning	49.1	34.4	40	0-100
Role physical	52.2	45.2	50	0-100
Bodily pain	63.2	36.1	67.5	0-100
General health	67.0	20.6	65	30-100
Mental component summary	69.7	20.2	75	24.6-97
Vitality	65.7	22.6	70	10-100
Social functioning	66.3	28.3	62.5	12.5-100
Role emotion	69.6	42.5	100	0-100
Mental health	77.4	20.3	80	24-100

Table 6. The SF-36: retranslated Thai version scores of the better eyes by ICD-10 classification (N=23)

Domains	Better or equal 20/70 (15)			Worse than 20/70 (8)			P value
	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	
PCS	58.8	24.1	28.1-100	56.2	24.9	24.4-91.3	0.811
PF	45.7	34.0	0-100	55.6	36.7	5-100	0.400
RP	51.7	45.8	0-100	53.1	47.1	0-100	0.973
BP	72.0	32.3	22.5-100	46.6	39.2	0-100	0.117
GH	65.7	20.6	30-100	69.4	21.8	35-95	0.691
MCS	71.9	22.8	24.6-97	65.7	14.8	48.9-86.9	0.501
VT	66.0	24.5	10-100	65.0	20.0	30-85	0.922
SF	74.2	27.7	12.5-100	51.6	24.5	12.5-87.5	0.067
RE	68.9	46.2	0-100	70.8	37.5	0-100	0.796
MH	78.4	16.0	44-100	75.5	27.9	24-100	0.752

PCS, physical components summary; PF, physical functioning; RP, role physical; BP, bodily pain; GH, general health; MCS, mental component summary; VT, vitality; SF, social functioning; RE, role emotion; MH, mental health.

Table 7 The SF-36: retranslated Thai version scores of the better eyes by Brown vision level classification (N=23)

Domains	Good reading vision			Legal driving vision			Moderate visual loss			Legal blindness			P value
	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	
PCS	80.6	30.4	45.6-100	69.8	21.4	45-91.3	49.5	20.0	24.4-82.5	48.4	25.2	30.6-66.3	0.085
PF	85.0	21.8	60-100	44	41.1	5-95	41.9	33.1	0-100	55.0	21.2	40-70	0.295
RP	66.7	57.7	0-100	75	43.3	0-100	48.1	42.7	0-100	0.0	0.0	0-0	0.237
BP	89.2	18.8	67.5-100	89	24.6	45-100	47.5	34.2	0-100	61.3	54.8	22.5-100	0.069
GH	81.7	23.6	55-100	71	16.4	45-85	60.4	20.5	30-95	77.5	24.8	60-95	0.328
MCS	73.3	33.3	35.3-97	80.5	6.5	72.8-86.9	66.0	21.8	24.6-94.5	62.0	0.7	61.5-62.5	0.554
VT	61.7	34.0	35-100	61	12.5	40-70	69.2	24.9	10-100	60.0	21.2	45-75	0.605
SF	83.3	28.9	50-100	80	22.7	50-100	56.7	30.0	12.5-100	68.8	8.8	62.5-75	0.273
RE	66.7	57.7	0-100	100	0	100-100	64.1	44.0	0-100	33.3	47.1	0-66.7	0.150
MH	81.3	22.7	56-100	80.8	15.6	60-100	73.9	22.8	24-96	86.0	19.8	72-100	0.858

Table 8 The SF-36: retranslated Thai version scores by UNVA of the better eyes (N=23)

Domains	J1 to J5			J7 to J9			worse than J9			P value
	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	
PCS	56.3	24.4	28.1-100	56.4	26.2	24.4-96.3	62.0	22.8	30.6-85	0.894
PF	42.9	32.4	5-100	40.0	33.8	0-95	71.7	32.7	25-100	0.140
RP	57.1	45.0	0-100	52.5	50.6	0-100	45.8	43.1	0-100	0.849
BP	58.9	31.3	22.5-100	70.3	39.9	0-100	56.3	39.1	12.5-100	0.784
GH	66.4	21.0	45-100	63.0	23.2	30-90	74.2	16.6	60-95	0.596
MCS	67.5	19.3	35.3-87.5	75.0	24.5	24.6-97	63.5	12.8	46.6-82.8	0.532
VT	57.9	16.8	35-80	67.0	29.1	10-100	72.5	15.4	45-85	0.513
SF	71.4	23.6	50-100	71.3	33.9	12.5-100	52.1	21.5	12.5-75	0.376
RE	61.9	48.8	0-100	86.7	32.2	0-100	50.0	46.0	0-100	0.199
MH	78.9	16.3	56-100	75.2	24.3	24-100	79.3	20.5	44-100	0.910

J, Jaeger.

Consequences of physical disability on QoL

It could be assumed that there might be a stronger correlation of physical component with the mobility status. When compared the SF-36 scores between grades

0-1 and grades 2-4 ECOG performance status, there was significant difference in physical functioning domain ($P=0.001$) (Table 9).

Table 9 The SF-36: retranslated Thai version scores by mobility status (N=23)

Domains	ECOG grade 0-1 (N=5)			ECOG grade 2-4 (N=18)			P value
	Mean	SD	min-max	Mean	SD	min-max	
PCS	62.7	25.6	24.4-100	46.9	15.4	33.1-78.8	0.148
PF	64.7	29.0	20.0-100	13.6	11.4	0-30	0.001
RP	51.6	46.1	0-100	53.6	46.6	0-100	0.833
BP	65.0	34.9	12.5-100	58.9	41.3	0-100	0.863
GH	69.4	19.1	40.0-100	61.4	24.5	30-90	0.407
MCS	69.8	19.4	35.3-97	69.5	23.6	24.6-90.9	0.975
VT	70.6	18.9	35.0-100	54.3	27.6	10-80	0.112
SF	66.4	27.7	12.5-100	66.1	32.0	12.5-100	0.980
RE	62.5	43.7	0-100	85.7	37.8	0-100	0.169
MH	79.8	18.7	44.0-100	72.0	24.2	24-96	0.412

ECOG, Eastern Cooperative Oncology Group.

Discussion

To our knowledge, this study is the first study in Thailand which evaluated visual acuity and ocular diseases of geriatric patients in elderly care center. The researchers assessed the correlation of visual acuity and QoL using retranslated Thai version of SF-36, a global QoL measuring instrument. The results did not demonstrate any correlation between all sub-components of SF-36 scores and visual performance (distance VA and UNVA).

In prevalence of ocular diseases, the result is comparable with the report from the eye screening project of Primary Care Unit, Faculty of Medicine, Thammasat University in 2014, and WHO statistics, which were cataract (82.61%), uncorrected refractive errors (39.13%), presbyopia (21.74%), glaucoma (17.39%), hypertensive retinopathy (17.39%), diabetic retinopathy (8.70%) and pterygium (8.70%), respectively. The other diagnoses were non-neovascular AMD, high myopia, optic disc coloboma, dry eyes, retinitis pigmentosa, flecked retina and corneal scar with band keratopathy. The majorities of leading causes of distance visual impairment were cataract, glaucoma and retinitis pigmentosa. Presbyopia is one problem that might affect the leisure and near task activities.

There are studies reporting the correlation of QoL in ocular problem patients. In 2001, Kupersmith MJ,

et al. evaluated the patient perception of visual and systemic disability associated with giant cell arteritis (GCA) and reporting that the Activities of Daily Vision Scale (ADVS) and SF-36 did not reveal significant disability in GCA patients and there were no strong correlations with any visual performance or systemic measures¹². In subfoveal choroidal neovascularization patients, the results reported by Childs AL, et al. in 2003 showed that mental component summary scale (MCS) and mental health subscale scores did not correlate with better eye visual acuity at any time point after 2 years follow up¹³. The physical component summary scale (PCS) and the physical functioning subscale scores were slightly correlated with better eye visual acuity at 2 years. They concluded that the SF-36 scales were not responsive to changes in visual acuity in patients in the Submacular Surgery Trials pilot study, and a general QoL tool may not be sufficient, and a vision-targeted QoL tool may be needed.

In glaucoma patients, Lester M and Zingirian M reported in 2002 that the SF-36 score showed significant mild correlation with age and visual field indices but when compared to the Viswanathan et al's questionnaire, the complexity of SF-36 made Viswanathan et al's questionnaire more useful than MOS SF-36, both for the score and for the velocity to use¹⁴. On the other hand, these

results differed from Nah YS, et al. in 2002, which reported no significant correlation between visual field defect and visual function with SF-36 score¹⁵.

When correlated the best possible corrected distance visual acuity and UNVA to the SF-36 scores, there was no significant difference in QoL score between better and worse visual acuity levels. The physical functioning domain was statistically different between ECOG grade 0-1 and grade 2-4 groups. Comparing to Thai general population⁷, the population of this research had significant lower score in physical functioning and role physical domain, that might be caused by the population were ageing patients and the majority of their performance status was ECOG grade 2-3. On the other hand, the mental health domain score was statistically higher.

Our study has two important limitations. Firstly, the small size of population because of some of the geriatric patients were unable to attend the eye examination in all tasks, which were excluded from the study. Secondly, the response to subjective measurement, especially visual acuity and questionnaire was varied. Others might be the physical disabilities and other medical problems may be the obstacles to the result reliability in QoL assessment. Due to the possibility of unilateral or bilateral blindness, visual impairment might affect the QoL assessment. In addition, the authors also tried to compare each group according to ICD-10 Version: 2016 but the low number of patients could not demonstrate any significant difference.

As a screening eye disease, the results do not assess other visual functions such as visual field, contrast sensitivity, stereopsis and dilated fundus examination, which may influence the ocular disease prevalence and QoL analyses. Given these limitations, our results might difficult to generalize to a larger cohort of patients. The researchers believe that ophthalmic data management, such as registration and follow-up data collection, the use of other instruments to assess the organ specific (vision) QoL, and the development of multi-center visual screening in elderly care center may improve the reliability of the results and provide additional information in the future.

Conclusion

In conclusion, the prevalence of ocular diseases in geriatric patients at Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center is comparable to the WHO report and other studies in Thailand. The better eye's visual acuity has no statistical correlation to SF-36 subscale scores.

Acknowledgements

This study received no specific grant from any funding agency. We thank the participants for their time, and Maha Sarakham Provincial Elderly Care Center for access to the resources used. We thank the Alumni Association and the Student Union of Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand for attending the eye screening project.

Conflict of interest

All the authors declare that there is no conflict of interest referring to this article.

References

1. Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment: 2010. *Br J Ophthalmol*. 2012 May; 96(5):614-8.
2. Wang C, Chan CLW, Chi I. Overview of Quality of Life Research in Older People with Visual Impairment. *Advances in Aging Research*. 2014;3:79-94.
3. Chen YA, Thomas M. Vision Screening in the Elderly: Current Literature and Recommendations. *UTMJ*. 2010;87(3):160-9.
4. U.S. Preventive Services Task Force. Chapter 33: Screening for visual impairment. In *Guide to clinical preventive services*. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1996. pp.373-382.
5. Kampitak K, Palangrit S, Wadpong W, Sribau T, Pongtawigorn P, Wayurakul W. Prevalence of the Elderly Ocular Disease in The Eye Screening Project of Primary Care Unit, Faculty of Medicine, Thammasat University. *Thammasat Medical Journal*. 2014 Oct-Dec;14(4):537-43.
6. Ratanasukon M, Tongsomboon J, Bhurayanontachai P, Jirarattanasopa P. The Impact of Vision Impair-

- ment (IVI) Questionnaire; Validation of the Thai-Version and the Implementation on Vision-Related Quality of Life in Thai Rural Community. *PLoS One*. 2016 May 18;11(5):e0155509.
7. Leurmarnkul W, Meetam P. Properties Testing of the Retranslated SF-36 (Thai Version). *Thai J. Pharm. Sci.* 2005;29(1-2):69-88.
 8. Brown MM, Brown GC, Sharma S, Landy J, Bakal J. Quality of life with visual acuity loss from diabetic retinopathy and age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol*. 2002 Apr;120(4):481-4.
 9. Sanders DR, Sanders ML. Near visual acuity for everyday activities with accommodative and monofocal intraocular lenses. *J Refract Surg*. 2007 Oct;23(8):747-51.
 10. World Health Organization: International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th revision. Fifth edition. Version for 2016. Chapter VII. H54. Blindness and low vision, World Health Organization, Geneva, 2016.
 11. Oken MM, Creech RH, Tormey DC, Horton J, Davis TE, McFadden ET, et al. Toxicity and response criteria of the Eastern Cooperative Oncology Group. *Am J Clin Oncol*. 1982;5:649-655.
 12. Kupersmith MJ, Speira R, Langer R, Richmond M, Peterson M, Speira H, Mitnick H, Paget S. Visual Function and Quality of Life Among Patients with Giant Cell (Temporal) Arteritis. *J Neuroophthalmol*. 2001 Dec;21(4):266-73.
 13. Childs AL, Submacular Surgery Trials Patient-Centered Outcomes Subcommittee for the Submacular Surgery Trials Pilot Study Investigators. Responsiveness of the SF-36 Health Survey to Changes in Visual Acuity Among Patients With Subfoveal Choroidal Neovascularization. *Am J Ophthalmol*. 2004 Feb;137(2):373-5.
 14. Lester M, Zingirian M. Quality of life in patients with early, moderate and advanced glaucoma. *Eye (Lond)*. 2002 Jan;16(1):44-9.
 15. Nah YS, Seong GJ, Kim CY. Visual Function and Quality of Life in Korean Patients with Glaucoma. *Korean J Ophthalmol*. 2002 Dec;16(2):70-4.

เรณูวิทยาของพืชวงศ์ปาล์มบางชนิด Palynology of some Arecaceae Species

ศรายุทธ รักอาชา¹, สุรพล แสนสุข^{2,4}, ปิยะพร แสนสุข^{3,4*}
Sarayut Rakarcha¹, Surapon Saensouk^{2,4}, Piyaporn Saensouk^{3,4*}

Received: 23 June 2017 ; Accepted: 20 October 2017

บทคัดย่อ

ศึกษาเรณูวิทยาของพืชวงศ์ปาล์ม (Arecaceae) จำนวน 12 ชนิด ได้แก่ *Adonidia merrillii*, *Bismarckia nobilis*, *Borassus flabellifer*, *Calamus caesius*, *Cocos nucifera*, *Dypsis lutescens*, *Hyophorbe lagenicaulis*, *Livistona chinensis*, *Phoenix dactylifera*, *P. roebelenii*, *Washingtonia robusta* และ *Wodyetia bifurcata* โดยนำเรณูมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะเรณูเป็นเม็ดเดี่ยว สมมาตรด้านข้าง รูปร่างเมื่อสังเกตในด้านมุมบนเป็นแบบ elliptic-circular, elliptic หรือ subelliptic ช่องเปิดยาว 1 ช่อง ขนาดของเรณูมีความยาวแกนด้านยาว 20.10-55.66 ไมโครเมตร ความยาวแกนด้านสั้น 17.86-44.25 ไมโครเมตร และลวดลายบนผนังชั้นนอกขึ้นเป็นแบบ punctate, perforate, rugulate, granulate-punctate, granulate-reticulate หรือ reticulate ซึ่งลักษณะรูปร่าง ลวดลายผนังชั้นนอกขึ้น และผิวบริเวณช่องเปิดสามารถแบ่งพืชวงศ์ปาล์มออกเป็น 3 กลุ่ม และลักษณะสัณฐานวิทยาเรณูสามารถนำมาระบุพืชวงศ์ปาล์มได้บางชนิด

คำสำคัญ : สัณฐานวิทยาเรณู พืชวงศ์ปาล์ม

Abstract

The pollen grains of twelve species of the Arecaceae namely *Adonidia merrillii*, *Bismarckia nobilis*, *Borassus flabellifer*, *Calamus caesius*, *Cocos nucifera*, *Dypsis lutescens*, *Hyophorbe lagenicaulis*, *Livistona chinensis*, *Phoenix dactylifera*, *P. roebelenii*, *Washingtonia robusta* and *Wodyetia bifurcata* were studied using light and scanning electron microscopy. The pollen grains are monad with bilateral symmetry, elliptic-circular, elliptic or subelliptic in shape in polar view; monosulcate. Size averages for the long axis in polar view were 20.10–55.66 μm , and averages for the short axis in polar view were 17.86–44.25 μm . The exine sculpturing is punctate, perforate, rugulate, granulate-punctate, granulate-reticulate or reticulate. Based on observation of shape, exine sculpturing and surface of aperture we divide the Arecaceae into three groups. These characteristics of the pollen morphology can be used to identify some species in the Arecaceae.

Keywords: Pollen morphology, Arecaceae

¹ นิสิตปริญญาเอก, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

⁴ หน่วยวิจัยอนุกรมวิธานพืชและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและการประยุกต์ใช้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Ph. D. student, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand, cadetcampus@hotmail.com

² Assistant Professor, Walai Rukhvej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham, 44150, Thailand, surapon.s@msu.ac.th

³ Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand, pcornukaempferia@yahoo.com

⁴ Plant and Invertebrate Taxonomy and Its Applications Unit Group, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

* Corresponding author: pcornukaempferia@yahoo.com

บทนำ

พืชวงศ์ปาล์ม (Arecaceae) เป็นไม้ต้น ไม้พุ่มหรือไม้เถาที่มีเนื้อแข็ง ลำต้นเดี่ยว มีข้อปล้องที่ชัดเจนโคนก้านใบแผ่ออกเป็นกาบหุ้มลำต้น ใบมีรอยพับจีบช่อดอกออกด้านข้าง มีใบประดับดอกมืออย่างละ 3 กลีบ ผลมีเนื้อส่วนใหญ่มีเมล็ดเดี่ยว^{1, 2} ทั่วโลกมีอยู่ 189 สกุล ประมาณ 2,000 ชนิด มีการกระจายพันธุ์ในเขตร้อน ในทวีปอเมริกา เอเชีย และแอฟริกา³ ในประเทศไทยพบ 33 สกุล ประมาณ 166 ชนิด⁴ พืชในวงศ์นี้มีการใช้ประโยชน์หลากหลาย ด้านอาหาร เช่น ปาล์มน้ำมันและมะพร้าว นำมาผลิตน้ำมันเพื่อการบริโภค อินทผลัม ตาล และชิต มักจะบริโภคส่วนของผล ด้านที่อยู่อาศัย เช่น หลาวชะโอน นำมาทำเสาบ้าน พื้นบ้านและฝาบ้าน หวายใช้ผูกมัดในการก่อสร้าง ทำเครื่องเรือน เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ด้านเครื่องนุ่งห่ม เช่น หมากสง ส่วนของผลถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสีย้อม ด้านยารักษาโรค โดยใช้ส่วนของรากนำมาเป็นส่วนผสมของยา เช่น รากตาล รากมะพร้าว และรากหมาก เป็นต้น นอกจากนี้พืชวงศ์ปาล์มเป็นที่นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ดอกไม้ประดับตามสถานที่ต่าง ๆ เช่น ตาลฟ้า ปาล์มแซมเปญ สิบสองปันนา และเต่าร้าง เป็นต้น^{5, 6}

ในการศึกษาทางด้านอนุกรมวิธานพืชวงศ์ปาล์มจะใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นหลัก บางครั้งการจำแนกพืชที่มีความใกล้เคียงกันโดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอหรือทำให้เกิดความสับสนในการระบุชื่อวิทยาศาสตร์ในระดับสกุลหรือชนิด โดยเฉพาะกลุ่มพืชที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน เช่น การศึกษาของ Henderson and Bacon⁷ ได้ศึกษาพืชสกุล *Lanonia* ซึ่งเป็นสกุลใหม่ในพืชวงศ์ปาล์มโดยแยกออกมาจากสกุล *Licuala* โดยพบว่าทั้งสองสกุลมีลักษณะทั่วไปที่คล้ายกันซึ่งทั้งสองสกุลจะแยกออกจากกันโดยใช้เส้นกลางใบที่ขยายมาจากส่วนของก้านใบจะเห็นได้ชัดบริเวณผิวใบด้านล่างที่เรียกว่า *costa* ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญในการใช้ลักษณะดังกล่าวในการแยกทั้งสองสกุล นอกจากนี้ในปัจจุบันการศึกษานุกรมวิธานของพืชวงศ์ปาล์มได้นำข้อมูลด้านต่าง ๆ มาประกอบการจัดจำแนกทั้งข้อมูลด้านกายวิภาคศาสตร์ เช่น การศึกษาของ Barfod⁸ ข้อมูลทางด้านชีวโมเลกุล เช่น การศึกษาของ Dransfield et al.⁹ และข้อมูลด้านสัณฐานวิทยาเรณูซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการศึกษานุกรมวิธานของพืชวงศ์ปาล์ม เช่น Sowunmi¹⁰ ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาเรณูของพืชวงศ์ปาล์มจำนวน 350 ชนิด และนำข้อมูลทางด้านสัณฐานวิทยาเรณูมาจัดจำแนกพืชวงศ์ปาล์มออกเป็นกลุ่ม พบว่าเรณูมีขนาด 20-75 ไมโครเมตร รูปร่างส่วนใหญ่เป็นแบบ elliptic ช่องเปิดโดยทั่วไปเป็นช่องเปิดยาว (colpus) และมีลวดลายบนผนังชั้นนอก

ชั้นที่หลากหลายได้แก่ punctate, reticulate, vermiculate, verrucose, psilate, clavate, baculate หรือ spinulose ซึ่งนำข้อมูลที่ได้นำมาประกอบการจำแนกพืชวงศ์ปาล์มตามระบบการจัดจำแนกของนักพฤกษศาสตร์หลายท่าน อาทิเช่น Burret¹¹, Hutchinson¹² และ Moore¹³ เป็นต้น โดยพบว่าข้อมูลทางด้านเรณูไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาคศาสตร์ และข้อมูลทางด้านเซลล์วิทยาในการจัดจำแนกวงศ์ย่อย (subfamily) Arecoideae, Borassoideae และ Cocoideae ออกเป็นกลุ่มย่อย (subgroup) และยังมีรายงานสัณฐานวิทยาเรณูเพื่อมาประกอบการจำแนกภายในวงศ์หรือลักษณะที่สำคัญซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาด้านอนุกรมวิธานของพืชวงศ์ปาล์ม พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาเรณูที่สำคัญของพืชวงศ์ปาล์มคือ เรณูขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ (10-100 ไมโครเมตร) โดยส่วนใหญ่จะไม่มีสมมาตรหรืออาจจะพบมีสมมาตรด้านข้าง ช่องเปิดมีรายงานไว้มากกว่า 17 แบบ เช่น monosulcate, disulcate, trichotomosulcate, zonosulcate หรืออาจจะไม่มีช่องเปิด แต่รายงานส่วนใหญ่เรณูของพืชวงศ์ปาล์มจะมีช่องเปิดแบบ monosulcate ลวดลายผนังชั้นนอกซึ่งมีความหลากหลายได้แก่ punctate, perforate, reticulate, negatively reticulate, vermiculate, verrucose, psilate, clavate, baculate, spinulose หรือ อาจจะพบลวดลายผนังชั้นนอกซึ่งหลายแบบใน 1 เรณู เช่น ลวดลายผนังเรณูแบบ perforate หรือ rugulate ใน *Wodyetia bifurcata*¹⁴⁻²¹ ในการศึกษาของ Harley and Dransfield²² ที่บ่งบอกว่าช่องเปิดของเรณูไม่ได้มีเฉพาะช่องเปิดยาว ซึ่งพบช่องเปิดแบบ 3 ช่องเปิดกลม ในวงศ์ย่อย Arecoideae ในสกุล *Areca* และ *Sclerosperma* บางชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพืชวงศ์ปาล์มจะมีเพียง 1 ช่องเปิดยาว ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบช่องเปิดแบบเป็นวงรอบเรณู (zonosulcate) ในสกุล *Areca* เช่น *A. abdulhamanii* และ *A. chaiana*

จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าลักษณะของเรณูสามารถนำมาช่วยในการจัดจำแนกในลำดับทางอนุกรมวิธานทั้งในระดับวงศ์ย่อย สกุล หรือชนิดได้เนื่องจากเรณูมีความหลากหลายของโครงสร้างผนังชั้นนอกซึ่ง ลวดลาย จำนวนช่องเปิด สมมาตร ขนาด และรูปร่าง นอกจากนี้สัณฐานวิทยาเรณูสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับงานด้านธรณีวิทยา โบราณคดี นิเวศวิทยา การวิเคราะห์น้ำผึ้ง และการศึกษาทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพราะโครงสร้างของผนังเรณูทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ เช่น อุณหภูมิสูง กรด และด่าง เป็นต้น ทำให้สามารถคงสภาพได้เป็นเวลานาน^{14, 23, 24} ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้านี้ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของเรณูของพืชวงศ์ปาล์มบางชนิด เนื่องจากยังไม่มีรายงานการศึกษา

สัณฐานวิทยาของพืชวงศ์ปาล์มในประเทศไทยมาก่อน คาดว่าการศึกษาครั้งนี้จะสามารถนำข้อมูลทางด้านสัณฐานวิทยาเรณูมาใช้ในการระบุชนิด และมีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ศึกษาสัณฐานวิทยาเรณูของพืชวงศ์ปาล์ม 12 ชนิด ดัง Table 1 ซึ่งพรรณไม้อ้างอิงจะถูกเก็บรักษาไว้ที่ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ศึกษาสัณฐานวิทยาเรณูโดยประยุกต์วิธีอะซีโตไลซิสของ Erdtman²⁵ โดยนำอับเรณูของพืชวงศ์ปาล์มมารักษาสภาพในเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำอับเรณูใส่ในหลอดแก้ว (centrifuge tube) เติมน้ำเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้แท่งแก้วคนบดให้อับเรณูแตก นำไปกรองด้วยถ้วยกรองแล้วใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ล้างตามนำส่วนที่กรองได้ใส่ในหลอดแก้ว แล้วดึงน้ำออก (dehydrate) โดยเติมน้ำเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70, 95, และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเทส่วนบนทิ้งบางส่วน แบ่งส่วนที่เหลือออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเทเอทิลแอลกอฮอล์ 100 เปอร์เซ็นต์ ออกให้หมด แล้วเติมน้ำมันเบนซิน (benzene) จากนั้นเขย่า แล้วเทส่วนบนทิ้งบางส่วน เติมน้ำมันซิลิโคน (silicon oil) คนให้เข้ากันปิดฝาอย่างหลวม ๆ ทิ้งไว้ข้ามคืน นำไปผึ่ง

ทำเป็นสไลด์กึ่งถาวร โดยการใช้พาราฟิน (paraffin) หลอมแล้วปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์ ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยจะสังเกตด้านมุมบน (polar view) วัดขนาดเรณูจำนวน 30 เม็ดต่อ 1 ชนิด โดยวัดความยาวแกนด้านยาว (long axis) และความยาวแกนด้านสั้น (short axis) เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน บันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรุ่น Axio Lab A1 เพื่อศึกษาซ้ำ สมมาตร รูปร่าง ขนาดเรณู จำนวนและชนิดของช่องเปิด ส่วนที่สองเก็บในแอลกอฮอล์ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขวดไวแอล (vial) แล้วนำตัวอย่างเรณูที่ได้มาติดบนแท่นติดตัวอย่าง (stub) นำไปเคลือบทอง แล้วนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น JEOL: JSM 8460 LV เพื่อศึกษาลักษณะของช่องเปิดและลวดลายบนผนังเรณู ระบุชนิดพืชวงศ์ปาล์มตามหนังสือ Flora of Thailand 2013 vol. 11 part 3 ของ Barford and Dransfield⁴ และคู่มือปาล์มประดับของ ปิยะ เฉลิมกลิ่น⁶ รูปร่างของเรณูประยุกต์ใช้ตามวิธีของ Harley and Dransfield²² โดยใช้ค่าเฉลี่ยความยาวแกนด้านยาวหารด้วยค่าเฉลี่ยความยาวแกนด้านสั้น ขนาดของเรณูจำแนกตามวิธีการของ Erdtman¹⁴ โดยใช้ความยาวแกนด้านที่ยาวที่สุด ค่าศัพท์เรณูใช้ตาม Punt et al.

Table 1 List of Arecaceae species in present study.

Species	Local name	Locations	Collection numbers
1. <i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc.	ปาล์มนวล	Mahasarakham Province	Rakarcha 81
2. <i>Bismarckia nobilis</i> Hildebr. & H.Wendl.	ตาลฟ้า	Kalasin Province	Rakarcha 82
3. <i>Borassus flabellifer</i> L.	ตาล	Mahasarakham Province	Rakarcha 83
4. <i>Calamus caesius</i> Blume	หวาย	Udonthani Province	Rakarcha 84
5. <i>Cocos nucifera</i> L.	มะพร้าว	Mahasarakham Province	Rakarcha 85
6. <i>Dypsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	หมากเหลือง	Mahasarakham Province	Rakarcha 86
7. <i>Hyophorbe lagenicaulis</i> (L.H.Bailey) H.E.Moore	ปาล์มแชมเปญ	Udonthani Province	Rakarcha 87
8. <i>Livistona chinensis</i> (Jacq.) R.Br. ex Mart.	ปาล์มจีน	Mahasarakham Province	Rakarcha 88
9. <i>Phoenix dactylifera</i> L.	อินทผลัม	Mahasarakham Province	Rakarcha 89
10. <i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	ปาล์มสิบสองปันนา	Chaiyaphum Province	Rakarcha 90
11. <i>Washingtonia robusta</i> H.Wendl.	ปาล์มเปิดดีโก้	Mahasarakham Province	Rakarcha 91
12. <i>Wodyetia bifurcata</i> A.K.Irvine	ปาล์มฟอกสีเทล	Mahasarakham Province	Rakarcha 92

ผลการศึกษา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาเรณูของพืชวงศ์ปาล์มบางชนิด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าพืชดังกล่าวมีลักษณะทั่วไป

คือ เป็นเม็ดเดี่ยว (monad) สมมาตรแบบด้านข้าง (bilateral symmetry) ช่องเปิดยาว 1 ช่อง (monosulcate) และรายละเอียดในแต่ละชนิดจะกล่าวดังต่อไปนี้ (Table 2 และ Figures 1-3)

ขนาด (size)

เรณูที่ศึกษาในครั้งนี้มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ (10-100 ไมโครเมตร) โดยพืชที่นำมาศึกษาโดยส่วนใหญ่เรณูมีขนาดกลางได้แก่ *Borassus flabellifer*, *Dypsis lutescens*, *Hyophorbe lagenicaulis* และ *Livistona chinensis* ส่วน *phoenix dactylifera* และ *P. roebelenii* เรณูมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบขนาดเรณู 2 ขนาดปะปนกันในพืชที่ทำการศึกษาได้แก่ *Bismarckia nobilis*, *Calamus caesius* และ *Washingtonia robusta* พบเรณูขนาดเล็กและเรณูขนาดกลาง *Adonidia merrillii*, *Cocos nucifera* และ *Wodyetia bifurcata* พบเรณูขนาดกลางและเรณูขนาดใหญ่ ความยาวของแกนด้านยาว 20.10 ไมโครเมตร ใน *Phoenix roebelenii* ถึง 55.66 ไมโครเมตร ใน *Wodyetia bifurcata* ความยาวของแกนด้านสั้น 17.86 ไมโครเมตร ใน *Phoenix dactylifera* ถึง 44.25 ไมโครเมตร ใน *Cocos nucifera*

รูปร่าง (shape)

รูปร่างของเรณูแบ่งตามอัตราส่วนระหว่างความยาวของแกนด้านยาวต่อความยาวของแกนด้านสั้นเมื่อสังเกตในมุมมอง พบรูปร่างของเรณู 3 รูปร่างดังต่อไปนี้

รูปร่างเรณูแบบ elliptic-circular ($La/Sa = 1.01-1.13$) พบใน *Adonidia merrillii* (Figure 1a-b), *Borassus flabellifer* (Figure 1g-h), *Cocos nucifera* (Figure 2a-b), *Livistona chinensis* (Figure 2j-k), *Phoenix roebelenii* (Figure 3d-e) และ *Washingtonia robusta* (Figure 3g-h)

รูปร่างเรณูแบบ subelliptic ($La/Sa = 1.14-1.32$) พบใน *Calamus caesius* (Figure 1j-k), *Dypsis lutescens* (Figure 2d-e), *Hyophorbe lagenicaulis* (Figure 2g-h) และ *Phoenix dactylifera* (Figure 3a-d)

รูปร่างเรณูแบบ elliptic ($La/Sa = 1.33-2.00$) พบใน *Bismarckia nobilis* (Figure 1d-e) และ *Wodyetia bifurcata* (Figure 3j-k)

ช่องเปิด (Aperture)

ช่องเปิดของพืชวงศ์ปาล์มทั้งหมดที่ศึกษาเป็นแบบ monosulcate ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเปิดเดี่ยวที่ยาวอยู่บริเวณ distal ของเรณู มีความยาวของช่องเปิดตั้งแต่ 14.37 ไมโครเมตร ใน *Phoenix roebelenii* ถึง 43.56 ไมโครเมตร ใน *Cocos nucifera* ผิวของช่องเปิดส่วนใหญ่จะขรุขระ ยกเว้น *Cocos*

nucifera (Figure 2b), *Hyophorbe lagenicaulis* (Figure 2h) และ *Livistona chinensis* (Figure 2k) ที่ผิวของช่องเปิดจะเรียบอย่างเห็นได้ชัดเจน

ลวดลายของผนังชั้นเอกซัน (Exine sculpturing)

ผนังเรณูของพืชวงศ์ปาล์มที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีความหนาตั้งแต่ 1.64 ไมโครเมตร ใน *Calamus caesius* ถึง 2.62 ไมโครเมตร ใน *Washingtonia robusta* ลวดลายของผนังชั้นเอกซันสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 แบบ

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 1 คือ punctate ลวดลายที่ผิวของเรณูรูปร่างกลมหรือเป็นเส้นยาวโดยมีความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องที่อยู่บนผนังเรณูมีขนาดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ประกอบด้วย *Adonidia merrillii* (Figure 1c), *Cocos nucifera* (Figure 2c) และ *Livistona chinensis* (Figure 2l)

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 2 คือ regulate ซึ่งมีลักษณะของผนังเรณูเป็นเส้นยาวมีความยาวมากกว่า 1 ไมโครเมตร และจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ พบเฉพาะใน *Bismarckia nobilis* (Figure 1f)

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 3 คือ reticulate ซึ่งผนังเรณูมีลักษณะเหมือนตาข่าย มีรูหรือช่องกว้างมากกว่า 1 ไมโครเมตร พบใน *Phoenix actylifera* (Figure 3c), *P. roebelenii* (Figure 3f) และ *Washingtonia robusta* (Figure 3i)

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 4 คือ punctate-granulate ซึ่งมีลักษณะผิวโดยทั่วไปเป็นแบบ punctate แต่ที่ผิวมีแกรนูล (granulate) เป็นตุ่มโค้งมน พบเฉพาะใน *Borassus flabellifer* (Figure 1i)

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 5 คือ reticulate-granulate ซึ่งมีลักษณะผิวโดยทั่วไปเป็นแบบ reticulate แต่ที่ผิวบริเวณช่องมีแกรนูลเป็นตุ่มโค้งมน พบเฉพาะใน *Calamus caesius* (Figure 1l)

ลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบที่ 6 คือ perforate มีลักษณะคือผิวเรณูมีรูที่ผิว ขนาดของรูมีความกว้างน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร พบใน *Dypsis lutescens* (Figure 2f), *Hyophorbe lagenicaulis* (Figure 2i) และ *Wodyetia bifurcata* (Figure 3l)

Table 2 Pollen morphological characters of Arecaceae.

La = long axis, Sa = short axis, La/Sa = long axis/short axis, Et = exine thickness, Cl = colpus length

Species	La (μm)	Sa (μm)	La/Sa	Et (μm)	Cl (μm)
1. <i>Adonidia merrillii</i>	40.00-52.50 (46.83 \pm 3.76)	37.50-52.50 (43.58 \pm 3.75)	1.07	1.66-2.71 (2.08 \pm 0.34)	23.95-29.16 (26.65 \pm 2.19)
2. <i>Bismarckia nobilis</i>	25.00-37.50 (31.33 \pm 3.26)	17.50-30.00 (23.17 \pm 3.00)	1.35	1.65-2.90 (2.21 \pm 0.36)	20.75-28.95 (25.09 \pm 3.34)
3. <i>Borassus flabellifer</i>	35.00-45.00 (39.92 \pm 2.58)	30.00-45.00 (37.93 \pm 3.29)	1.05	1.27-2.88 (2.01 \pm 0.44)	20.65-36.25 (28.18 \pm 6.13)
4. <i>Calamus caesius</i>	22.50-32.50 (26.58 \pm 2.22)	10.00-27.5 (23.05 \pm 3.05)	1.15	1.00-2.21 (1.64 \pm 0.43)	19.87-25.71 (22.49 \pm 2.27)
5. <i>Cocos nucifera</i>	42.50-52.50 (46.92 \pm 3.06)	37.50-50.00 (44.25 \pm 2.80)	1.06	1.32-2.29 (1.67 \pm 0.35)	39.08-47.61 (43.56 \pm 2.89)
6. <i>Dypsis lutescens</i>	30.00-37.50 (34.50 \pm 2.89)	25.00-35.00 (29.67 \pm 1.94)	1.16	1.61-2.55 (2.15 \pm 0.27)	25.00-38.00 (32.65 \pm 4.85)
7. <i>Hyophorbe lagenicaulis</i>	30.00-42.50 (35.50 \pm 2.58)	25.00-37.50 (29.42 \pm 3.12)	1.21	1.81-2.70 (2.26 \pm 0.34)	26.31-35.42 (31.04 \pm 3.82)
8. <i>Livistona chinensis</i>	32.50-50.00 (41.08 \pm 3.98)	30.00-47.50 (38.75 \pm 3.76)	1.06	1.90-2.63 (2.24 \pm 0.27)	31.58-42.58 (37.24 \pm 3.98)
9. <i>Phoenix dactylifera</i>	16.78-24.95 (21.17 \pm 2.73)	15.00-23.75 (17.86 \pm 2.37)	1.19	1.56-2.57 (2.01 \pm 0.38)	17.75-20.15 (19.30 \pm 1.03)
10. <i>Phoenix roebelenii</i>	15.50-25.00 (20.10 \pm 1.87)	17.50-22.50 (18.92 \pm 1.93)	1.06	1.15-2.16 (1.65 \pm 0.30)	12.96-16.35 (14.37 \pm 1.59)
11. <i>Washingtonia robusta</i>	22.50-27.50 (24.87 \pm 1.61)	20.00-27.50 (22.33 \pm 2.36)	1.11	2.21-3.63 (2.62 \pm 0.48)	16.35-21.75 (18.87 \pm 1.93)
12. <i>Wodyetia bifurcata</i>	50.00-60.00 (55.66 \pm 3.47)	32.50-45.00 (37.92 \pm 3.35)	1.47	1.15-2.78 (1.92 \pm 0.49)	27.66-35.93 (30.74 \pm 3.39)

Table 2 Pollen morphological characters of Arecaceae. (continue)

Species	Shape	Symmetry	Size	Exine sculpturing
1. <i>Adonidia merrillii</i>	elliptic-circular	bilateral	medium-large	punctate
2. <i>Bismarckia nobilis</i>	elliptic	bilateral	small-medium	rugulate
3. <i>Borassus flabellifer</i>	elliptic-circular	bilateral	medium	granulate-punctate
4. <i>Calamus caesius</i>	subelliptic	bilateral	small-medium	granulate-reticulate
5. <i>Cocos nucifera</i>	elliptic-circular	bilateral	medium-large	punctate
6. <i>Dypsis lutescens</i>	subelliptic	bilateral	medium	perforate
7. <i>Hyophorbe lagenicaulis</i>	subelliptic	bilateral	medium	perforate
8. <i>Livistona chinensis</i>	elliptic-circular	bilateral	medium	punctate
9. <i>Phoenix dactylifera</i>	subelliptic	bilateral	small	reticulate
10. <i>Phoenix roebelenii</i>	elliptic-circular	bilateral	small	reticulate
11. <i>Washingtonia robusta</i>	elliptic-circular	bilateral	small-medium	reticulate
12. <i>Wodyetia bifurcata</i>	elliptic	bilateral	medium-large	perforate

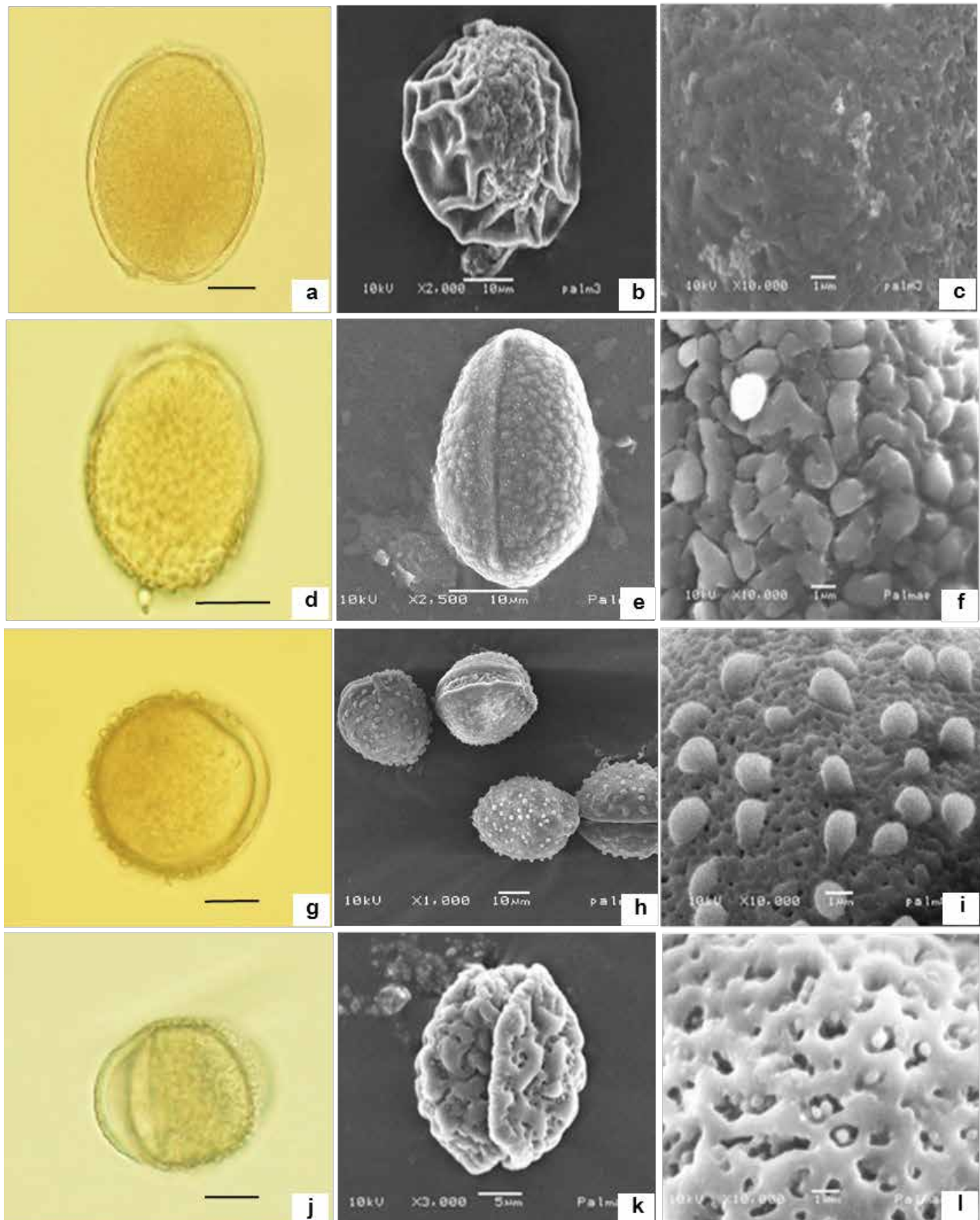


Figure 1 Light micrographs of pollen grains in species of Arecaceae: *Adonidia merrillii* (a), *Bismarckia nobilis* (d), *Borassus flabellifer* (g), *Calamus caesius* (j) (scale bars: a, d, g, j = 10 μ m). Scanning electron micrograph (SEM) of pollen grain in species of Arecaceae: *Adonidia merrillii* (b-c), *Bismarckia nobilis* (e-f), *Borassus flabellifer* (h-i), *Calamus caesius* (k-l) (polar view b, e, h and k; exine pattern c, f, i and l).

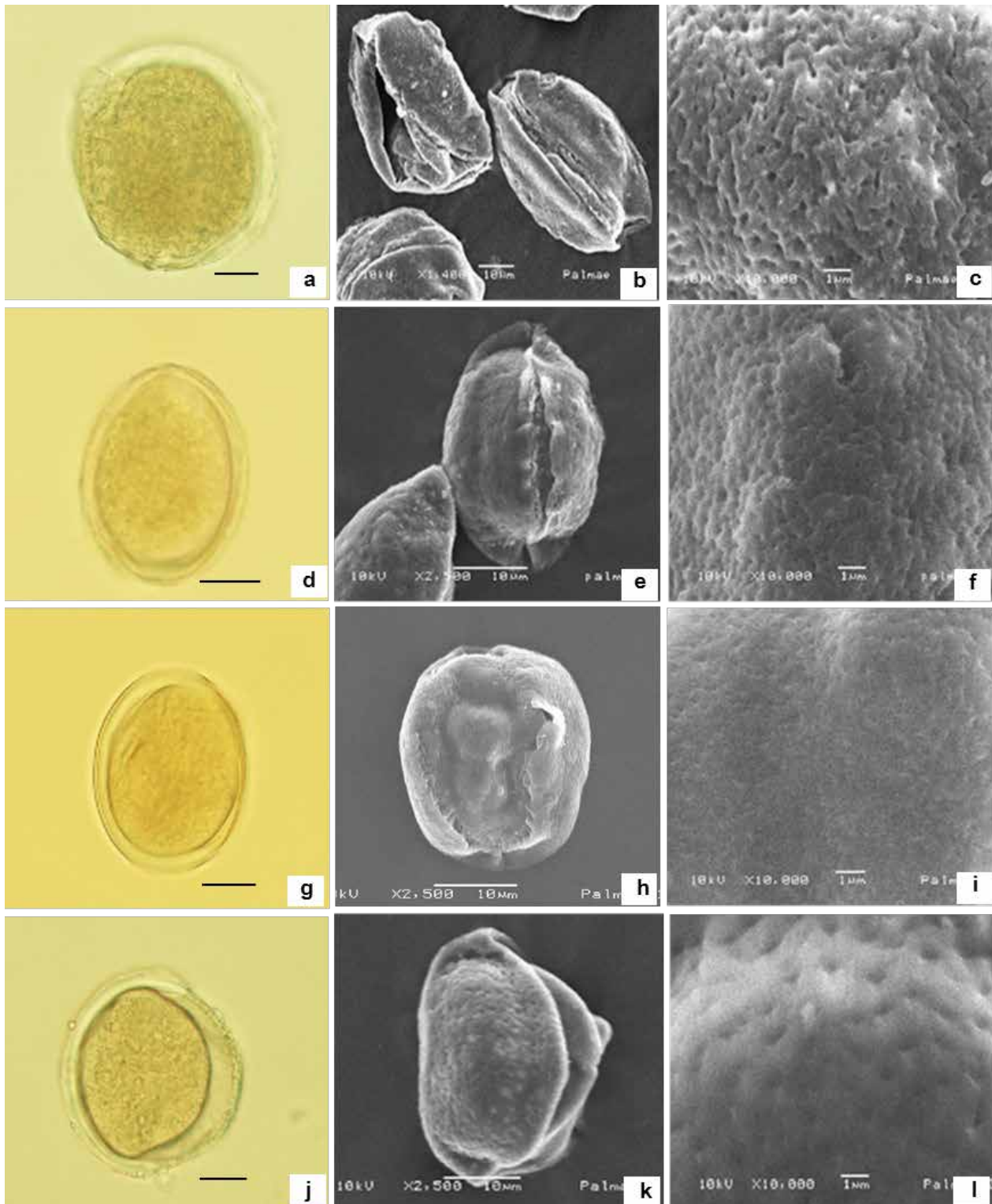


Figure 2 Light micrographs of pollen grains in species of Arecaceae: *Cocos nucifera* (a), *Dypsis lutescens* (d), *Hyophorbe lagenicaulis* (g), *Livistona chinensis* (j) (scale bars: a, d, g, j = 10 μ m). Scanning electron micrograph (SEM) of pollen grain in species of Arecaceae: *Cocos nucifera* (b-c), *Dypsis lutescens* (e-f), *Hyophorbe lagenicaulis* (h-i), *Livistona chinensis* (k-l) (polar view b, e, h and k; exine pattern c, f, i and l).

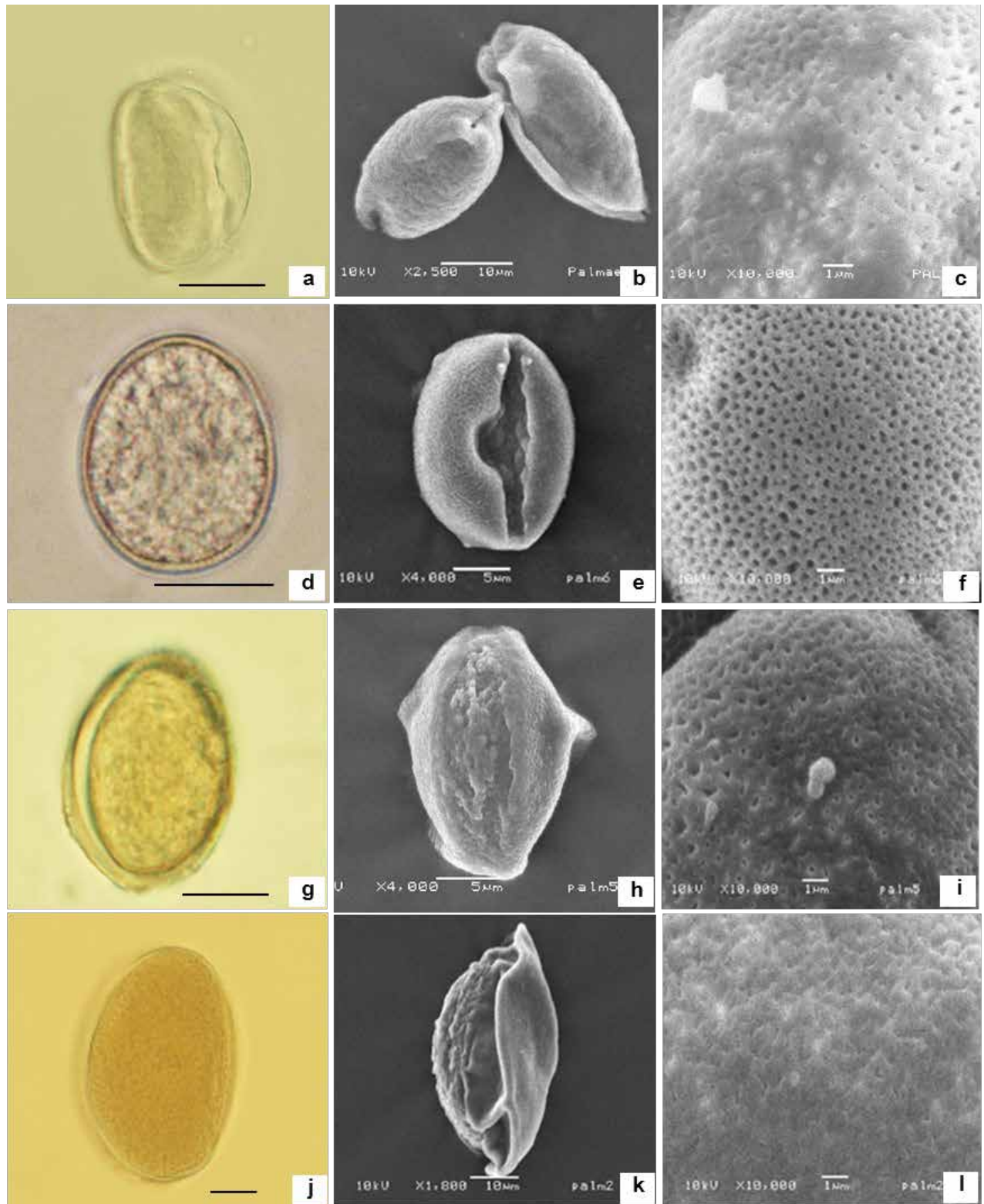


Figure 3 Light micrographs of pollen grains in species of Arecaceae: *Phoenix dactylifera* (a), *P. roebelenii* (d), *Washingtonia robusta* (g), *Wodyetia bifurcata* (j) (scale bars: a, d, g, j = 10 µm). Scanning electron micrograph (SEM) of pollen grain in species of Arecaceae: *Phoenix dactylifera* (b-c), *P. roebelenii* (e-f), *Washingtonia robusta* (h-i), *Wodyetia bifurcata* (k-l) (polar view b, e, h and k; exine pattern c, f, i and l).

วิจารณ์และสรุปผล

รูปร่างของเรณูพืชวงศ์ปาล์มโดยส่วนใหญ่จะรายงานจากอัตราส่วนระหว่างความยาวแกนด้านยาวต่อความยาวแกนด้านสั้นจากการสังเกตด้านมุมบน ซึ่งจะแตกต่างจากพืชใบเลี้ยงคู่โดยทั่วไปที่นิยมศึกษารูปร่างเรณูจากการสังเกตด้านข้างได้แก่รายงานของ Sowunmi¹⁰ Soliman and Al-Obeed¹⁸ Rasheed et al.²¹ และ Harley and Dransfield²² รวมถึงการศึกษาในครั้งนี้ด้วย เนื่องจากเป็นด้านที่สังเกตได้ง่ายและเห็นได้อย่างชัดเจนในพืชวงศ์ปาล์มโดยมักจะเห็นรูปร่างของเรณูเป็นแบบรูปไข่ (elliptic) จนถึงรูปร่างกลม (circular) และยังมี การรายงานรูปร่างของเรณูจากการสังเกตด้านข้างโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างความยาวตามแนวแกนขั้ว (polar axis, P) ต่อความยาวตามแนวแกนศูนย์ (equatorial axis, E) โดยส่วนใหญ่แล้วรูปร่างเรณูของพืชวงศ์ปาล์มในมุมนี้จะมีรูปร่างแบบ oblate ซึ่งความยาวตามแนวแกนขั้วจะน้อยกว่าความยาวตามแนวแกนศูนย์อย่างชัดเจน (P/E ไม่ถึง 1.00) เช่น รายงานของ Barfod¹⁵ และ Rasheed and Perveen¹⁹ ขนาดของเรณูในการศึกษาในครั้งนี้เรณูของพืชวงศ์ปาล์มมีขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่โดยมีความยาวของด้านที่ยาวมากที่สุดตั้งแต่ 10-100 ไมโครเมตร และจากรายงานการศึกษาที่ผ่านมา เช่น Sowunmi¹⁰ ไม่นำเอาขนาดเรณูมาจัดจำแนกพืชวงศ์ปาล์ม เนื่องจากปริมาณดังกล่าวเป็นช่วงที่กว้าง เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ที่แสดงให้เห็นว่าขนาดไม่เหมาะต่อการนำมาจัดจำแนก เช่น *Adonidia merrillii* มีความยาวแกนด้านสั้นตั้งแต่ 37.50 ถึง 52.50 ไมโครเมตร ซึ่งจะพบทั้งเรณูที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่

ช่องเปิดของพืชวงศ์ปาล์มมีความหลากหลายอาจจะมีมากกว่า 17 แบบ ตามรายงานของ Harley and Baker¹⁷ ที่ รายงานว่าช่องเปิดของพืชวงศ์ปาล์มมี 17 แบบ ได้แก่ symmetric monosulcate, asymmetric monosulcate, extended monosulcate, brevi monosulcate, equatorial disulcate, distal disulcate, symmetric trichotomosulcate, asymmetric trichotomosulcate, symmetric monoporate, asymmetric monoporate, equatorial diporate, sub-equatorial diporate, apical triporate, sub-apical triporate, incomplete zonosulcate, zonosulcate และ ไม่มีช่องเปิด แต่โดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นแบบ sulcate แต่ลักษณะและจำนวนของช่องเปิดอาจจะแตกต่างกันไป เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าเรณูของพืชวงศ์ปาล์มมี 1 ช่องเปิดยาวตามแนวแกนขั้วเพียงลักษณะเดียวโดยผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Sowunmi¹⁰, Erdtman¹⁴, Barfod¹⁵, Ambwani and Kumar¹⁶, Soliman and Al-Obeed¹⁸, Mourelle et al.²⁰ และ Rasheed

et al.²¹ ที่รายงานว่าพืชวงศ์ปาล์มส่วนใหญ่มีช่องเปิดยาว 1 ช่องตามแกนแนวขั้ว ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของพืชวงศ์ปาล์ม แต่การศึกษาของ Rasheed and Perveen¹⁹ ชี้ให้เห็นว่าช่องเปิดในสกุล *Phoenix* ทั้ง 3 ชนิดที่ศึกษามีช่องเปิดแบบ monocolpate ซึ่ง Punt et al.²⁶ ชี้ให้เห็นว่าช่องเปิดแบบ sulcate และ colpate มีลักษณะเป็นช่องเปิดที่ยาวเหมือนกันแต่ต่างที่แนวการจัดเรียงตัว ในการศึกษาในครั้งนี้ยืนยันว่าช่องเปิดของสกุล *Phoenix* เป็นแบบ sulcate นอกจากนี้ยังพบรายงานลักษณะของช่องเปิดแบบอื่นในพืชวงศ์ปาล์ม โดย Erdtman¹⁴ และ Sowunmi¹⁰ รายงานช่องเปิดแบบ trichotomosulcate ในพืชวงศ์ปาล์มหลายชนิด เช่น *Acanthorhiza mocini*, *Pinanga javana* และ *Ravenea robustior* และพบช่องเปิดแบบ 2-sulcate ใน *Calamus guruba* Harley and Dransfield²² รายงานว่าพบช่องเปิดแบบ triporate หรือ zonosulcate ซึ่งพบได้เฉพาะในสกุล *Areca* ชั้น *Microareca* ส่วนสกุล *Areca* ในชนิดอื่น ๆ ช่องเปิดยังคงเป็นแบบ monosulcate ซึ่ง Harley and Dransfield²² ตั้งสมมุติฐานว่าช่องเปิดแบบ triporate ที่พบในพืชวงศ์ปาล์มอาจจะถูกพัฒนามาจากช่องเปิดแบบ monosulcate จากนั้นพัฒนามาเป็นช่องเปิดแบบ trichotomosulcate ซึ่งมีความสัมพันธ์กับช่องเปิดแบบ triporate และ monosulcate

นอกจากนี้ลักษณะสำคัญที่นำมาใช้ในการจัดจำแนกพืชวงศ์ปาล์มคือลวดลายผนังชั้นเอกซันในการศึกษาในครั้งนี้พบลวดลายของผนังเอกซัน 6 แบบ ได้แก่ punctate, perforate, regulate, reticulate, punctate-granulate และ reticulate-granulate สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าลวดลายบนผนังชั้นเอกซันในพืชวงศ์ปาล์มมีความหลากหลาย ได้แก่ reticulate, scrobiculate, muri simpli-baculate, verrucose-reticulate, spinulose-reticulate, spinose-reticulate, punctate, vermiculate, spinulose, psilate, baculate, perforate และอื่น ๆ^{10, 14-22} ในการศึกษาในครั้งนี้ *Livistona chinensis* พบลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบ punctate ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Sowunmi¹⁰ ที่รายงานว่าลวดลายของผนังชั้นเอกซันของ *L. chinensis* เป็นแบบ reticulate และ baculate จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ รายงานลวดลายของผนังชั้นเอกซันในพืชวงศ์ปาล์มว่าสามารถพบลวดลายบนผนังชั้นเอกซันมากกว่า 1 แบบในพืช 1 ชนิดได้ เช่น *Ptychosperma elegans* มีลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบ reticulate หรือ finely perforate-regulate²¹ *Phoenix dactylifera* มีลวดลายบนผนังชั้นเอกซันแบบ reticulate หรือ irregular¹⁸ และยังมีรายงานการพบลวดลายบนผนังชั้นเอกซันหลายแบบในพืชชนิดเดียว อีกหลายชนิดในพืชวงศ์ปาล์ม¹⁰

จากผลการศึกษาศักฐานวิทยาเรณูของพืชวงศ์ปาล์ม ทั้ง 12 ชนิด พบว่าสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประกอบการจัด จำแนกพืชวงศ์ปาล์มโดยใช้ลักษณะรูปร่าง ลวดลายผนังชั้น เอ็กซิน และผิวบริเวณช่องเปิด ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มที่มีรูปร่างเรณูแบบ elliptic ในกลุ่มนี้ สามารถที่จะบ่งบอกถึงชนิดได้ซึ่งประกอบไปด้วยพืช 2 ชนิด ดังนี้ *Bismarckia nobillis* จะมีลวดลายบนผนังชั้นเอ็กซินแบบ regulate ส่วน *Wodyetia bifurcata* จะมีลวดลายบนผนังชั้น เอ็กซินแบบ perforate

2. กลุ่มที่มีรูปร่างเรณูแบบ subelliptic ในกลุ่มนี้ สามารถที่จะบ่งบอกถึงชนิดได้ซึ่งประกอบไปด้วยพืช 4 ชนิด ดังนี้ *Calamus caesius* มีลวดลายบนผนังชั้นเอ็กซินแบบ reticulate-granulate *Phoenix dactylifera* มีลวดลายบนผนัง ชั้นเอ็กซินแบบ reticulate ส่วน *Dypsis lutescens* และ *Hyophorbe lagenicaulis* มีลวดลายบนผนังชั้นเอ็กซินแบบ perforate แต่พืชทั้งสองชนิดนี้สามารถแยกออกจากกันได้โดย *Dypsis lutescens* ผิวของผนังช่องเปิดเรณูขรุขระ ในขณะที่ *Hyophorbe lagenicaulis* ผิวของผนังช่องเปิดเรณูเรียบ

3. กลุ่มที่มีรูปร่างเรณูแบบ elliptic-circular ในกลุ่ม นี้จะสามารถระบุชนิดได้เพียงบางชนิดเท่านั้น ดังนี้ *Borassus flabellifer* มีลวดลายบนผนังชั้นเอ็ก ซินแบบ punctate-granulate *Phoenix roebelenii* และ *Washingtonia robusta* มีลวดลายบนผนังชั้นเอ็ก ซินแบบ reticulate ส่วน *Adonidia merrillii*, *Cocos nucifera* และ *Livistona chinensis* มีลวดลาย บนผนังชั้นเอ็กซินแบบ punctate ในกลุ่มนี้ *Adonidia merrillii* จะแยกออกจากชนิดอื่นโดยผิวบริเวณช่องเปิดที่มีลักษณะ ขรุขระ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้าน วิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ คุณเบญจพร ภูกาบหิน ที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ปิฎฐะ บุณนาค. ปาล์ม. กรุงเทพฯ: กรุงธน; 2524.
2. ก่องกานดา ชยามฤต. ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ 3. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ ป่าไม้และพันธุ์พืช, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์ พืช; 2551.

3. Dransfield J, Uhl NW. Palmae. In Kubitzki K, editor. Families and genera of vascular plants: Flowering plants Monocotyledons. Berlin: Springer-Verlag; 1998. P. 306–389.
4. Barfod AS, Dransfield J. Arecaceae. In Santisuk T, Larsen K, editors. Flora of Thailand Volume 11 part 3. Bangkok: The Tistr Press; 2013.
5. พูนศักดิ์ วัชรการ. ปาล์มและปรงในป่าไทย. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน; 2548.
6. ปิยะ เฉลิมกลิ่น. คู่มือปาล์มประดับ. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน; 2550.
7. Henderson AJ, Bacon CD. *Lanonia* (Arecaceae: Palmae), a New Genus from Asia, with a Revision of the Species. Sys Bot 2011; 36(4): 883-895.
8. Barfod A. Leaf anatomy and its taxonomic significance in phytelephantoid palms (Arecaceae). Nord J Bot 1900; 8(4): 341-348.
9. Dransfield J, Uhl NW, Asmussen CB, Baker WJ, Harley MM, Lewis CE. A new phylogenetic classification of the palm family, Arecaceae. Kew Bulletin 2005; 60: 559-569.
10. Sowunmi MA. Pollen morphology in the Palmae and its bearing on taxonomy. Rev Palaeobot Palyno 1972; 13(1): 1-80.
11. Burret M. Key of the family Palmae. Willdenovia 1953; 1: 59-74.
12. Hutchinson J. The families of flowering plants. Vol. II. Monocotyledons. Oxford: Clarendon Press; 1959.
13. Moore HE. Botany and classification of palms. Am Hort Mag 1961; 40(1): 17-26.
14. Erdtman G. Pollen morphology and plant taxonomy-angiosperm. New York: Hafner publishing company; 1966.
15. Barfod A. Pollen morphology of *Ammandra*, *Palandra* and *Phytelephas* (Arecaceae). Grana 1988; 27: 239-242.
16. Ambwani K, Kumar M. Pollen morphology of the coryphoid genus *Licuala* (Palmae). Grana 1993; 32: 164-168.
17. Harley MM, Baker Wj. Pollen aperture morphology in Arecaceae: Application within phylogenetic analyses, and a summary of record of palm-like pollen the

- fossil. Grana 2001; 40: 45-77.
18. Soliman SS, Al-Obeed RS. Investigations on the pollen morphology of some date palm males (*Phoenix dactylifera* L.) in Saudi Arabia. Aust J Crop Sci 2013; 7(9): 1355-1360.
 19. Rasheed A, Perveen A. Pollen morphology of some native and cultivated species of the genus *Phoenix* L. from Pakistan and Kashmir. Int J Biol Biotech 2014; 11(4): 611-615.
 20. Mourelle D, Gaiero P, Speroni G, Millan C, Gutierrez L, Mazzella C. Comparative pollen and Viability among Endangered Species of *Butia* (Arecaceae) and Its Implications for Species Delimitation and conservation. Palynology 2016; 40(2): 160-171.
 21. Rasheed AA, Perveen A, Abid R, Qaiser M. Pollen morphology of the subfamily Arecoideae Griff. (Family-Arecaceae) from Pakistan and Kashmir. Pak J Bot 2016; 48(3): 1051-1060.
 22. Harley MM, Dransfield J. Triporate pollen in the Arecaceae. Grana 2003; 42: 3-19.
 23. ลาวัณย์ รักสัตย์. ละอองเรณู. กรุงเทพฯ: โอเอส พรินติ้ง เฮ้าส์; 2539.
 24. Nairs PKK. Pollen morphology of angiosperms, a historical and phylogenetic study. New York: Darnes & Noble; 1971.
 25. Erdtman G. The acetolysis method - A revised description. Svensk Botanisk Tidskrift 1960; 54: 561-564.
 26. Punt W, Hoen PP, Blackmore S, Nilsson S, and Le Thomas A. Glossary of pollen and spore terminology. Rev Palaeobot Palyno 2007; 143: 1-81.

การศึกษาค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตของมะพร้าวเพื่อการประเมินศักยภาพชีวมวลเชิงพลังงานในเขตพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย

Technical Study of Residues-to-Product-Ratios Values for Energy Potential Assessment: Residues from Coconut in Western of Thailand

กิตตินันท์ บุญรอด,^{1*} พิเชฐ นิลดวงดี,² อวิศา พงศ์พิพัฒน์³

Kittinun Boonrod,^{1*} Pichet Ninduangdee,² Awassada Phongphiphat³

Received: 4 August 2017 ; Accepted: 23 November 2017

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (Residues-to-Product-Ratios : RPR) ของมะพร้าว ที่มีความเฉพาะแยกตามส่วนประกอบ และสอดคล้องบริบทพื้นที่ภาคตะวันตก ซึ่งนำไปสู่การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานจากวัสดุชีวมวลของมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต ของกาบแข็ง กาบอ่อน กะลา แกนทางส่วนบน แกนทางส่วนล่าง ใบ และทะลายเปล่า คือ 0.28, 0.12, 0.20, 0.09, 0.14, 0.04 และ 0.03 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณผลผลิตมะพร้าวในปี 2558 พบว่าศักยภาพชีวมวลเชิงพลังงานรวมจากทุกวัสดุของมะพร้าวในเขตภาคตะวันตก คิดเป็น 52.43 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

คำสำคัญ: มะพร้าว ค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต ศักยภาพชีวมวล

Abstract

This study explores the Residues-to-Product-Ratios (RPR) values of coconut which specific of each materials and area. The results are used to provide a reference for the estimation of potential biomass as energy production in the Western Region of Thailand. The findings show that RPR values of Outer Coat, Middle Fibrous Coat, Shell, Upper Core Leave Stalk, Bottom Core Leave Stalk, Frond and Empty Fruit Bunch are 0.28, 0.12, 0.20, 0.09, 0.14, 0.04 and 0.03 respectively. Then, the potential of biomass in Western Region of Thailand was estimated as 52.43 ktoe, based on production yield in 2015.

Keywords: Coconut, Residues-to-Product-Ratios, Biomass Potential

¹ อาจารย์,คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ตำบลนาวิ่ง จังหวัดเพชรบุรี 76000

² อาจารย์,คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

³ นักวิจัย,บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

¹ Lecturer, Faculty of Humanities and Social Science, Phetchaburi Rajabhat University, Muang, Phetchaburi, Thailand 76000

² Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Muang, Phetchaburi, Thailand 76000

³ Researcher, The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkrui, Bangkok, Thailand 10140

* Corresponding author; E-mail : kittinun.b@gmail.com

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่งซึ่งภาคตะวันตกของประเทศไทยเมื่อแบ่งตามฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานชีวมวล ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จะประกอบไปด้วยพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม นครปฐม กาญจนบุรี และสุพรรณบุรี¹ (พพ., 2556) และจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) ในปี 2558 พบว่าภูมิภาคตะวันตกพื้นที่ปลูกมะพร้าวรวมกัน 0.49 ล้านไร่หรือประมาณ ร้อยละ 40 ของพื้นที่ปลูกมะพร้าวรวมทั้งประเทศ โดยการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี เป็นพื้นที่ศึกษาหลัก โดยในปี 2558 ทั้ง 2 จังหวัดมีพื้นที่ปลูกรวมกัน 0.43 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 88 ของพื้นที่เพาะปลูกในภาคตะวันตก และมีปริมาณผลผลิตรวมกันถึง 0.28 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 31 ของผลผลิตทั้งประเทศ² และข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เมื่อพิจารณาถึงด้านสมบัติทางเคมีของเศษวัสดุจากมะพร้าวต่อการนำมาใช้ประโยชน์ทางพลังงานนั้นพบว่า วัสดุชีวมวลจากมะพร้าวมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 15.40-17.93 MJ/kg ซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าแกลบ (14.27 MJ/kg)³ และจากรายงานศักยภาพเชิงพลังงานของส่วนต่างๆ ของมะพร้าว ในปี พ.ศ. 2556 พบว่า ส่วนของก้าน ใบ จั่นและทะลายมะพร้าว มีศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลของแข็งรวมทั้งประเทศคิดเป็น 207.69 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ในส่วนของเปลือกและกาบมะพร้าว คิดเป็น 221.86 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และในส่วนของกะลามะพร้าว คิดเป็น 107.83 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ⁴ ข้อมูลข้างต้นล้วนแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานทดแทน

การศึกษาถึงศักยภาพชีวมวลนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ปริมาณชีวมวลที่มีอยู่ทั้งหมด และปริมาณชีวมวลที่คงเหลือสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เพื่อนำไปสู่การคาดการณ์ถึงศักยภาพชีวมวลในเชิงพลังงานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญสู่การวางแผนในการพัฒนาต่อไป ซึ่งวิธีการมาตรฐานจะใช้วิธีการประเมินจาก ค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (Residue to Product Ratios: RPR) และค่าสัดส่วนชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ (Surplus Availability Factor: SAF)⁵ จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า ค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (RPR) ของพืชประเภทมะพร้าวนั้น มีหลายค่าสัดส่วน แตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นที่ที่ทำการศึกษา แต่โดยสรุปจะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ตามชนิดของวัสดุ คือ (1) จั่นและทะลาย (2) เปลือกและกาบ (3) กะลา และ (4) ทางและใบ^{3,6-8}

โดยประเทศไทยก็มีฐานข้อมูลสำหรับอ้างอิงค่า RPR เช่นกันคือ จั่นและทะลาย มีค่า RPR เท่ากับ 0.29 เปลือกและกาบมีค่า RPR เท่ากับ 0.33 กะลา มีค่า RPR เท่ากับ 0.25 และทางมะพร้าว มีค่า RPR เท่ากับ 0.23^{3,6} แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลนั้นเป็นภาพรวมของทั้งประเทศ ซึ่งในความเป็นจริงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพของระบบนิเวศน์ (ดิน น้ำ สภาพภูมิอากาศ) ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รูปแบบการเก็บเกี่ยว และลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ เป็นต้น⁹ อีกทั้งวัสดุชีวมวลบางประเภทได้มีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย ซึ่งย่อมส่งผลการคาดการณ์ศักยภาพต่างๆ อาทิเช่นทางมะพร้าวสามารถแยกได้ หลายองค์ประกอบตามบริบทของการใช้ประโยชน์ ได้แก่ ส่วนก้านใบนำไปทำไม้กวาด แขนทางนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงนำมาสู่การวางกรอบแนวคิดในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อศึกษาค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (RPR) ที่เป็นค่าเฉพาะของพื้นที่ภาคตะวันตก และของแต่ละชนิดวัสดุ โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถสังเคราะห์สู่การคาดการณ์ศักยภาพเชิงพลังงานของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกมะพร้าว ได้หลากหลาย และใกล้เคียงกับบริบทพื้นที่ ซึ่งจะเป็พื้นฐานข้อมูลในการวางแผนเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพลังงาน หรือด้านอื่นๆต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (Residue to Product Ratios : RPR) ของมะพร้าว แยกตามส่วนประกอบและวิเคราะห์สู่การคาดการณ์ศักยภาพเชิงพลังงานของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกมะพร้าวในเขตพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) ประกอบไปด้วย 2 วิธีการ ได้แก่ การสำรวจเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการตัดแปลงสำรวจ (Crop Cutting Survey) และการสำรวจด้วยแบบสอบถาม (Questionnaire Survey) โดยผลการสำรวจที่ได้จะนำมาประมวลผลร่วมกันสู่การวิเคราะห์ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ขอบเขตการศึกษา

- พื้นที่ศึกษา: กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา 2 จังหวัด ประกอบไปด้วย จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- จำนวนกลุ่มตัวอย่าง: การกำหนดขนาดตัวอย่างประชากรด้วยวิธีการของ Cochran¹⁰ โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ 95 % ซึ่งทำการลงพื้นที่ในการสำรวจสวน

มะพร้าว (Crop Cutting Survey) จำนวน 40 สวน และ ลานรับซื้อหรือลานปลูก (ล้ง) จำนวน 10 ล้ง และ สํารวจข้อมูลด้วยแบบสอบถาม (Questionnaire Survey) กับเกษตรกรจำนวน 200 ราย ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 2 จังหวัด

- ด้านเนื้อหา: ศึกษาเฉพาะ มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง (ขายผลแก่) ด้านวัสดุชีวมวล กำหนด 3 ประเภทวัสดุ คือ จั่นมะพร้าว (Empty Fruit Bunch: EB) ทางมะพร้าว (Leave Stalk: LS) และผลมะพร้าว (Fruit: FRU)

วิธีการและขั้นตอนการศึกษา

- การสำรวจข้อมูลด้วยแบบสอบถาม: ปัจจุบันมีการนำชีวมวลเศษวัสดุจากมะพร้าวทั้งในส่วนที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว และชีวมวลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปมะพร้าว ไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย ในการศึกษานี้ได้ทำการลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เพาะปลูกมะพร้าวด้วยแบบสอบถามที่มีลักษณะคำถามทั้งในลักษณะปลายเปิดและปลายปิด โดยส่วนที่เกี่ยวข้องและเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ประกอบไปด้วย ข้อมูลด้านผลผลิต ปริมาณวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้น และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน

- การสำรวจวัสดุชีวมวลในสวนมะพร้าว: ทำการสุ่มสำรวจสวนมะพร้าว จำนวน 40 สวน โดยกำหนดจุดสำรวจ 3 แปลงทดสอบ ต่อ 1 สวน รวมทั้งสิ้น 120 แปลงทดสอบ โดยที่จุดสำรวจ จะทำการตั้งแปลงทดสอบ ด้วยการวัดระยะห่างระหว่างต้นในแนวนอน (ระยะ A) และแนวตั้ง (ระยะ B) จากนั้นแบ่งครึ่งระยะทั้งสอง เพื่อตีกรอบพื้นที่แปลงทดสอบเป็นรูป

สี่เหลี่ยมรอบต้นมะพร้าว (Figure 1 A.) บันทึกขนาดแปลงทดสอบ นับจำนวน และ ชั่งน้ำหนัก วัสดุชีวมวลที่ตกอยู่ในแปลงทดสอบ 2 ชนิด คือ จั่น และ ทางมะพร้าว ในส่วนของทางมะพร้าว ให้ทำการตัดชั่ง บันทึกแยกส่วนประกอบเฉพาะแกนทางบน (ไม่รวมใบ) (Upper Core Leave Stalk : ULS) ส่วนแกนทางล่างหรือกะหมก (Bottom Core Leave Stalk: BLS) และน้ำหนักเฉพาะใบ (Fron: FRO) ผลการศึกษาที่ได้จะวิเคราะห์เป็น ค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (RPR) สู่การประเมินปริมาณวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้น (Biomass Generation :BMG) และ ปริมาณวัสดุคงเหลือเพื่อผลิตพลังงาน (Biomass Available: BMA) (วิธีการวิเคราะห์เห็นใน Table 1)

- การสำรวจปริมาณวัสดุชีวมวลจากผลมะพร้าวที่ลานปลูก (ล้ง) : สุ่มสำรวจล้งมะพร้าว จำนวน 10 ล้ง โดยสุ่มเลือกมะพร้าว จำนวน 20 ผล/ล้ง จากนั้นนำผลมะพร้าวจากการสุ่มเลือก ทำการชั่งน้ำหนัก ปลูกเปลือกชั่งน้ำหนัก ทีละส่วนประกอบ จากนั้นบันทึกผลตามองค์ประกอบ ได้แก่ 1. น้ำหนักมะพร้าว (ลูกเกลี้ยง: Fruit : FRU) 2. น้ำหนักเปลือกนอก (กาบแข็ง : Outer Coat : OTC) 3. น้ำหนักเปลือกใน (กาบอ่อน : Middle Fibrous Coat : MFC) 4. น้ำหนักกะลา (Shell: SHE) 5. น้ำหนักน้ำและเนื้อขาว (Solid and Liquid Endosperm :SLE) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ในส่วนนี้ จะนำไปสู่การวิเคราะห์และคาดการณ์ปริมาณวัสดุชีวมวลต่อไป (วิธีการวิเคราะห์เห็นใน Table 1)

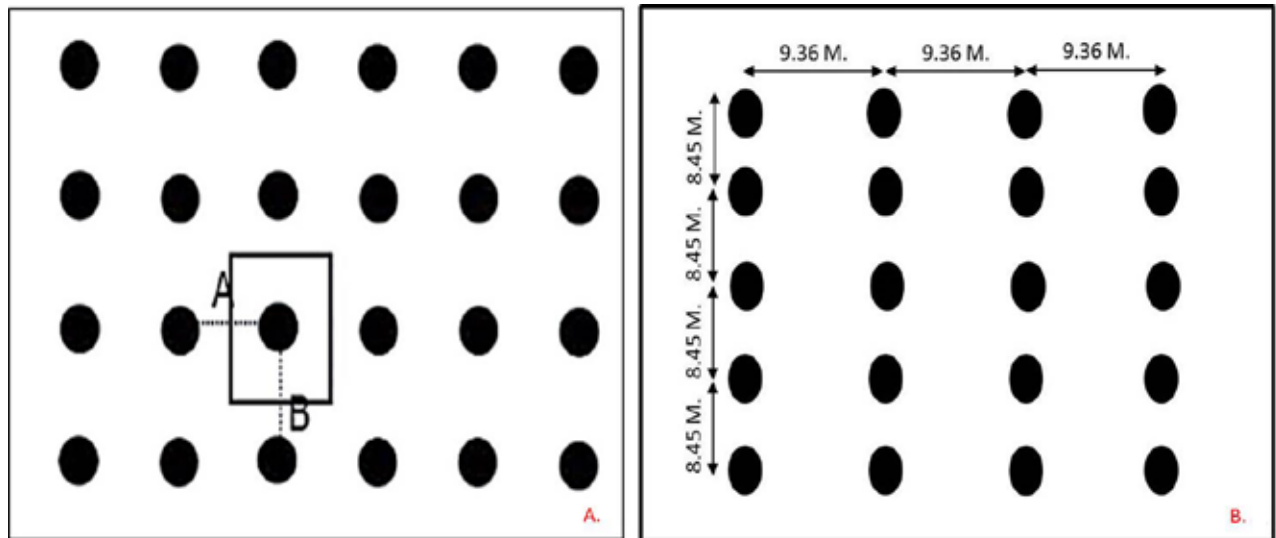


Figure 1 (A) Method for Sampling on Site Survey (B) Number of Coconut Tree per Rai

Table 1 Equations for analysis

Equations ^{5,7}	Remark
$BMA_i = SAF_i * BMG_i$	BMA_i = Biomass Available (tons/ year)
$BMG_i = PY * RPR_i$	BMG_i = Biomass Generation (tons/ year)
$RPR_i = (W_i * N_i) / (W_{FRU} * N_{FRU})$	RPR_i = Residue to Product Ratios (no unit)
$SAF_i = (100 - \%UTZ_i) / 100$	SAF_i = Surplus Availability Factor (no unit)
$ENP_i = (BMA_i * 1,000 * HV_i) / (42,120,000)$	ENP_i = Energy Potential (ktoe/year) ; (1 ktoe = 42,120,000 MJ ³)
	W_i = Weight of Biomass (kg.)
	N_i = Number of Biomass (no./ Rai /year)
	PY = Production yield of coconut (tons/ year)
	$\%UTZ_i$ = Percentage of Biomass Utilization
	HV_i = Heat Value (MJ/kg)
	i = Category of Biomass (FRU, OTC, MFC, SHE, SLE, LS, ULS, BLS, FRO และ EB)

Table 2 All results of study

Result	Biomass Categories									
	Fruit (n=200)					Leave Stalk (n=267)				Bunch (n=228)
	OTC	MFC	SHE	SLE	FRU	ULS	BLS	FRO	LS	EB
^A W	0.62	0.27	0.43	0.87	2.19	0.95	1.48	0.43	2.86	0.34
N	2,745	2,745	2,745	2,745	2,745	553	553	553	553	460
%UTZ	99.19	0	91.30	100	100	5.75	4.80	11.13	-	3.95
SAF	0.008	1	0.087	0	0	0.943	0.952	0.889	-	0.961
RPR	0.28	0.12	0.20	-	-	0.09	0.14	0.04	0.26	0.03

^A as received basis

Table 3 Energy potential from coconut residues in western region of Thailand

Biomass	PY ²	RPR	SAF	PBG	BMA	HV	ENP
OTC	324,788	0.28	0.81	90,941	737	16.23	0.28
MFC	324,788	0.12	1.00	38,975	38,975	16.23	15.02
SHE	324,788	0.2	0.087	64,958	5,651	17.93	2.41
ULS	324,788	0.09	0.943	29,231	27,550	16.00	10.47
BLS	324,788	0.14	0.952	45,470	43,288	16.00	16.44
FRO	324,788	0.04	0.889	12,992	11,546	16.00	4.39
EB	324,788	0.03	0.961	9,744	9,359	15.4	3.42

Table 4 The comparisons of RPR values

Result	Fruit Coat			Leave Stalk				Empty Bunch
	OTC	MFC	SHE	ULS	BLS	FRO	LS	
RPR from 2 nd data	0.33 ³	0.33 ³	0.25 ³	n.a.	n.a.	n.a.	0.23 ⁶	0.29 ³
RPR from study	0.28	0.12	0.20	0.09	0.14	0.04	0.26	0.03

ผลการวิจัย

ผลการสำรวจข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการตัดแปลงสำรวจ (Crop Cutting Survey)

- ผลการวัดระยะปลูกมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า ระยะร่องปลูกแนวหลัก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8.45 เมตร และระยะห่างระหว่างต้นในแนวนอน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9.36 เมตร ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์แสดงผลเป็นจำนวนต้นมะพร้าวต่อพื้นที่ 1 ไร่ พบว่า ภาพรวมเกษตรกรสามารถปลูกมะพร้าวได้ประมาณ 20 ต้นต่อไร่ (Figure 1B.)

- ผลการศึกษาน้ำหนักและสัดส่วนชีวมวลในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วย ผลมะพร้าว ทางมะพร้าว และจั่นมะพร้าว มีรายละเอียดผลการศึกษาดังแสดงใน Table 2

ผลสำรวจข้อมูลด้วยแบบสอบถาม (Questionnaire Survey)

- การศึกษาปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในรอบปี ผลการศึกษาพบว่า มะพร้าวในเขตพื้นที่ศึกษามีอายุค่อนข้างสูง เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 48 ปี มีต้นมะพร้าวที่ยังสามารถให้ผลผลิตได้ คิดเป็นร้อยละ 82.20 ของทั้งหมด แต่ผลผลิตก็ลดลงไปจากเดิม โดยมะพร้าว 1 ต้น สามารถให้ผลผลิตได้ประมาณ 10.92 ครั้งต่อปี วงรอบการเก็บเกี่ยวอยู่ที่ประมาณ 34.60 วันต่อครั้ง โดยเฉลี่ยเก็บเกี่ยวต้นละ 2.08 ทะลายต่อครั้ง ทะลายละ 7.36 ลูก หรือคิดเป็นประมาณ 167 ลูกต่อต้นต่อปี โดยสรุปเมื่อนำผลการศึกษาข้างต้นมาวิเคราะห์ร่วมกัน ทั้งในส่วนจำนวนต้นต่อไร่ และอัตราการต้นที่ยังคงให้ผลผลิต จะพบว่า มะพร้าวสามารถให้ผลผลิตที่ประมาณ 2,745 ลูกต่อไร่ต่อปี ($N_{OTC}, N_{MFC}, N_{SHE}$)

(N_{SLE}, N_{FRU}) ในส่วนวัสดุชีวมวลจากผลมะพร้าวมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ กาบแข็ง (OTC) กาบอ่อน (MFC) และ กะลา (SHE) ซึ่งผลการศึกษาสัดส่วนการประโยชน์ (%UTZ) ในแต่ละองค์ประกอบดังปรากฏใน Table 2

- การศึกษาปริมาณจั่น/ทะลายเปล่าที่เกิดขึ้นในรอบปี ผลการศึกษาพบว่าในแต่ละครั้งเกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวได้เฉลี่ย 2.08 ทะลายต่อครั้งต่อต้น โดยค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการเก็บเกี่ยวผลผลิต คิดเป็น 10.92 ครั้งต่อต้นต่อปี ซึ่งทะลายเปล่าหลังการเก็บเกี่ยวที่ทิ้งในสวน คิดเป็นร้อยละ 94.23 ส่วนที่เหลือจะติดไปที่ล้ง คิดเป็น ร้อยละ 5.77 สรุปว่าจะพบจั่น/ทะลายเปล่า หลังการเก็บเกี่ยวถูกทิ้งไว้ในสวน คิดเป็น 22 จั่นต่อต้นต่อปี และพบที่ล้ง คิดเป็น 1 จั่นต่อต้นต่อปี รวมปริมาณจั่น/ทะลายเปล่า ที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็น 23 จั่นต่อต้นต่อปี หรือคิดเป็น 460 จั่นต่อไร่ต่อปี (N_{EB}) ผลการศึกษาสัดส่วนการประโยชน์ดังปรากฏใน Table 2

- การศึกษาปริมาณทางมะพร้าวที่เกิดขึ้นในรอบปี ผลการศึกษาพบว่า โดยปกติแล้วทางมะพร้าวที่แห้ง จะร่วงหล่นมาจากต้นเองตามธรรมชาติ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 2.55 ทางต่อ ต้น ต่อ 33.69 วัน หรือคิดเป็น 27.63 ทางต่อต้นต่อปี หรือคิดเป็น 553 ทางต่อไร่ต่อปี ($N_{ULS}, N_{BLS}, N_{FRO}$) ในส่วนของทางมะพร้าว นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามการใช้งาน ประกอบไปด้วย ส่วนแกนทางบน (ULS) ส่วนใบ (FRO) และ ส่วนทางล่าง หรือ กะหมก (BLS) โดยสัดส่วนการประโยชน์ระบุไว้ Table 2

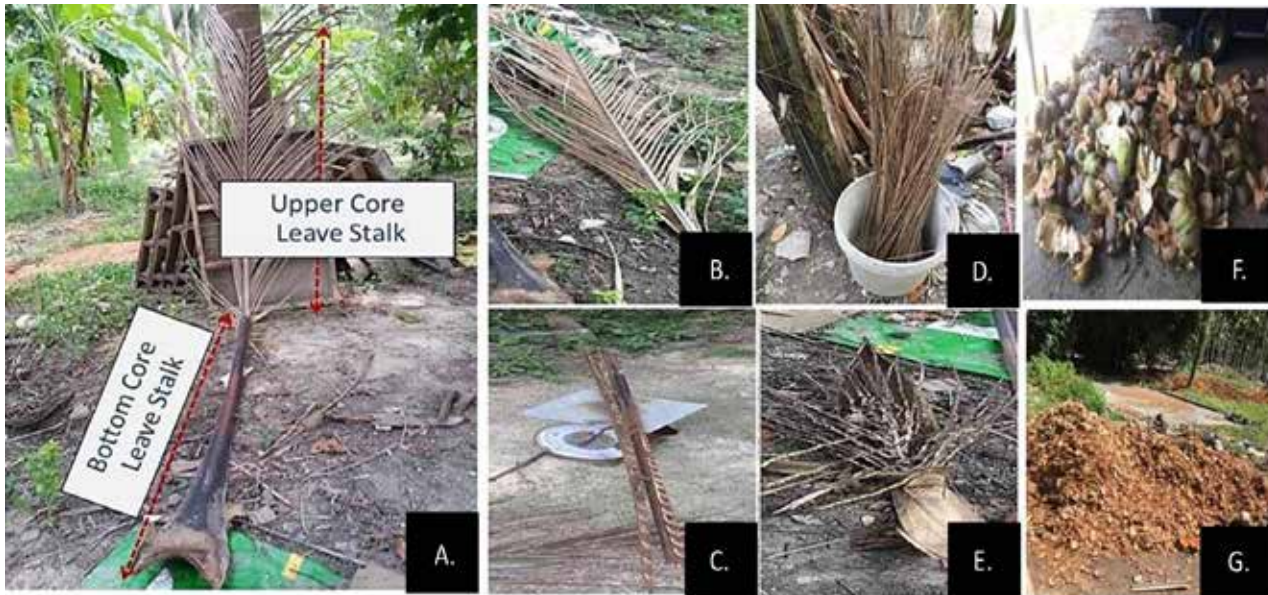


Figure 2 (A) Composition of leave stalk (B) Upper leaf stalk with leaf (C) Upper core leaf stalk for sell (D) Frond, core for sells (E) Empty fruit bunch (F) Outer coat (G) Middle fibrous coat and shell

วิจารณ์และสรุปผล

ในส่วนนี้เป็นการนำผลการศึกษาทั้งหมดมาสังเคราะห์ร่วมกัน เพื่อคาดการณ์ศักยภาพเชิงปริมาณ และศักยภาพเชิงพลังงานของแต่ละวัสดุ โดยอาศัยข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นผลการศึกษาจากการสำรวจ และข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ในภาพรวมพบว่าวัสดุชีวมวลของมะพร้าวในเขตภูมิภาคตะวันตก สามารถแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานคิดเป็น 52.43 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) รายละเอียดดังนี้ (Table3)

- กาบแข็ง (OTC): ในภาพรวมวัสดุชีวมวลจากผลมะพร้าวเกิดขึ้นมาจากการปลูกผลผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าในการขาย แต่ก็จะมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้น โดยส่วนใหญ่จะขายผลผลิตโดยตรงให้กับล้งทันที เรียกว่า ขายแบบ “ลูกเกลี้ยง” ซึ่งล้งก็จะนำไปปลูกก่อนส่งขายภายหลัง ซึ่งผลพลอยได้ที่สำคัญคือ กาบแข็ง การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ทั้งจาก ล้ง และสวน จะถูกขายต่อให้โรงงานดีไอเยมะพร้าว เพื่อผลิตเส้นใย ราคาขายไม่แน่นอน ขาดเสถียรภาพทางราคา โดยที่ 1 คันรด (ประมาณ 700 กก.) มีราคาอยู่ในช่วง 120-800 บาท บางครั้งเมื่อราคาลงต่ำมาก ไม่คุ้มค่าแรงงาน และขนส่ง ก็จะกองทิ้งไว้จำนวนมาก หากแต่เมื่อพิจารณาถึงการนำกาบแข็ง ไปต่อยอดเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทน ก็น่าจะเป็นโอกาส ในการกั้นตึราคาให้กับเกษตรกร จากผลการศึกษาพบว่า ในรอบการผลิตปี 2558 จะพบกาบแข็งที่เกิดขึ้นในภาคตะวันตก คิดเป็น 90,941 ตันต่อปี คงเหลือสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ คิดเป็น 737 ตันต่อปี คิดเป็นศักยภาพเชิงพลังงานที่ 0.28 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ค่าความร้อน เท่ากับ 16.23 MJ/kg.)

- กาบอ่อน (MFC): มะพร้าวลูกเกลี้ยงที่ถูกปลอก กาบแข็งออก ภาษาท้องถิ่นเรียกว่า ผลผลิตแบบ “ลูกปลอกเกลี้ยง” ซึ่งยังมีกาบอ่อน ห่อหุ้มอยู่ เหตุผลสำคัญที่ไม่ปลอกทั้งหมดจนถึงชั้นกะลา เนื่องจากต้องการให้กาบอ่อนเป็นวัสดุ กั้นกระแทกกระหว่างขนส่ง โดยส่วนใหญ่จะถูกส่งต่อไปขายที่ตลาด ปัจจุบันทั้งทั้งหมด ไม่พบการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ มีผลวิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 15.02 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

- กะลา (SHE): ในล้งมะพร้าวรายใหญ่ จะมีดำเนินธุรกิจแบบครบวงจร ตั้งแต่ประมวลมะพร้าวที่สวน จนถึงการปลอก และขายเป็นน้ำกะทิ แต่สำหรับรายย่อยส่วนใหญ่สิ้นสุดกิจกรรมเพียงลูกปลอกเกลี้ยง แต่ทั้งนี้ก็พบว่ามีล้งรายย่อยบางส่วนดำเนินการต่อจนถึง “ลูกปลอกดำ” หมายถึง การปลอกผลมะพร้าวจนถึงชั้นกะลา หรือดำเนินการต่อไปถึง “ลูกปลอกขาว” โดยการใช้มีดขูดเอาส่วนของเนื้อกะลาออก จนถึงชั้นผิวสีขาวของเนื้อ ซึ่งมีวัสดุพลอยได้ที่สำคัญคือ กะลา โดยในปัจจุบันจะมีโรงงานผลิตถ่านอัดแท่งรับซื้อกะลา ซึ่งจะรับซื้อทั้งในแบบกะลาชิ้น หรือ ถ่านกะลา จากล้ง และเกษตรกรผู้รับจ้างเผา ถ่าน มีผลวิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 17.93 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

- แกนทางบน (ULS): คือ ส่วนบนของทางมะพร้าว นับตั้งแต่ส่วนที่ใบมะพร้าวติดอยู่ตั้งแต่ใบแรกจนถึงใบสุดท้าย เกษตรกรบางรายก็ทิ้งไว้ในสวน แต่บางรายก็รวบรวมออกมาจากสวน เนื่องจากปัจจุบันสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร

ได้ เพราะเมื่อนำทางมะพร้าวในส่วนบนเมื่อรีดใบทิ้งทั้งหมด จะมีผู้มารับซื้อเฉพาะส่วนนี้ที่เรียกว่า “แกนทาง” เพื่อไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยเฉพาะโถ่ง โดยโรงงานผู้ผลิตโถ่งอ้างว่าเชื้อเพลิงจากทางมะพร้าวในส่วนนี้มีน้ำมันระเหยบางชนิดที่สามารถเคลือบให้โถ่ง หรือเครื่องดินเผา มีความเงางามได้ โดยจะมีผู้มารับซื้อในราคา 1-1.50 บาท ต่อชิ้น มีผลวิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 10.74 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

- ใบ (FRO): เมื่อเกษตรกรขายแกนทางให้แก่ผู้รับซื้อไปแล้ว ใบที่รีดออกจากแกนทางบนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้วยการใช้มีดรีดส่วนที่เป็นเนื้อใบออก ให้เหลือแต่ส่วนแกนใบ (Frond Core) เพื่อรวมขายให้กับผู้รับซื้อที่จะนำไปทำไม้กวาดทางมะพร้าว ราคาขายเฉลี่ยอยู่ที่ 15 บาทต่อกิโลกรัม มีผลวิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 4.39 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

- แกนทางล่าง หรือ กะหมก (BLS): คือส่วนที่ยึดติดกับลำต้นจนถึงใบแรกที่ติดกับทางส่วนบน ภาษาถิ่นเรียก “กะหมก” ซึ่งกะหมก คือส่วนที่เหลือทิ้งจากการขายแกนทางบน โดยผู้รับซื้ออ้างเหตุผลด้านความชื้นในการไม่รับซื้อกะหมก และหากไม่ตัดกะหมกออก จะทำให้การขนส่งเป็นไปด้วยความลำบาก ปัจจุบันยังไม่พบการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ พบเพียงแต่การนำส่วนที่แห้ง มาเผาเพื่อไล่แมลง หรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนเท่านั้น วิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 16.44 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

- จั่น/ทะเลลายเปลา (EB) : ผลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรพบว่า จั่นที่พบในสวนมะพร้าวขึ้นได้จาก 2 กรณี คือ 1. ร่วงหล่นเองตามธรรมชาติ เกิดจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตในต้นมะพร้าวที่สูงมาก ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ ลิง ในการปีนขึ้นไปเก็บผลผลิต (มีโรงเรียนฝึกลิงสำหรับเก็บมะพร้าวโดยเฉพาะ) ดังนั้นลิงก็จะปีนเอาเฉพาะผลมะพร้าวให้ตกลงที่พื้น ซึ่งจั่นก็ยังคงติดค้างอยู่ที่ส่วนยอด และเมื่อแห้งก็จะร่วงหล่นลงมาเองตามธรรมชาติ ซึ่งต่างจากกรณีที่ 2 คือ การตัดผลผลิตซึ่งจะเกิดขึ้นกับมะพร้าวต้นที่ยังไม่สูงมากนัก สามารถใช้ไม้ตัดสอย หรือสามารถปีนขึ้นไปเก็บผลผลิตได้ ซึ่งจะทำให้การตัดลงมาทั้งจั่นเพื่อประหยัดเวลา จึงเรียกมะพร้าวที่ติดมาทั้งพวงของจั่นว่า “ทะเลลายมะพร้าว” ซึ่งเมื่อตัดมะพร้าวลงมาทั้งทะเลแล้วนั้น ก็จะทำให้การตัดแยกเอาเฉพาะผลผลิตในการขายต่อไป ปัจจุบันยังไม่พบการใช้ประโยชน์จากทะเลลายเปลาในเชิงพาณิชย์ พบเพียงแต่การนำ มาเผาเพื่อไล่แมลง หรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน มีผลวิเคราะห์เป็นศักยภาพเชิงพลังงานได้ที่ 15.4 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

โดยสรุปการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงศักยภาพเชิงปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการปลูกมะพร้าว มุ่งเน้นไปที่การสร้างค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (RPR) ที่เป็นค่าเฉพาะของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ในเขตภาคตะวันตก ซึ่งจะนำไปสู่การคาดการณ์ปริมาณวัสดุชีวมวลที่จะเกิดขึ้น และ ศักยภาพเชิงพลังงานที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงกับบริบทเชิงพื้นที่

ผลการศึกษสามารถระบุค่าสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (RPR) ที่เฉพาะเจาะจงลงไปเฉพาะแต่ละส่วนประกอบส่งผลให้การคาดการณ์ปริมาณมีความละเอียดและแม่นยำขึ้น สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต อาทิเช่น ค่าสัดส่วนของกาบแห้งต่อผลผลิต คือ 0.28 ค่าสัดส่วนของกาบอ่อนต่อผลผลิต คือ 0.12 ซึ่งจากเดิมถูกรวมกันเป็นค่าสัดส่วนเปลือกและกาบมะพร้าวต่อผลผลิต คือ 0.33 รวมทั้งสามารถระบุค่าสัดส่วนของแกนทางบนต่อผลผลิต คือ 0.10 ค่าสัดส่วนของแกนทางล่าง(กะหมก) คือ 0.14 และ ค่าสัดส่วนของเฉพาะใบต่อผลผลิต คือ 0.04 ซึ่งไม่เคยปรากฏในฐานข้อมูลปัจจุบันกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (Table 4) แต่เคยปรากฏในการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พ.ศ. 2543 ซึ่งแสดงค่ารวมกันเป็นค่าสัดส่วนทางและใบต่อผลผลิต คือ 0.23⁶

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน สำหรับทุนสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีสำหรับการทุนสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ระบบรายงานศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย[อินเทอร์เน็ท]. [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ค.2560].เข้าถึงได้จาก: <http://biomass.dede.go.th/Symfony/web/map/district?year=2556>
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2558. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ; 2559.
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย [อินเทอร์เน็ท]. [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ค.2560].เข้าถึงได้จาก: http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย ปี 2556. ม.ป.ท.; 2556

5. บุษบา พฤษภาพันธ์รัตน์, บุญรอด สัจจกุลนุกิจ และคณะ. 2555. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับแก้ไข) โครงการแนวทางการส่งเสริมมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแปรรูปในภาคอุตสาหกรรม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2555. RDG5250083
6. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ศักยภาพชีวมวลในประเทศ [อินเทอร์เน็ต]; 2543 [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ค.2560].เข้าถึงได้จาก: http://www2.dede.go.th/renew/bio_p.htm
7. Auke Koopmans, Jaap Koppejan. Agricultural and Forest Residues Generation, Utilization & Availability. Proceedings of Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy; 1997 Jan 6-10; Kuala Lumpur, Malaysia. FAO;1998.
8. Orkide Akgün, , Mika Korkeakoski , Suvisanna Mustonen, Jyrki Luukkanen . Theoretical Bioenergy Potential in Cambodia and Laos. Proceedings of World Renewable Energy Congress 2011; 2011 May 8-13; Sweden. Bioenergy Technology. 2011. p. 335-342
9. Ezekiel A.A, Francis K., Ahmad A.. Technical analysis of crop residue biomass energy in an agricultural region of Ghana. Resources, Conservation and Recycling 2015; 96; 51– 60.
10. Cochran, W.G.. Sampling Techniques. 2nded. New York: John Wiley and Sons, Inc.; 1963.

สมรรถนะในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

Long term performance of a grid connected inverter under operation conditions

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์^{1*}, รัฐพร เงินมีศรี¹, อำนาจ ฉิมทวี¹, คงฤทธิ์ แม้นศิริ¹

Chatchai Sirisamphanwong^{1*}, Rattaporn Ngoenmeesri¹, Amnaj Chimtavee¹, Kongrit Mansiri¹

Received: 8 May 2017 ; Accepted: 10 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่มิใช้งานมา 9 และ 10 ปี เปรียบเทียบกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ใช้งาน โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61683:1999 ผลจากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี ที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.71 และ 87.95% ที่กำลังไฟขาออกเท่ากับ 35 และ 30% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟขาออกเท่ากับ 62.82% ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมา 10 ปี และสำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมา 9 ปี มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน Euro มีค่าเท่ากับ 90.47, 87.16 และ 86.47% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี ตามลำดับ และประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83% ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปีตามมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี

คำสำคัญ: เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย สมรรถนะระยะยาว การลดลงของประสิทธิภาพ

Abstract

This research reports the long term efficiency degradation of grid connected inverters which were installed for 9 and 10 years. The test procedure followed IEC 61683:1999. From the experimental results, it was shown that the efficiency of 9 and 10 years' installation were 87.95 and 88.71%, respectively at the rated/partial output power (P_o/P_{op}) equals 35% and 30%. While the efficiency of a new grid connected inverter was 91.99% at the rated/partial output power (P_o/P_{op}) equals 62.82%. The different efficiencies for 9 and 10 years operation and initial installation varied between 1.53 and 11.11% and 2.65 to 12.60% respectively, which indicated that the inverter efficiency degraded for the test inverters. The Euro efficiencies of the new inverter, and after 9 and 10 years' operation were 90.47, 87.16 and 86.47%, respectively and CEC efficiencies were 91.14, 87.41 and 86.83%, respectively. The estimated efficiency degradation rates are approximately 0.364 and 0.392 %/year respectively.

Keywords: Grid connected inverter Long term performance Efficiency degradation

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

¹ School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

* Corresponding author. E-mail address chatchaisi@nu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 5.05 kWh/m² ต่อวัน¹ และในบางพื้นที่ของประเทศมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยมากกว่า 5.55 kWh/m² ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ถือว่ามีศักยภาพค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้มีการส่งเสริมจากทางภาครัฐให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี 2550 ทำให้มีผู้สนใจลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบุว่า ณ สิ้นปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีปริมาณติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอยู่ราว 787 MW² ซึ่งในเชิงพาณิชย์นั้น จะทำการผลิตในรูปแบบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid connected PV system) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโดยตรงอยู่ 2 ส่วนคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid tie inverter) โดยปกติระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่ายจะมีอายุการทำงานไม่ต่ำกว่า 25 ปี แต่ในช่วงเวลานั้นประสิทธิภาพของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายจะค่อยๆ ลดลงทุกปีตามความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในอุปกรณ์เหล่านี้มีความสำคัญมากเนื่องจากข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ไปในการประเมินประสิทธิภาพและการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่าย อีกทั้งยังเป็นข้อมูลให้กับผู้ผลิตนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาวนั้นมีผู้ศึกษามาแล้วเป็นจำนวนมากในหลายๆ กรณี ทั้งการศึกษายานในห้องทดลอง³⁻¹⁰ และการศึกษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีติดตั้งและใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์¹¹⁻¹⁶ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นของการใช้งานเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า แต่ในกรณีของการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง โดยการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายนั้นส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าหลังจากผ่านการใช้งานมานาน โดยการเสื่อมของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการ

ศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย เพื่อจะทราบถึงอัตราการลดลงของประสิทธิภาพและปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอนาคตหลังจากใช้งานเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในระยะยาว การศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมากเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย จะส่งผลกระทบต่อตรงต่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจนไม่สามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการการลดลงของประสิทธิภาพ และคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย ซึ่งจะส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างไร ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าอย่างไร และผลกระทบที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบในระยะยาวอย่างไรบ้าง รวมถึงศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาค่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์และติดตั้งในบริเวณที่มีระบบจำหน่ายเข้าถึง มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่ได้มาตรฐานเพื่อสามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายได้ โดยมีหลักการทำงานคือ พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำเข้าสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะติดตามสัญญาณไฟฟ้าในระบบจำหน่ายตลอดเวลา เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณไฟฟ้าในระบบจำหน่ายและผลัดกันกระแสไฟฟ้าให้ไหลกลับเข้าระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นการจำหน่ายไฟฟ้าคืนหรือชดเชยค่าไฟฟ้าในระบบรวมในกรณีที่การใช้ไฟฟ้าในระบบมีมากกว่า ดังนั้นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านี้จึงมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก และมีการควบคุมสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ (Pure sine wave) ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายมีส่วนประกอบดัง Figure 1

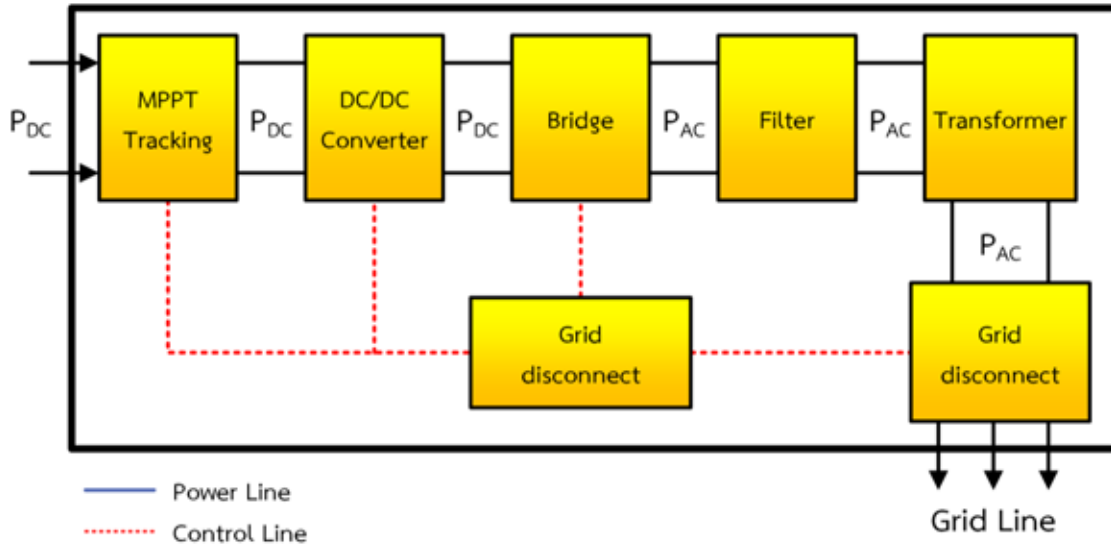


Figure 1 Block diagram of grid-connected inverter

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 7 ส่วน ประกอบด้วย ระบบตามหา กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) ทำหน้าที่หาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แต่ละจุดทำงานและเลือกจุดทำงานที่ดีที่สุด อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรง(DC/DC Converter) ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ได้จากการตามหา กำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ไปอยู่ใน ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม วงจรบริดจ์ (Bridge) ทำหน้าที่ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวกรองไฟฟ้า (Filter) ทำหน้าที่กรองไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรบริดจ์ให้เป็น รูปสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้า หนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงเพื่อ เปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะ ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้า (Grid disconnect) ทำหน้าที่เชื่อมเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้ากับ สายส่ง อุปกรณ์ควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการ ทำงานของ MPPT DC/DC Converter Bridge และ Grid disconnect ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำตามคุณสมบัติ ที่ต้องการ แต่ในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบ จำหน่ายบางรุ่นอาจไม่มีอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC/ DC Converter) และ หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer) โดยการ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter Efficiency : η_{INV}) สามารถหาได้จากสมการ

เมื่อ
$$\eta_{INV} = P_{INV} / P_{PV} \tag{1}$$

P_{PV} = กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)
 P_{INV} = กำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (kW)

ซึ่ง กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{PV}) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{PV} = I_{DC} \times V_{DC} \tag{2}$$

เมื่อ I_{DC} = กระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
 V_{DC} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

และกำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (P_{INV}) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{INV} = I_{AC} \times V_{AC} \times \cos\theta \tag{3}$$

เมื่อ I_{AC} = กระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (A)
 V_{AC} = แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (V)
 $\cos\theta$ = มุมระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

วิธีการทดลอง

การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย โดยใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายขนาด 3.5 kW ซึ่งติดตั้งภายในวิทยาลัย

พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มีการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 10 ปี ตามมาตรฐาน IEC 61683:1999 (Photovoltaic system - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency)¹⁷ โดยขั้นตอนการทดสอบแสดงดัง Figure 2

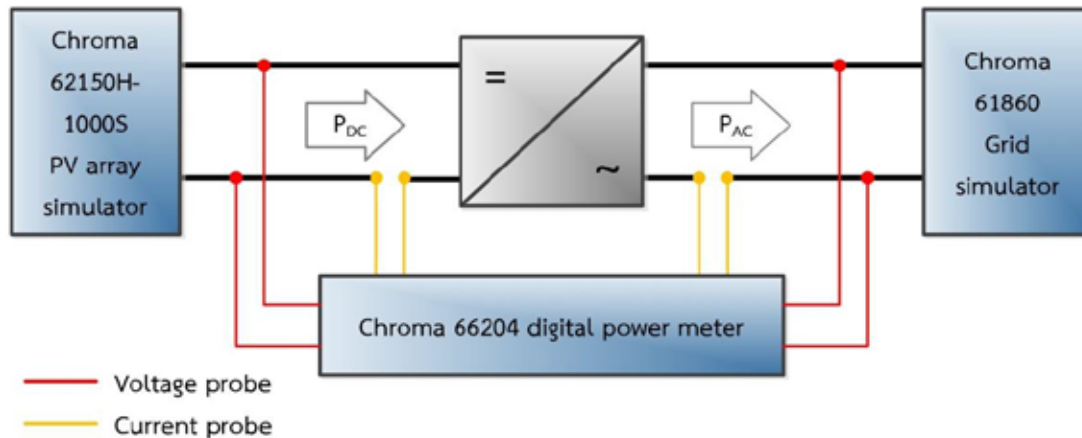


Figure 2 The testing scheme of the experimental test setup for the grid-connected PV inverters (IEC 61683)

การทดสอบใช้ห้องทดสอบ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสง

อาทิตย์ขนาด 10 kW จำนวน 2 เครื่อง โดยเป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาเป็นเวลา 9 และ 10 ปี ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW แสดงใน Figure 3



Figure 3 10 KW PV system at the energy park, School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok, Thailand.

วิธีการทดสอบจะนำเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบต่อเข้ากับเครื่องจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array simulator) ยี่ห้อ Chroma 62150H-1000S ขนาด 15 kW เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในฝั่งขาเข้า และในฝั่งขาออกจะต่อเข้ากับเครื่องจำลองระบบจำหน่าย (grid simulator) ยี่ห้อ Chroma 61860 ขนาด 60 kW เพื่อจำลองระบบจำหน่าย ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าและขาออก (P_i/P_o และ P_o/P_o) ทำการตรวจวัดและบันทึกค่าโดย Chroma 66204 digital power meter มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.1\%$ โดยเครื่องมือและอุปกรณ์แสดงใน Figure 4 ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 ระดับ โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ 1 และ 5% ของค่า

กำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 5% ของค่ากำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกจนกระทั่งครบ 100% ของค่ากำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ สำหรับการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า แรงดันไฟฟ้าขาออก ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยทำการบันทึกค่าทุก 10 วินาที เป็นเวลา 5 นาที และเมื่อทำการเปลี่ยนระดับค่ากำลังไฟฟ้าในการทดสอบแต่ละครั้งจะให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงานเป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 5 นาที เพื่อให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงานในสภาวะคงที่ก่อนทำการบันทึกค่า ซึ่งค่าที่ทำการตรวจวัดและบันทึกจะถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายในระยะยาว



Figure 4 PV array simulator, grid simulator and digital power meter

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ผ่านการใช้งานมาแล้วที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC พบว่าที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่ำเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่ กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 0 – 40% และที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูง ที่กำลัง

ไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 40 – 100% แสดงใน Figure 5 โดยที่ระดับแรงดันขาเข้าเท่ากับ 173 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.98 และ 89.94% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25% ที่ระดับแรงดันขาเข้า 230 VDC ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 88.03 และ 88.97% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 35 และ

25% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 284 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 87.89 และ 88.06% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตาม

ลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 50% แสดงใน Figure 5 ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่กระแสไฟฟ้าขาเข้าประมาณ 6 ADC

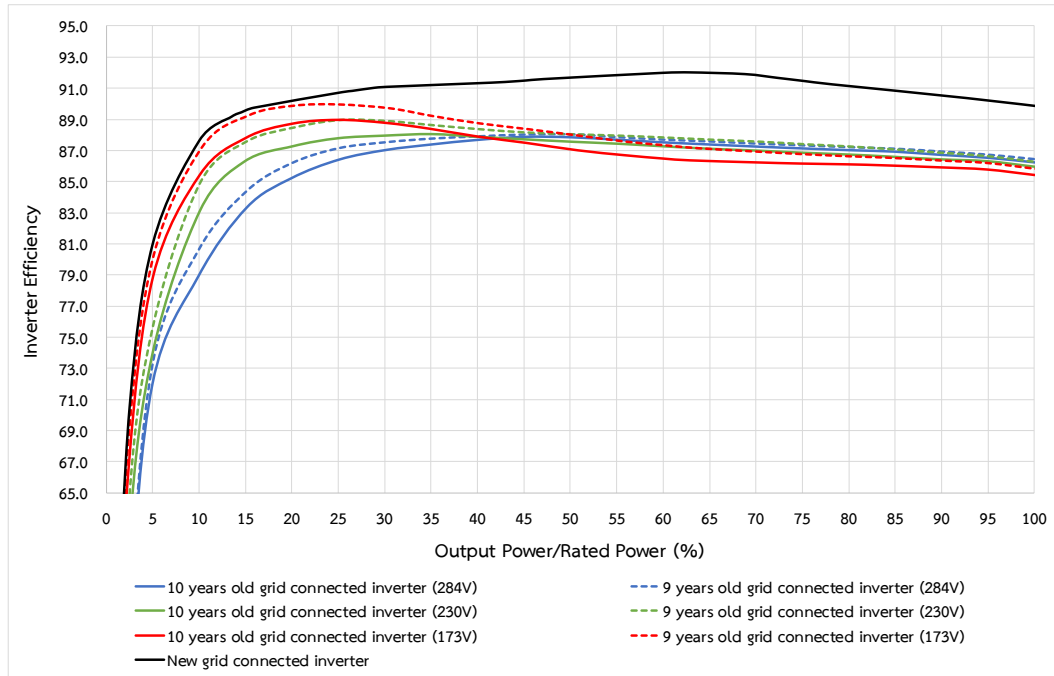


Figure 5 The efficiency of the 9 years old and 10 years old grid connected inverter with testing voltage at 173, 230 and 281 VDC

จากข้อมูลพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงที่กำลังไฟฟ้าขาออกต่ำและประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าก็จะตกลงหลังจากที่ประสิทธิภาพขึ้นไปสูงสุด และผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามีค่ามากกว่า 6 ADC แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมาแล้วเทียบกับเครื่องใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งาน เพื่อประเมินการลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าดังแสดงใน Figure 6 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจากค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ซึ่งจากรูปพบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดย

มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 87.95 และ 88.71% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 35 และ 30% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 62.82% นอกจากนี้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่กระแสไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10.4 ADC และเมื่อทำการวิเคราะห์การสูญเสียในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือการสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ควบคุมและระบบแสดงผลต่าง ๆ เช่น จอแสดงผล LCD และไฟสัญญาณ LED เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานในระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันจากกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและไฟฟ้าขาออก โดยปกติค่าการสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเริ่มทำงานจนถึงประสิทธิภาพสูงสุดเป็นการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายใน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเกิดจากความต้านทานภายในเป็นหลัก

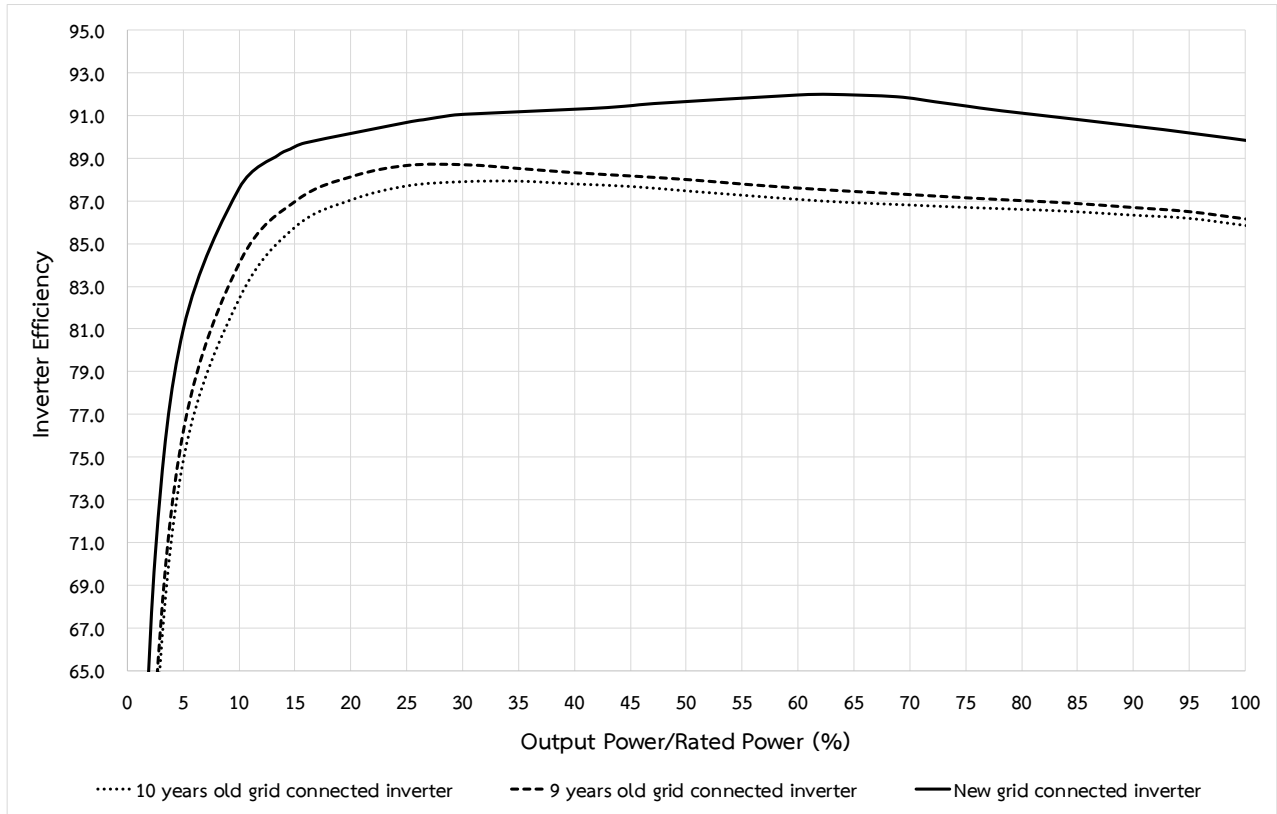


Figure 6 The average input voltage grid connected inverter efficiency curve of the new and 9 years old and 10 years old grid connected inverters

จากผลการวิจัยพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วจะเกิดการสูญเสียมากกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานแสดงใน Figure 7 ซึ่งจากรูปจะพบว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 ปี และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 10 ปี ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% สามารถสรุปได้ว่าค่าความแตกต่างของการสูญเสียของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในระหว่างใช้งานระบบมีค่าน้อยมาก ซึ่งความแตกต่าง

ของการสูญเสียเกิดจากสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ควบคุมและระบบแสดงผลของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและผ่านการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและที่ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก 100% ค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ประมาณ 4.00% หรือประมาณ 180.84 W ซึ่งสามารถบอกได้ว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเกิดจากการสูญเสียจากความต้านทานภายใน ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายประกอบด้วยระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า, (Insulated - Gate Bipolar Transistor, IGBT), หม้อแปลงไฟฟ้า, choke และตัวเก็บประจุไฟฟ้า เป็นต้น

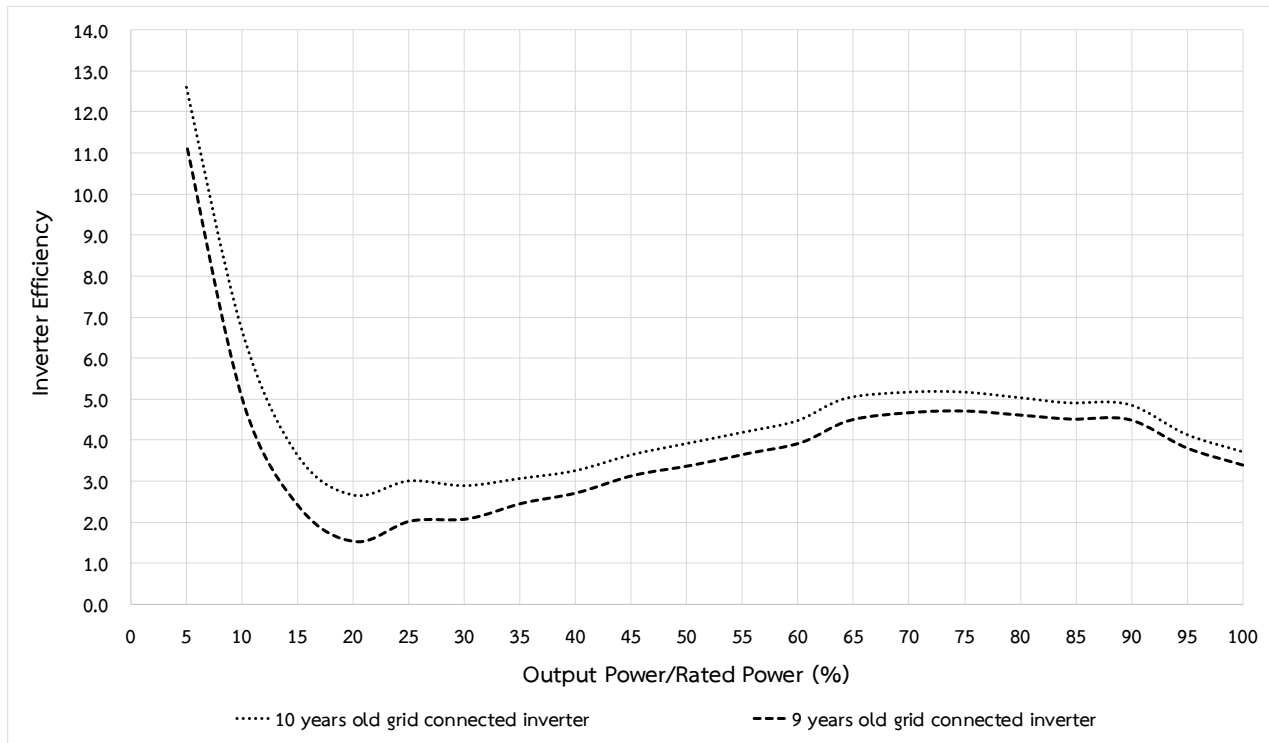


Figure 7 The different efficiency of the new and 9 years old and 10 years old grid connected inverters

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาแล้วเป็นเวลา 9 และ 10 ปี และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยใช้มาตรฐานในการหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 2 ส่วนคือมาตรฐาน European (Euro) และ มาตรฐาน Californian energy efficiency (CEC) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน CEC สูงกว่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน Euro ทั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและที่ติดตั้งและใช้งานมาแล้ว โดยประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายตามมาตรฐาน Euro สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี มีค่าเท่ากับ 90.47,

87.16 และ 86.47% ตามลำดับ และประสิทธิภาพฝั่ง CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 4.00 และ 3.31% สำหรับมาตรฐาน Euro และสำหรับมาตรฐาน CEC มีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4.31 และ 3.72% และเมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปี สำหรับมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแสดงใน Figure 8

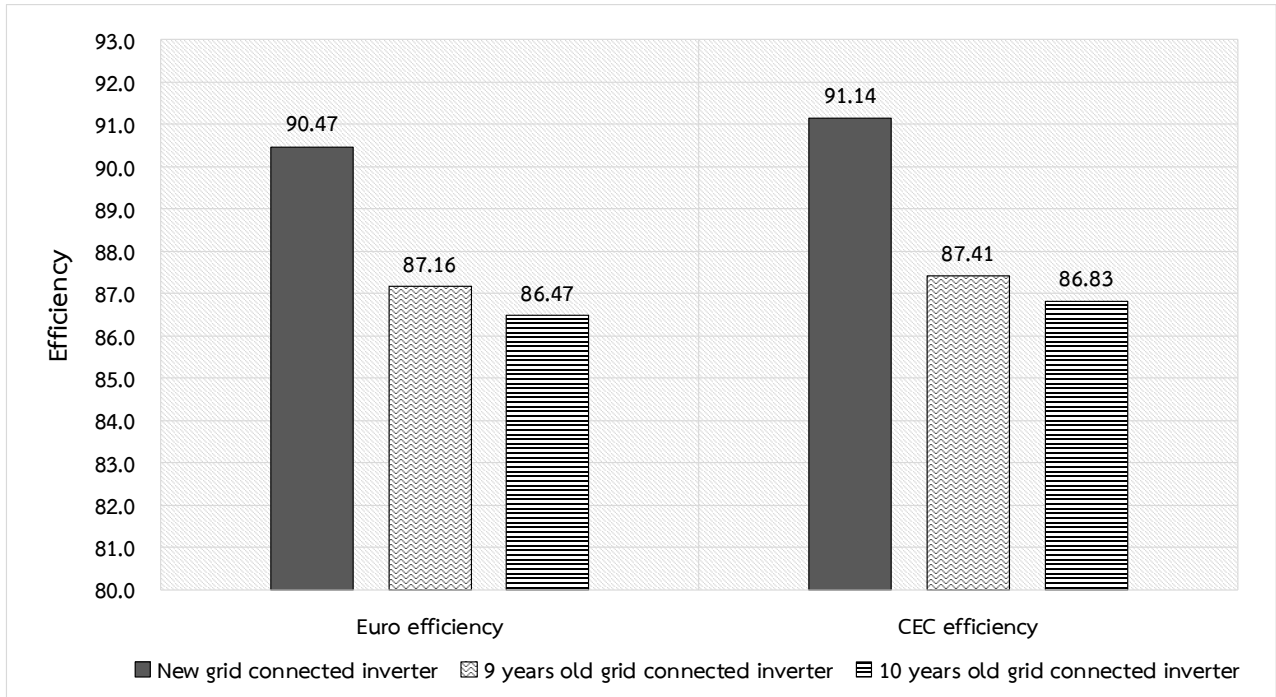


Figure 8 The Euro and CEC efficiency of the new and 9 years old and 10 years old grid conncted inverters

เมื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสมการการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะลดลง 0.58% ต่อปี สำหรับประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC และ 0.69% ต่อปี

สำหรับประสิทธิภาพตามมาตรฐาน Euro แสดงใน Figure 9 ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC จะมีค่าน้อยกว่า Euro

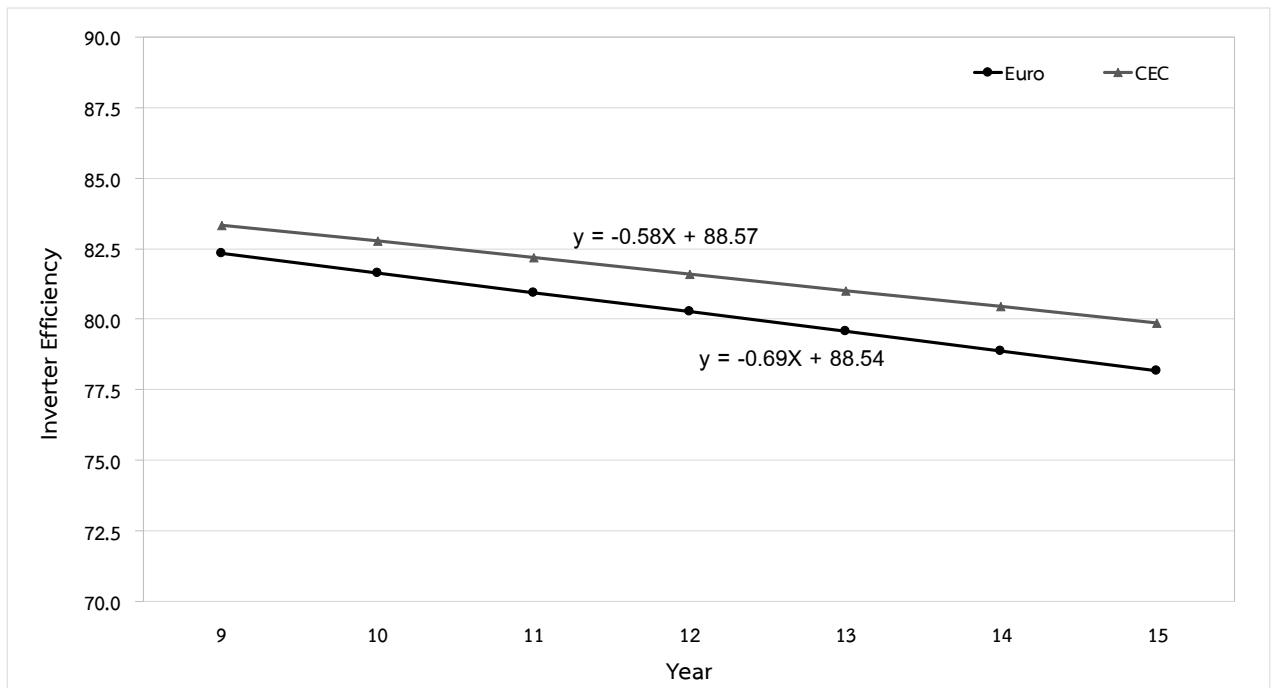


Figure 9 The decline in The Euro and CEC efficiency of grid connected inverters

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เปรียบเทียบกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านใช้งาน โดยทำการทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC จากผลการทดสอบพบว่าที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่ำ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 0 – 40% และที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูง ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 40 – 100% โดยที่ระดับแรงดันขาเข้าเท่ากับ 173 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 89.94 และ 88.98% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 230 VDC ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 88.97 และ 88.03% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25 และ 35% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 284 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 88.06 และ 87.89% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 50% และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจากค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.71 และ 87.95% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 30 และ 35% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 62.82% ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 ปี และสำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 10 ปี มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% และจากการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน Euro มีค่าเท่ากับ 90.47, 87.16 และ 86.47% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี ตามลำดับ และประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83%

ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปีสำหรับมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเกิดจากการสูญเสียจากความต้านทานภายใน ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายประกอบด้วยระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า, (Insulated - Gate Bipolar Transistor, IGBT), หม้อแปลงไฟฟ้า, choke และตัวเก็บประจุไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบบคุคลากรและเจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ทุกท่านในการสนับสนุนข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ส่งผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. โครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย
2. สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน: 2557.
3. Weimin W, XiaoLi W, Pan G, Tianhao T. Efficiency analysis for three phase grid-tied PV inverter. 2008 IEEE international conference on industrial technology (IEEE ICIT 2008), 2008 IEEE; 2008. p. 1–5.
4. Massimo V, Alin R, Dezso S, Remus T. PV inverter test setup for European efficiency, static and dynamic MPPT efficiency evaluation. 11th International conference on optimization of electrical and electronic equipment, 2008 (OPTIM 2008), IEEE; 2008. p. 433–438.
5. Notton G, Lazarov V, Stoyanov L. Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations. Renewable Energy 2010;35(2):541–54.
6. Ziya Ö, Ahmet MH. Energy conversion efficiency of single-phase transformerless PV inverters. 8th International conference on Electrical and Electronics

- Engineering, 2013 (ELECO 2013), IEEE; 2013. p. 283–287.
7. Bin G, Jason D, Jih-Sheng L, Chien-Liang C, Thomas L, Baifeng C. High reliability and efficiency single-phase transformerless inverter for grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Trans Power Electron* 2013;28(5):2235–45.
 8. Rampinelli GA, Krenzinger A, ChenloRomero F. Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;34:578–87.
 9. Xavier C, Guillermo V, Jordi de la H, Helena M. Contribution to the PV-to-inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup. *Appl Energy* 2015;149:35–45.
 10. David P, Martin KP. Effect of tariffs on the performance and economic benefits of PV-coupled battery systems. *Appl Energy* 2016;164:175–87.
 11. Aчитпон S, Wattanapong R, Nipon K, Suchart Y. Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand. *Renewable Energy* 2010;32(2):1288–00.
 12. George M, Bastian Z, George EG, Markus S, Jurgen HW. Outdoor efficiency of different photovoltaic system installed in Cyprus and Germany. 33rd Photovoltaic Specialists Conference, 2008 (PVSC '08), IEEE; 2008. p. 1–6.
 13. Muñoz J, Martínez-Moreno F, Lorenzo E. On-site characterisation and energy efficiency of grid-connected PV inverters. *Prog. Photovolt: Res. Appl* 2011;19:192–01.
 14. Amnaj C, Nipon K, Kobsak S, Sarayooth V. Evaluation of PV generator performance and energy supplied fraction of the 120 kWp PV microgrid system in Thailand. *Energy Proc* 2011;9:117–27
 15. Amnaj C, Nipon K. PV Generator performance evaluation and load analysis of the PV microgrid system in Thailand. *Procedia Eng* 2012;32:384–91.
 16. Maciej P, Witold M. Report on efficiency of field-installed PV-inverter with focus on radiation variability. *Proceedings of the 20th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, 2013 (MIXDES 2013), IEEE; 2013. p. 440–43.
 17. International Electrotechnical Commission, IEC. IEC 61683:1999 Photovoltaic systems - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency, IEC; 1999.

ปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญวางนัยทั่วไป

Generalized Ordinary Smooth Topological Spaces

ศศิกานต์ พิมพา¹, ดรุณี บุญชารี², จีระนันท์ คำภักดี², กิตติศักดิ์ แสงสุระ^{2*}

Sasikarn Pimpa¹, Daruni Boonchari², Jeeranunt Khampakdee², Kittisak Saengsuru^{2*}

Received: 4 August 2017 ; Accepted: 28 November 2017

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ เราได้แนะนำการวางนัยทั่วไปสำหรับปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญ ซึ่งเราเรียกว่าปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญวางนัยทั่วไป และศึกษาสมบัติบางประการบนปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญวางนัยทั่วไป เช่น ตัวดำเนินการปิดคลุม ตัวดำเนินการภายในและความต่อเนื่องของฟังก์ชันบนปริภูมิดังกล่าว

คำสำคัญ: ปริภูมิเชิงทอพอโลยีวางนัยทั่วไป ปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญ ปริภูมิเชิงทอพอโลยีแบบเรียบสามัญวางนัยทั่วไป

Abstract

In this paper, we introduce the concept of generalization for ordinary smooth topological space which we call a generalized ordinary smooth topological space and we also study some properties of such space, for instance, closure operator, interior operator and continuity.

Keywords: Generalized topological spaces, Ordinary smooth topological spaces, Generalized ordinary smooth topological spaces.

Introduction and Preliminaries

The concepts of a generalized topology on X was first introduced by Csa'sza'r in as a subset μ of $P(X)$ with the properties¹:

1. $\emptyset \in \mu$,
2. $\bigcup_{i \in I} \mu_i \in \mu$ for all $\mu_i \in \mu$ and $i \in I \neq \emptyset$.

The pair (X, μ) is called a generalized topological space and μ is called a generalized topology (briefly *GT*).

In the paper introduced the concepts of ordinary smooth topology on X as a mapping $\tau: 2^X \rightarrow I$ with the properties²:

$$\tau(X) = \tau(\emptyset) = 1.$$

$$\tau(A \cap B) \geq \tau(A) \wedge \tau(B) \text{ for all } A, B \in 2^X,$$

$$\tau(\bigcup_{\alpha \in \Gamma} A_\alpha) \geq \bigwedge_{\alpha \in \Gamma} \tau(A_\alpha) \text{ for all } \{A_\alpha\} \subseteq 2^X,$$

where 2^X is the powerset of X and I is a closed

interval $[0,1]$.

The pair (X, τ) is called an ordinary smooth topological space (briefly, *osts*).

In the paper defined an ordinary smooth closure and an ordinary smooth interior in (X, τ) and gave the characterizations of ordinary smooth closure and ordinary smooth interior².

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อําเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 ประเทศไทย

¹ Master' degree student, ²Assistant Professor, Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kuntarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author. Kittisak Saengsuru, Centre of Excellence in Mathematics, CHE, Si Ayutthaya Rd., Bangkok 10400, Thailand. Kittisak.s@msu.ac.th

In this paper, we define the space which generalizes the generalized topology on X , we call a generalized ordinary smooth topological space and we also study some properties on such space and continuous maps between the ordinary smooth topological spaces.

Results

In this section, we define a generalized ordinary smooth topological space and give an analogue of generalized ordinary smooth topological space as the result.

Definition 1.1. Let X be a nonempty set. Then a mapping $\mu: 2^X \rightarrow I$ is called a generalized ordinary smooth topology (briefly *gost*) on X if μ satisfies the following axioms:

$$\begin{aligned} \mu(\emptyset) &= 1, \\ \mu(\bigcup_{\alpha \in \Gamma} A_\alpha) &\geq \bigwedge_{\alpha \in \Gamma} \mu(A_\alpha) \text{ for all } \{A_\alpha\} \subseteq 2^X, \end{aligned}$$

where 2^X is the powerset of X and I is a closed interval $[0,1]$.

The pair (X, μ) is called a generalized ordinary smooth topological space (briefly *gosts*). We will denote the set of all *gosts* on X by $GOST(X)$.

Example 1.2. Let $X = \{a, b, c\}$. We define the mapping $\mu: 2^X \rightarrow I$ as follows: Let $A \in 2^X$,

$$\mu(A) = \begin{cases} 1, & \text{if } A = \emptyset; \\ 0.8, & \text{if } A = X \text{ or } A = \{b, c\}; \\ 0.6, & \text{if } A = \{a\}; \\ 0.5, & \text{if } A = \{b\} \text{ or } \{a, b\}; \\ 0.4, & \text{if } A = \{c\} \text{ or } \{a, c\}. \end{cases}$$

Then $\mu \in GOST(X)$.

The operators on X which is induced by the generalized ordinary topologies μ are defined as follows:

Definition 1.3. Let (X, μ) be a *gosts* and let $A \in 2^X$. Then the generalized ordinary smooth closure and generalized ordinary smooth interior of A in X are defined by

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \bigcap \{F \in 2^X : A \subseteq F \text{ and } \mu(F^c) > 0\}, \\ \text{and} \\ A^\circ &= \bigcup \{U \in 2^X : U \subseteq A \text{ and } \mu(U) > 0\}, \end{aligned}$$

respectively.

Example 1.4. From Example 1.2 and let $A = \{a, c\}$. Then

$$\begin{aligned} A^\circ &= \bigcup \{U \in 2^X : U \subseteq \{a, c\} \text{ and } \mu(U) > 0\} \\ &= \bigcup \{\emptyset, \{a\}, \{c\}, \{a, c\}\} \\ &= \{a, c\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{and} \\ \bar{A} &= \bigcap \{F \in 2^X : \{a, c\} \subseteq F \text{ and } \mu(F^c) > 0\} \\ &= \bigcap \{X, \{a, c\}\} \\ &= \{a, c\}. \end{aligned}$$

The following propositions are the properties of *gosts*

Proposition 1.5. Let (X, τ) be a *gosts* and let $A, B \in 2^X$. Then:

$$\begin{aligned} \text{If } A \subseteq B, & \text{ then } A^\circ \subseteq B^\circ \text{ and } \bar{A} \subseteq \bar{B}. \\ (A^\circ)^c &= \bar{A}^c. \\ A^\circ &= (\bar{A}^c)^c. \\ \bar{A} &= ((A^\circ)^c)^c. \\ (\bar{A})^c &= (A^\circ)^c. \end{aligned}$$

Proof. (1) Obvious.

$$\begin{aligned} \text{(2) For any } A \in 2^X, & \text{ we have that} \\ (A^\circ)^c &= (\bigcup \{U \in 2^X : U \subseteq A \text{ and } \mu(U) > 0\})^c \\ &= \bigcap \{U^c \in 2^X : A^c \subseteq U^c \text{ and } \mu(U^c) > 0\} \\ &= \bar{A}^c \end{aligned}$$

The proof of (3), (4) and (5) are easily obtained from (2).

Proposition 1.6. Let (X, τ) be a *gosts* and let $A, B \in 2^X$. Then:

$$\begin{aligned} A^\circ &\subseteq A. \\ (A^\circ)^\circ &= A^\circ. \\ (A \cap B)^\circ &\subseteq A^\circ \cap B^\circ. \end{aligned}$$

Proof. (1) Obvious.

(2) For each $A \in 2^X$, using (1), we have that $(A^\circ)^\circ \subseteq A^\circ$. Since

$$\begin{aligned} (A^\circ)^\circ &= \bigcup \{U \in 2^X : \mu(U) > 0 \text{ and } U \subseteq A^\circ\} \\ &= \bigcup \{U \in 2^X : \mu(U) > 0 \text{ and } U \subseteq \bigcup \{W \in 2^X : \mu(W) > 0 \text{ and } W \subseteq A\}\} \\ &\supseteq \bigcup \{U \in 2^X : \mu(U) > 0 \text{ and } U \subseteq A\} = A^\circ \end{aligned}$$

then $(A^\circ)^\circ = A^\circ$.

(c) Since $A \cap B \subseteq A$ and $A \cap B \subseteq B$, $(A \cap B)^\circ \subseteq A^\circ$ and $(A \cap B)^\circ \subseteq B^\circ$. Thus $(A \cap B)^\circ \subseteq A^\circ \cap B^\circ$.

Proposition 1.7. Let (X, τ) be a *gosts* and let $A, B \in 2^X$. Then:

$$\begin{aligned} A &\subseteq \bar{A}. \\ \overline{\bar{A}} &= \bar{A}. \\ \overline{A \cup B} &\subseteq \bar{A} \cup \bar{B}. \end{aligned}$$

Proof. The proofs are similar to that of Proposition 1.6.

Definition 1.8. Let (X, μ) be a *gosts*, $r \in I$ and $A \in 2^X$. Then we define \overline{A}_r and A_r° by

$$\overline{A}_r = \bigcap \{F \in 2^X : A \subseteq F \text{ and } \mu(F^c) \geq r\}$$

and

$$A_r^\circ = \bigcup \{U \in 2^X : U \subseteq A \text{ and } \mu(U) \geq r\},$$

respectively.

We called \overline{A}_r a generalized ordinary smooth r -ravel closure and A_r° a generalized ordinary smooth r -ravel interior.

Then the following results are obtained:

Proposition 1.9. Let (X, τ) be a *gosts* and let $A \in 2^X$. Then:

If $\mu(A) > 0$, then $A = A^\circ$.

If $\mu(A^c) > 0$, then $A = \overline{A}$.

If there is $r \in I_0$ such that $A = \overline{A}_r$, then $A = \overline{A}$.

If there is $r \in I_0$ such that $A = A_r^\circ$, then $A = A^\circ$.

Proof. (1) Let $\mu(A) > 0$. Then

$A \in \{U \in 2^X : U \subseteq A \text{ and } \mu(U) > 0\}$, so

$A \subseteq \bigcup \{U \in 2^X : U \subseteq A \text{ and } \mu(U) > 0\}$,

thus $A \subseteq A^\circ$.

Therefore $A = A^\circ$.

(2) Let $\mu(A^c) > 0$. Then $A^c = (A^c)^\circ$,
so $(A^c)^c = ((A^c)^\circ)^c$. Thus $A = \overline{A}$.

(3) Assume that $r \in I_0$ such that $A = \overline{A}_r$. Since $\overline{A} = \bigcap \{F \in 2^X : A \subseteq F \text{ and } \mu(F^c) > 0\} \subseteq \bigcap \{F \in 2^X : A \subseteq F \text{ and } \mu(F^c) \geq r\} = \overline{A}_r = A$, $\overline{A} \subseteq A$. So $A = \overline{A}$.

(4) Assume that $r \in I_0$ such that $A = A_r^\circ$. Since $\mu(A_r^\circ) = \mu(\bigcup \{V \in 2^X : \mu(V) \geq r \text{ and } V \subseteq A\}) \geq \bigwedge \mu(\bigcup \{V \in 2^X : \mu(V) \geq r \text{ and } V \subseteq A\}) \geq r > 0$, $\mu(A_r^\circ) > 0$.

So $A_r^\circ \in \{U \in 2^X : \mu(U) > 0 \text{ and } U \subseteq A_r^\circ\} \subseteq \bigcup \{U \in 2^X : \mu(U) > 0 \text{ and } U \subseteq A\} = A^\circ$.

Thus $A = A_r^\circ \subseteq A^\circ \subseteq A$. Therefore $A = A^\circ$.

2. Generalized ordinary smooth continuity

In this section, we defined a continuous mapping on generalized ordinary smooth topological spaces as follows:

Definition 2.1 Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts*'s.

Then a mapping $f: X \rightarrow Y$ is said to be:

A generalized ordinary smooth continuous (briefly *gos - continuous*) if $\mu_2(A) \leq \mu_1(f^{-1}(A))$ for all $A \in 2^Y$.

A generalized ordinary weakly smooth continuous (briefly *gows - continuous*) if for each $A \in 2^Y$, $\mu_2(A) > 0 \Rightarrow \mu_1(f^{-1}(A)) > 0$.

Example 2.2. Let $X = \{a, b, c\}$. We define two mapping as follows: For each $C, D \in 2^X$,

$$\mu_1(C) = \begin{cases} 1, & \text{if } C = \emptyset; \\ \frac{1}{2}, & \text{if } C = X \text{ or } C = \{b, c\} \text{ or } C = \{a\}; \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$\mu_2(D) = \begin{cases} 1, & \text{if } D = \emptyset; \\ \frac{1}{3}, & \text{if } D = X \text{ or } D = \{b, c\} \text{ or } D = \{a\}; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

and

Clearly, the identity mapping $id: (X, \mu_2) \rightarrow (X, \mu_1)$ is *gows - continuous*, but id is not *gos - continuous*.

The following results are obtained that:

Corollary 2.3. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts*'s and let a mapping $f: X \rightarrow Y$. Then: f is *gos - continuous* iff $\mu_2(A^c) \leq \mu_1(f^{-1}(A^c))$ for all $A \in 2^Y$. f is *gows - continuous* iff $\mu_2(A^c) > 0 \Rightarrow \mu_1(f^{-1}(A^c)) > 0$ for all $A \in 2^Y$.

Proposition 2.4. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts*'s and let a mapping $f: X \rightarrow Y$ be *gows - continuous*. Then:

$$f(\overline{A}) \subseteq \overline{f(A)} \text{ for all } A \in 2^X.$$

$$\overline{f^{-1}(B)} \subseteq f^{-1}(\overline{B}) \text{ for all } B \in 2^Y.$$

$$f^{-1}(B^\circ) \subseteq (f^{-1}(B))^\circ \text{ for all } B \in 2^Y.$$

Proof. (1) Let $A \in 2^X$. Since $f^{-1}(\overline{f(A)}) = f^{-1}(\bigcap \{F \in 2^Y : \mu_2(F^c) > 0 \text{ and } f(A) \subseteq F\})$

$$= \bigcap \{f^{-1}(F) \in 2^X : F \in 2^Y, \mu_2(F^c) > 0 \text{ and } A \subseteq f^{-1}(F)\}$$

$$\supseteq \bigcap \{f^{-1}(F) \in 2^X : F \in 2^Y, \mu_1(f^{-1}(F^c)) > 0 \text{ and } A \subseteq f^{-1}(F)\}$$

$$= \overline{A},$$

$$\text{then } \overline{A} \subseteq f^{-1}(\overline{f(A)}).$$

$$\text{Thus } f(\overline{A}) \subseteq f(f^{-1}(\overline{f(A)})) \subseteq \overline{f(A)}.$$

(2) Let $B \in 2^Y$, we have $f^{-1}(B) \in 2^X$.

$$\text{Then } f(\overline{f^{-1}(B)}) \subseteq \overline{f(f^{-1}(B))} \subseteq \overline{B},$$

$$\text{so } (\overline{f^{-1}(B)}) \subseteq f^{-1}(\overline{f(f^{-1}(B))}) \subseteq f^{-1}(\overline{B}).$$

(3) Let $B \in 2^Y$.

Then

$$f^{-1}(\overline{B^c}) = f^{-1}(((B^c)^c)^c) = (f^{-1}(B^\circ))^c =$$

$$(f^{-1}(\overline{(B^c)^c}))^c = f^{-1}(\overline{B^c}) \supseteq \overline{f^{-1}(B^c)} =$$

$$\overline{(f^{-1}(B))^c} = ((f^{-1}(B))^\circ)^c$$

So $((f^{-1}(B))^{\circ})^{\circ} \subseteq f^{-1}((B^{\circ})^{\circ})$.
 Hence $f^{-1}(B^{\circ}) \subseteq (f^{-1}(B))^{\circ}$.

The following Corollary is immediate from Definition 2.1 and Proposition 2.4.

Corollary 2.5. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts's* and let a mapping $f: X \rightarrow Y$ be

gos - continuous. Then:

$$\overline{f(A)} \subseteq \overline{f(A)}$$

$$f^{-1}(\overline{B}) \subseteq \overline{f^{-1}(B)}$$

$$f^{-1}(B^{\circ}) \subseteq (f^{-1}(B))^{\circ}$$

The generalized ordinary smooth open map and generalized ordinary smooth closed map are defined as follows:

Definition 2.6. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts's*. Then a mapping $f: X \rightarrow Y$ is said to be: a generalized ordinary smooth open (briefly *gos - open*) if $\mu_1(A) \leq \mu_2(f(A))$ for all $A \in 2^X$. a generalized ordinary smooth closed (briefly *gos - closed*) if $\mu_1(A^{\circ}) \leq \mu_2(f(A^{\circ}))$ for all $A \in 2^X$.

Example 2.7. Let $X = \{a, b, c\}$. We define two mapping as follows: For each $C, D \in 2^X$,

$$\mu_1(C) = \begin{cases} 1, & \text{if } C = \emptyset; \\ \frac{1}{4}, & \text{if } C = X; \\ \frac{1}{6}, & \text{if } C = \{b, c\}; \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

and

$$\mu_2(D) = \begin{cases} 1, & \text{if } D = \emptyset; \\ \frac{1}{2}, & \text{if } D = X; \\ \frac{1}{5}, & \text{if } D = \{b, c\}; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Then $\mu_1, \mu_2 \in GOST(X)$. Consider the identity mapping $id: (X, \mu_1) \rightarrow (X, \mu_2)$. Then we can see that id is *gos - open* and *gos - closed*.

Then we obtain the following result:

Proposition 2.8. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts's*. If $f: X \rightarrow Y$ is *gos - open*, then $f(A^{\circ}) \subseteq (f(A))^{\circ}$ for each $A \in 2^X$.

Proof. Let $A \in 2^X$. Since

$$f(A^{\circ}) = f(\cup\{U \in 2^X : \mu_1(U) > 0 \text{ and } U \subseteq A\})$$

$$\begin{aligned} &= \cup\{f(U) \in 2^Y : U \in 2^X, \mu_1(U) > 0 \text{ and } f(U) \subseteq f(A)\} \\ &\subseteq \cup\{f(U) \in 2^Y : U \in 2^X, \mu_2(f(U)) > 0 \text{ and } f(U) \subseteq f(A)\} \\ &\subseteq \cup\{V \in 2^Y : \mu_2(V) > 0 \text{ and } V \subseteq f(A)\} \\ &= (f(A))^{\circ} \\ f(A^{\circ}) &\subseteq (f(A))^{\circ} \end{aligned}$$

Definition 2.9. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts's*

. Then a mapping $f: X \rightarrow Y$ is called a generalized ordinary smooth homeomorphism if f is a bijective and f, f^{-1} are generalized ordinary smooth continuous.

Now, we have the relation of generalized ordinary smooth homeomorphisms, *gos - open* and *gos - closed* as follow:

Theorem 2.10. Let (X, μ_1) and (Y, μ_2) be *gosts's* and let $f: X \rightarrow Y$ be a bijective and f be *gos - continuous*. Then the following statements are equivalent:

- f is generalized ordinary smooth homeomorphism.
- f is *gos - open*.
- f is *gos - closed*.

Proof. (1) \implies (2) Assume that f is a generalized ordinary smooth homeomorphism. Then $\mu_1(A) \leq \mu_2((f^{-1})^{-1}(A)) = \mu_2(f(A))$. Thus f is *gos - open*.

(2) \implies (3) Assume that f is *gos - open*. Let $A \in 2^X$, we have $\mu_1(A^{\circ}) \leq \mu_2(f(A^{\circ}))$. Since f is bijective, $\mu_1(A^{\circ}) \leq \mu_2(f(A^{\circ}))$. Thus f is *gos - closed*.

(3) \implies (1) Assume that f is *gos - closed*. Let $A \in 2^X$. Then $\mu_1(A) \leq \mu_2(f(A)) = \mu_2((f^{-1})^{-1}(A))$. Thus f^{-1} is *gos - continuous*. Hence f is a generalized ordinary smooth homeomorphism.

References

1. Csa'zsa'r, A'. Generalized topology, generalized continuity. Acta Math.Hungar, 2002; 96: 351–357.
2. Jeong G.L., Kul H., Pyung K.L. Closure interior re-defined and some types of compactness in ordinary smooth topological spaces. Kor. Journal of Intelligent Systems, 2013; 1(23): 80-86.
3. Jeong G.L., Kul H., Pyung K.L. Closure interior and compactness in ordinary smooth topological spaces. Int. Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 2014; 3(14): 231-239.

4. Pyung K.L., Byeong G.R., Kul H. Ordinary smooth topological spaces. *Int. Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 2012; 1(12): 66-76.

การดูดซับนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยแกลบและแกลบที่ปรับสภาพ

Adsorption of Nickel (Ni^{2+}) by Rice Husk and Modified Rice Husk

นิธิศ นามชารี¹, ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์², ธายุกร พระบำรุง³

Nitit Namcharee¹, Panjai Saueprasearsit², Thayukorn Prabamroong³

Received: 17 August 2017 ; Accepted: 19 December 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาการบำบัดนิกเกิล (Ni^{2+}) ด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้แกลบและแกลบที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการ Alkali-Acid Modification เป็นตัวดูดซับ โดยปัจจัยการดูดซับที่ทำการศึกษประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาสัมผัส และอุณหภูมิ นอกจากนี้ ได้มีการศึกษากลไกการดูดซับ โดยทำการศึกษาไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับ รวมถึงการคายซับเพื่อหาวิธีการในการจัดการวัสดุดูดซับหลังผ่านการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือที่ pH 5 ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาวะดังกล่าวความสามารถในการดูดซับของแกลบและแกลบ ที่ปรับสภาพ สูงสุด 2.80 และ 3.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำผลการศึกษาปัจจัยมาศึกษากลไกการดูดซับพบว่า ไอโซเทอร์ม การดูดซับสอดคล้องกับสมการ Langmuir เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว จลนศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับ Pseudo-Second-Order ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ขั้นตอนในการกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการดูดซับทางเคมี ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้เอง และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) ผลจากการศึกษาการคายซับพบว่าแกลบและแกลบที่ปรับสภาพประสิทธิภาพมีประสิทธิภาพการคายซับค่อนข้างต่ำ ประสิทธิภาพการคายซับสูงสุดที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ มีค่าเพียง 22.99%, 29.19% ตามลำดับ จากการศึกษาการคายซับวัสดุหลังจากผ่านการดูดซับควรนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัยเนื่องจากประสิทธิภาพการคายซับค่อนข้างต่ำทำให้ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้น้อย

คำสำคัญ: แกลบ แกลบที่ปรับสภาพ การดูดซับ นิกเกิล

Abstract

This research studied adsorption of Nickel (Ni^{2+}) by rice husk and modified rice husk by the Alkali-Acid Modification. The adsorption factors studied were the acid – base , contact time and temperature. Moreover, we studied adsorption in isotherm thermodynamics, kinetics and also desorption.

The optimum condition for adsorption was pH 5 with a contact time of 60 minutes and the initial concentration of Nickel was 50 mg/l of 30°C, in which conditions, the adsorption capacity was 2.80 and 3.20 milligrams per liter, respectively. The results of the study conducted by the mechanism of adsorption isotherms that's match with the Langmuir equation, the adsorption of monolayer, Kinetic match to Pseudo Second Order Reaction to absorption the second stage, get diffusion within the pores volume and equilibrium. Reaction can occur by itself. That's an Exothermic Reaction. The results of the desorption study showed that rice husk and modified rice husk perform the desorption when the concentration of nitric acid solution of 1.5 M is 22.99% and 29.19% respectively. After the study of desorption, material should be safely landfilled because of its low effect on the environment.

Keywords: rice husk, modified rice husk, adsorption, nickel

¹ นิสิตระดับปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

^{2,3} อาจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Master Degree's Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150, Thailand. Max.nitit@gmail.com

^{2,3} Lecturer, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150, Thailand. panjai@msu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำโลหะหนักมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งนิเกิลที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่สแตนเลส และอุตสาหกรรมชุบโลหะ¹ เมื่อมีการนำมาใช้โอกาสที่โลหะหนักจะปนเปื้อนลงสู่ธรรมชาติก็มีมากขึ้น โดยมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอนุญาตให้มีนิเกิลปนเปื้อนมากับน้ำเสียไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร² ผลกระทบของนิเกิลที่มีต่อสุขภาพมีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง ทำให้เกิดความผิดปกติในกระดูกและ ไช้สันหลัง ทำให้ปวดอึดเสบและเสียชีวิตได้ จากผลกระทบดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจำนวนมากพยายามที่จะหาวิธีการบำบัดสารดังกล่าว ซึ่งวิธีการบำบัดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การตกตะกอนทางเคมี การกรองแบบผกกลับ แต่ต้องใช้งบประมาณที่สูง สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะใช้วิธีการดูดซับ เนื่องจาก ไม่มีความซับซ้อนและง่ายต่อการปฏิบัติ ในการดูดซับ ในงานวิจัยผู้วิจัยได้มีการใช้แกลบและแกลบที่ปรับสภาพโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับกรดซิตริกโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนกลุ่มฟังก์ชันกันอลของไฮดรอกซิลให้เป็นคาร์บอกซิลิกเพื่อเพิ่มประจุลบให้กับวัสดุ โดยในขั้นตอนการศึกษาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ เพื่อนำมาอธิบายไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ อุณหพลศาสตร์ และได้มีการศึกษาการคายซับ เพื่อหาแนวทางในการจัดการกับวัสดุหลังการดูดซับ ที่เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมแกลบ

การเตรียมแกลบทำได้โดยการนำแกลบมาล้างด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 (500 ไมครอน) และ 35 (250 ไมครอน) จากนั้นนำไปเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น

การเตรียมแกลบที่ปรับสภาพทางเคมี

การเตรียมแกลบที่ปรับสภาพทางเคมีทำได้โดยการนำแกลบมาแช่ใน NaOH 0.2 M 4 ลิตร แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (25°C±2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ทิ้งไว้หนึ่งคืน จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผ่านการล้างเท่ากับน้ำกลั่น ทำการกรองและนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH แช่ในกรดซิตริกความเข้มข้น

1 M ในอัตราส่วน 1 : 7 (กรัม: มิลลิกรัม) นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างด้วย น้ำกลั่นจนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผ่านการล้างเท่ากับน้ำกลั่น และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 (500 ไมครอน) และ 35 (250 ไมครอน) เก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น⁶

การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดูดซับ

คุณสมบัติของแกลบและแกลบปรับสภาพเป็นการศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Micro-scope; SEM) และเครื่อง Surface Area Analyzer (BET) ยี่ห้อ Bel-Japan รุ่น Bel Sorp mini II วิเคราะห์องค์ประกอบโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์หรือ X-ray Diffractometer (XRD) วิเคราะห์ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) รุ่น Tensor 27 วิเคราะห์ขนาดของรูพรุน เส้นผ่าศูนย์กลาง และปริมาณรูพรุนเฉลี่ยโดยใช้เครื่อง BET Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer ยี่ห้อ Bel-Japan รุ่น Bel Sorp mini II

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ชั่งนิเกิล (II) ในเตรด เฮกซะไฮเตรด 4.95 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิกรัม โดยในสารละลายนิเกิล 1 มิลลิกรัม จะมีนิเกิลเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมไว้สำหรับเจือจางเพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยอื่นๆ

ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับในรูปแบบการทดลองแบบกะ โดยปัจจัยการดูดซับ ที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่า pH (2-7) ระยะเวลาสัมผัส (0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360) ความเข้มข้นของสารละลายนิเกิลเริ่มต้น (5, 10, 25, 50, 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยในการดูดซับใช้แกลบและแกลบปรับสภาพเท่ากับ 250-500 ไมครอน ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้เท่ากับ 5 กรัมต่อลิตร และความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ของผสมที่ผ่านการดูดซับ จะถูกกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Shimadzu aa-6200 การทดลองมีการควบคุมปัจจัยที่ศึกษาโดยการกำหนดชุดควบคุม (Blank) และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Triplicate Experiments) ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จะถูกนำมาหาประสิทธิภาพการดูดซับโดยคำนวณ

หาร้อยละการดูดซับด้วยสมการที่ 1

$$\% \text{Removal} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_f = ความเข้มข้นคงเหลือของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ในการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายนิเกิลเริ่มต้นและอุณหภูมิ มาทำการศึกษา โดยสมการที่นำมาศึกษาประกอบด้วย ไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) ไอโซเทอร์มการดูดซับของ ฟรูดลิช (Freudlich Adsorption Isotherm) ไอโซเทอร์มการดูดซับของเทมคิน (Temkin Isotherm) และ ไอโซเทอร์มการดูดซับของฮาร์กินส์-จูรา (Harkins-Jura Isotherm)

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ซึ่งมีสมมติฐานสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวดูดซับแต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบ ชั้นเดียว และมีรูปสมการดังสมการที่ 2 และ 3⁷

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m K_L} \quad (2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (3)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายนิเกิล ที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) q_e คือ ปริมาณของนิเกิลที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของแกลบหรือแกลบปรับสภาพ (มิลลิกรัมต่อกรัม) q_m คือ ความสามารถในการดูดซับ นิเกิลสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ K_L คือ ค่าคงที่ แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ (ลิตรต่อกรัม)

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มของฟรูดลิช ซึ่งมีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบ เลขชี้กำลัง⁴ และมี

รูปสมการดังสมการที่ 4 และ 5

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (5)$$

เมื่อ K_F คือ ค่าคงที่ของฟรูดลิช (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ n คือ ค่าคงที่ของฟรูดลิช⁵ สมการแบบจำลองของเทมคินเป็นการอธิบายการดูดซับทางเคมี ซึ่งถูกพัฒนามาจากกระบวนการที่การเปลี่ยนแปลงของความร้อนในการดูดซับ และมีรูปสมการดังสมการที่ 6 และ 7

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T C_e \quad (6)$$

$$q_e = \beta \ln K_T + \beta \ln C_e \quad (7)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) R คือ ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8.314 (จูลต่อโมลเคลวิน) K_T คือ ค่าคงที่สมดุล (kJ/mg) b คือ พลังงานการดูดซับ (กิโลจูลต่อโมล) และ β คือ ค่าคงที่ของเทมคิน (โมล²ต่อกิโลจูล²)

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มของฮาร์กินส์-จูรา (Harkins-Jura Isotherm) เป็นการอธิบายถึงการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer) โดยที่ A และ B จะเป็นค่าคงที่ของสมการ จะสามารถอธิบายการยึดเกาะภายในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ดังสมการที่ 8

$$\frac{1}{q_e^2} = \frac{B}{A} - \frac{1}{A} \log C_e \quad (8)$$

การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ

ในการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส (ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน) มาทำการศึกษาโดยใช้สมการ Pseudo First Order, Pseudo Second Order และ Intraparticle Diffusion ดังสมการ

สมการ Pseudo First Order ดังสมการที่ 11

$$\ln(q_e - q_0) = \ln q_0 - \frac{k_1}{2.303} t \quad (11)$$

เมื่อ q_0 คือ ความสามารถดูดซับนิเกิลที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) q_e คือความสามารถในการดูดซับ นิเกิลต่อปริมาณแกลบหรือแกลบปรับสภาพ ที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม) k_1 คือค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (นาที⁻¹) และ t คือเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

สมการ Pseudo-Second-Order ดังสมการที่ 12

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (12)$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (มิลลิกรัมต่อกรัม-นาทึ)

สมการการแพร่กระจายของอนุภาคภายในตัวดูดซับ (Intraparticle Diffusion) ดังสมการที่ 13

$$q_t = k_1 t^{\frac{1}{2}} + C \quad (13)$$

การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

พารามิเตอร์ของอุณหพลศาสตร์ เช่น Enthalpy Change (ΔH°) Free Energy Change (ΔG°) และ Entropy Change (ΔS°) สามารถประมาณโดยใช้ค่าคงที่สมดุลการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ การเกิด ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับให้ผลตามสมการ ดังสมการที่ 14, 15 และ 16

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_L \quad (14)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (15)$$

$$\ln K_L = \frac{\Delta H^\circ}{-RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (16)$$

เมื่อ ΔG° คือ พลังงานอิสระของ Gibbs (kJ/mol-1) R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ ($8.314 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) K_L คือ ค่าคงที่สมดุลทางอุณหพลศาสตร์ และ T คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (K)

การคำนวณค่า K_L สามารถคำนวณได้ 3 รูปแบบ คือ

$$K_L = K_F^n$$

$$K_L = 1/b$$

$$K_L = q_0/c_0$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการแลงเมียร์และ ฟรอนดลิช โดยคำนวณค่า K_L ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ $K_L = K_F^n$ ค่า K_F ได้มาจากค่าคงที่ของสมการฟรอนดลิช $K_L = 1/b$ ค่า b ได้มาจากค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (K_L)

การศึกษาการคายซับของโลหะหนัก

นำแกลบและแกลบปรับสภาพที่ผ่านการดูดซับและผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 0.5 กรัม เติมน้ำในปริมาตรความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าในเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การแยกตัวดูดซับโดยการกรอง และวัดค่าความเข้มข้นของนิกเกิลด้วยเครื่อง AAS หลังจากนั้นให้คำนวณการคายซับจากสมการประสิทธิภาพการคายซับ¹⁴ ดังสมการที่ 16

$$D = \left\{ \frac{[(C_i - C_e) - C_d]}{C_i - C_d} \right\} \quad (16)$$

เมื่อ D คือ ประสิทธิภาพการคายซับ (%) C_i คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e คือ ความเข้มข้นของนิกเกิล (ตัวถูกดูดซับ) ในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ C_d คือ ความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลและอภิปรายผล

ผลศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดูดซับ

จากการศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับจะแสดงลักษณะพื้นที่ของแกลบและแกลบปรับสภาพโดยใช้เครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่า การปรับสภาพด้วยวิธี Alkali-Acid Modification โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายกรดซัลฟิวริกพร้อมกับความร้อนทำให้พื้นที่ผิวของวัสดุเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมแก่การดูดซับมากยิ่งขึ้น และยังช่วยชะล้างไขมันและสิ่งสกปรกออกจากพื้นที่ผิวของวัสดุ อีกทั้งยังช่วยในการสลายพันธะโควาเลนต์ระหว่างลิกนินและเซลลูโลส ไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสและการสลายโครงสร้างของลิกนิน ดัง Figure 1 ทำให้มีแนวโน้มเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้ดีขึ้น⁶

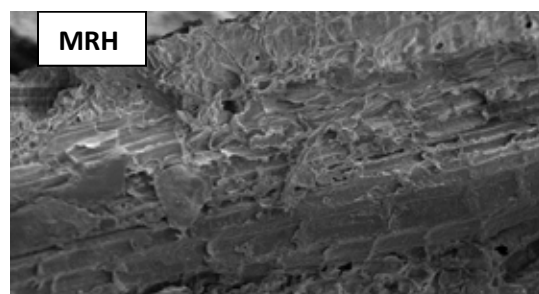
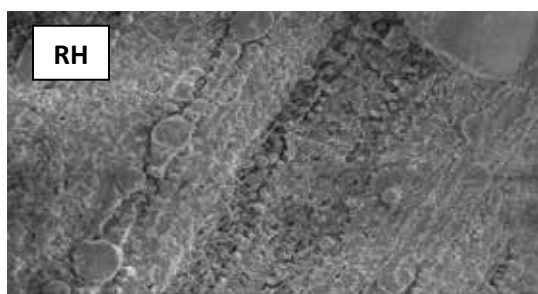


Figure 1 Characteristics of surface area in RH and MRH of adsorption using SEM at times 500 magnification

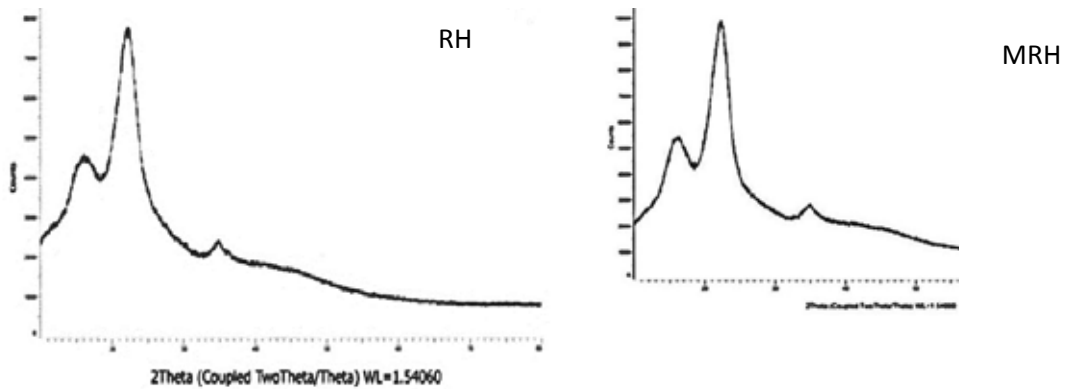


Figure 2 Characteristics of configuration in RH and MRH of adsorption using X-ray

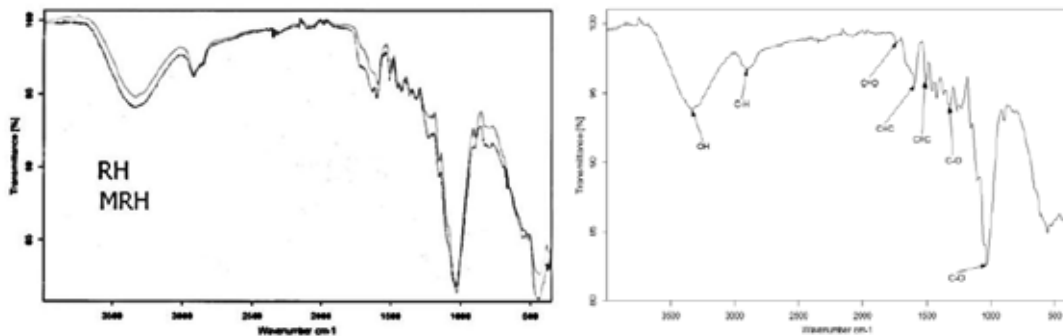


Figure 3 FT-IR spectra of RH and MRH

ภาพถัดมาคือการแสดงองค์ประกอบของแกลบและแกลบที่ปรับสภาพที่วิเคราะห์โดยเครื่อง X-Ray พบว่าวัสดุมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอนหรืออสัณฐาน และเมื่อหลังจากการปรับสภาพเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่ถูกกำจัดไปจึงทำให้เส้นกราฟมีความเป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น ดังแสดง Figure 2 นอกจากนี้ จาก Figure 3 ผลวิเคราะห์ FT-IR จะปรากฏพีคที่ 3400 cm⁻¹ แสดงการสั่นของ O-H stretching ตำแหน่งต่อมาพบที่ 1800 cm⁻¹ แสดงการสั่นของ C=O ทั้งหมดเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของซิลิกาซึ่งการที่แกลบปรับสภาพมีกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะผลของการทำปฏิกิริยาโดยกรดซัลฟิวริกและการใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเปลี่ยนกลุ่มฟังก์ชันจากไฮดรอกซิลเป็นคาร์บอกซิล ซึ่งเป็นการเพิ่มไอออนลบ (COO⁻) ให้แก่วัสดุ ทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่มีประจุบวกได้เพิ่มมากขึ้น⁷

Table 1 Characteristics of surface area (RH) and (MRH) of adsorption using BET

Adsorbent	BET surface area (m ² /g)	Total pore volume (cm ³ /g)	Mean pore diameter (nm)
RH	2.67	1.112	16.713
MRH	3.39	1.145	16.781

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดูดซับ Table 1 พบว่าเมื่อทำการปรับสภาพทำให้วัสดุดูดซับ มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป ได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งการปรับสภาพวัสดุด้วยวิธี Alkali-Acid Modification มีแนวโน้มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ในการดูดซับให้แก่วัสดุดูดซับในการ ดูดซับได้ จากการนำแกลบและแกลบปรับสภาพไปวัดด้วยเครื่อง Surface Area Analyzer (BET) ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน ปริมาตรรวมของรูพรุน โดยแกลบและแกลบปรับสภาพมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.67 ตารางเมตรต่อกรัม และ 3.39 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนของแกลบและแกลบปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 1.11 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ

1.14 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาการกระจายตัวของรูพรุน พบว่า รูพรุนส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร ซึ่งจัดว่าเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) และมีขนาดรูพรุนของแกลบและแกลบปรับปรุงสภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 16.71 นาโนเมตร และ 16.78 นาโนเมตร จากการศึกษาที่ได้จะเห็นว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรวมของรูพรุน และขนาดของรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เป็นผลมาจากกระบวนการปรับปรุงสภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาและงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ได้ทำการปรับปรุงสภาพด้วยวิธี Alkaline Acid Modification ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

ผลการศึกษา pH

ผลจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยใช้แกลบและแกลบปรับปรุงสภาพ ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 4

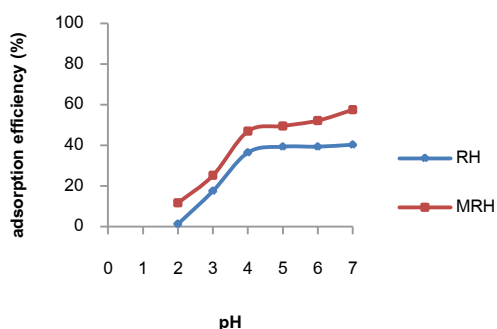


Figure 4 Effect of pH on Ni²⁺ adsorption

การศึกษาพบว่าเมื่อ pH ต่ำ ประสิทธิภาพการดูดซับจะต่ำเนื่องจากมีไฮโดรเจนไอออนเป็นจำนวนมากจึงทำให้เกิดการแย่งจับกับวัสดุดูดซับ และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น^๖ จากการศึกษา ที่ผ่านมาพบว่า เมื่อ pH มากกว่า 6 นิกเกิลจะตกตะกอน ในรูปของนิกเกิลไฮดรอกไซด์ Ni(OH)₂ จึงทำให้ ไม่สามารถแยกแยะระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับและการตกตะกอนได้ ผู้วิจัยจึงเลือก pH 5 เพื่อนำมาศึกษาปัจจัยต่อไป และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างแกลบและแกลบที่ปรับปรุงสภาพ พบว่า แกลบที่ปรับปรุงสภาพมีประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงกว่าเพราะว่าการปรับปรุงสภาพด้วยกระบวนการ Alkali-Acid Modification จะทำให้โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนไป ทั้งยังเป็นการเพิ่มรูพรุนให้กับวัสดุจึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้น

ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส

ผลจากการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยใช้แกลบและแกลบปรับปรุงสภาพ ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 5

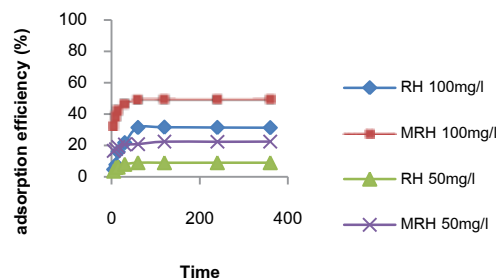


Figure 5 Effect of time on Ni²⁺ removal rate.

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากมีปริมาณสารละลายอยู่ในตัวทำละลายในปริมาณที่มากจึงทำให้เกิดการแย่งจับกับตัวดูดซับได้มาก และเมื่อพิจารณาตามระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ความเข้มข้นทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากในระยะแรกของการดูดซับปริมาณรูพรุนยังมีอยู่มาก การดูดซับจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อเวลาผ่านไปรูพรุนของตัวดูดซับลดลงจึงทำให้การดูดซับค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ

ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นต่ออุณหภูมิ

จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับก็จะสูงขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เพราะว่าเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เองและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษาคืออุณหภูมิที่ 30°C และความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลดัง Figure 6

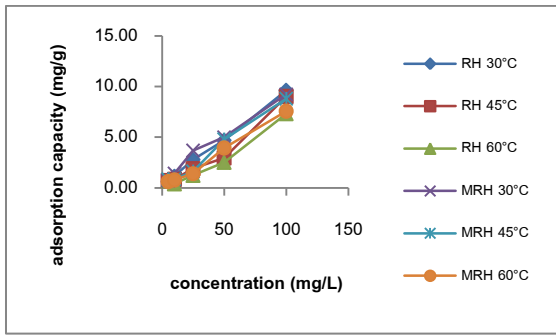


Figure 6 Effects of initial Ni²⁺ concentration on adsorption capacity of RH and MRH

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

นำค่าความเข้มข้นต่ออุณหภูมิไปทำการศึกษา ไอโซเทอมของการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir, Freundlich Isotherm เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการอธิบายกลไกการดูดซับและหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดแสดงใน Table 2 และ 3 การศึกษาไอโซเทอร์ม เมื่อพิจารณาจากค่า R² พบว่า มีความใกล้เคียงกับสมการแลงเมียร์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีของแลงเมียร์ ได้ว่า การดูดซับสามารถเกิดได้มากที่สุดและมีความหนาเพียงชั้นเดียว แต่ละตำแหน่ง จะสามารถจับสารที่ถูกดูดซับได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer type adsorption)¹⁰

Table 2 The parameters of Langmuir Freundlich for RH adsorption.

temp. (°C)	Langmuir			Freundlich			Temkin			Harkins-Jura		
	Q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	K _F (g/L)	n	R ²	KT (L/g)	b	R ²	A	B	R ²
30	2.80	1.25	0.828	1.04	1.57	0.925	3.34	0.25	0.616	0.46	2.83	0.682
45	1.78	0.94	0.945	1.25	1.68	0.764	2.27	0.41	0.477	0.47	2.31	0.788
60	1.74	0.93	0.925	2.08	1.34	0.874	1.96	0.61	0.561	0.26	6.37	0.214

Table 3 The parameters of Langmuir Freundlich for MRH adsorption.

temp. (°C)	Langmuir			Freundlich			Temkin			Harkins-Jura		
	Q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	K _F (g/L)	n	R ²	KT (L/g)	b	R ²	A	B	R ²
30	3.20	0.36	0.969	1.55	2.20	0.747	3.98	0.30	0.416	0.73	0.51	0.557
45	1.72	1.69	0.955	1.59	3.27	0.623	5.34	1.13	0.238	0.67	1.07	0.694
60	2.54	0.05	0.954	2.18	3.05	0.525	4.58	1.04	0.321	0.35	4.50	0.858

ผลการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ

จากผลการศึกษาระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับแตกต่างกันแสดงว่าความเข้มข้นของนิกเกิลมีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับโดยผลการทดลองดังกล่าวจะนำมา

ศึกษากลไกทางจลนศาสตร์สมการที่จะนำมาศึกษา ได้แก่ Pseudo First Order และ Pseudo Second Order และการแพร่กระจายภายในอนุภาค ดัง Table 4

Table 4 Pseudo First Order, Pseudo Second Order and Intraparticle Diffusion constants for adsorption of lead on Rich Husk and modified Rich Husk.

Concentration (mg/L)	Pseudo First Order			Pseudo Second Order			Intraparticle Diffusion		
	K ₁ (min ⁻¹)	q ₀ (mg/g)	R ²	K ₂ (mg/g ^{0.5} min ⁻¹)	q ₀ (mg/g)	R ²	K _{id} (mg ^{0.5} min ^{-0.5} /g)	C _i	R ²
50 RH	7.40	0.06	0.989	39.84	0.007	0.998	3.32	123.19	0.155
100 RH	26.75	0.18	0.977	80.66	0.002	0.999	0.66	61.24	0.014
50 MRH	1.65	0.01	0.975	41.49	0.007	0.998	3.82	171.62	0.118
100MRH	26.95	0.14	0.993	83.33	0.002	0.998	0.53	35.82	0.008

เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 พบว่า มีความใกล้เคียงกับสมการ Pseudo Second Order สามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีได้ว่า ในการเคลื่อนที่ของไอออนนิกเกิลผ่าน ชั้นฟิล์มของเหลวและแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนเป็นขั้นตอนในการควบคุมอัตราเร็วของการดูดซับ¹¹

ผลการศึกษาทอไรโมไดนามิกซ์

การศึกษาดุลยภาพการดูดซับของแกลบและแกลบปรับสภาพ พบว่า ΔG° มีค่าที่เป็นลบ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous Reaction) ΔH° อธิบายได้ว่าปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) โดยผลของแกลบและแกลบปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -7.68 กิโลจูลต่อโมล และ -49.43 กิโลจูลต่อโมล และ ΔS° ของแกลบและ แกลบปรับสภาพ มีค่าเท่ากับ -176.39 จูลต่อโมล- เคลวิน และ -26.16 จูลต่อโมลเคลวิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ระบบมีความเป็นระเบียบมากขึ้น¹²

ผลการศึกษาคายซับ

ศึกษาคายซับนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยใช้แกลบและแกลบปรับสภาพ ที่ภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับที่ pH 5 ระยะเวลา 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ $30^\circ C$ นำมาคายซับโดยใช้กรดไนตริก (NH_4NO_3) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, และ 1.5 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ได้ผลการศึกษาดัง Figure 7

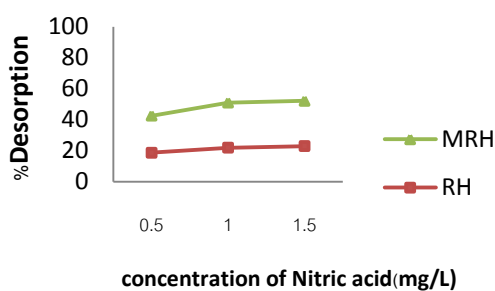


Figure 7 Efficiency of desorption

พบว่าประสิทธิภาพการคายซับของแกลบและแกลบปรับสภาพที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ มีค่า 18.75%, 23.85% ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 22.02%, 29.03% และที่ความเข้มข้นที่ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ 22.99%, 29.19% ตามลำดับจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการคายซับมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ไม่มากเมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกสูงขึ้นเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของกรดไนตริกไปแทนที่ของนิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) ทำให้

นิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) หลุดออกจากตัวดูดซับส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพการคายซับ¹⁵ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แกลบและแกลบปรับสภาพหลังผ่านการดูดซับควรนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัยเนื่องจากยังมีค่าประสิทธิภาพการคายซับค่อนข้างต่ำเมื่อนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัยจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้น้อยมาก จากการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าแกลบและแกลบปรับสภาพเป็นวัสดุดูดซับที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา สรุปได้ว่า pH ที่เหมาะสมต่อการ ดูดซับนิกเกิลโดยใช้แกลบและแกลบปรับสภาพคือที่ pH 5 ระยะเวลาในการสัมผัสคือที่ 60 นาที ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่สภาวะดังกล่าวจะมีความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 2.80 มิลลิกรัมต่อกรัม และการศึกษา ไอโซเทอร์มพบว่าสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์การศึกษาจลนศาสตร์สอดคล้องกับ Pseudo second order อีกทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ประสิทธิภาพการคายซับของแกลบและแกลบปรับสภาพสูงสุดอยู่ที่ 22.99% และ 29.19% เปรอ์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ วัสดุหลังการดูดซับควรนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย เนื่องจากการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้มอบทุนทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ 2557 รวมทั้งคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ลดหย่อนค่าวิเคราะห์คุณลักษณะและองค์ประกอบของตัวดูดซับ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความเอื้อเฟื้อในด้านต่าง ๆ จนงานวิจัยสามารถดำเนินการสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยณรงค์ ไชยสินธุ์. 2545. ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบด้วยโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารปอซโซลาน. วิทยานิพนธ์

- ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น
2. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2539. มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม
 3. พรพิมล ห่อสุวรรณชัย. การบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสียชุมชน โดยวิธีหมักกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 4. Przemysław Bartczak, Małgorzata Norman, Łukasz Klapiszewski, Natalia Karwan´ ska, Małgorzata Kawalec, Monika Baczyn´ ska, Marcin Wysokowski, Jakub Zdarta, Filip Ciesielczyk, Teofil Jesionowski. Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arabian Journal of Chemistry* (2015)
 5. Amira M. Mahmoud, Fatma A. Ibrahim, Seham A. Shaban, Nadia A. Youssef. Adsorption of heavy metal ion from aqueous solution by nickel oxide nano catalyst prepared by different methods. *Egyptian Journal of Petroleum* (2015) 24, 27–35
 6. Nady A. Fathy, Ola I. El-Shafey, and Laila B. Khalil. 2013(2013). Effectiveness of Alkali-Acid Treatment in Enhancement the Adsorption Capacity for Rice Straw : The Removal of Methylene Blue Dye
 7. Yusra Safa, Haq Nawaz Bhatti. Kinetic and thermodynamic modeling for the removal of Direct Red-31 and Direct Orange-26 dyes from aqueous solutions by rice husk. *Desalination* 272 (2011) 313–322
 8. L.Mangaleshwaran, A.Thirulogachandara, V.Rajasekar, C.Muthukumarab,K.Rasappan. Batch and fixed bed column studies on nickel(II) adsorption from aqueous solution by treated polyurethane foam. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 55 (2015) 112–118
 9. Malihe Fouladgar, Masoud Beheshti, Hassan Sabzyan. Single and binary adsorption of nickel and copper from aqueous solutions by γ -alumina nanoparticles: Equilibrium and kinetic modeling. *Journal of Molecular Liquids* 211 (2015) 1060–1073
 10. Qingge Feng, Qingyu Lin, Fuzhong Gong, Shuichi Sugita, Masami Shoya. Adsorption of lead and mercury by rice husk ash. *Journal of Colloid and Interface Science* 278 (2004) 1–8
 11. Nabisab Mujawar Mubarak, Jaya Narayan Sahu, Ezzat Chan Abdullah, Natesan Subramanian Jayakumar. Rapid adsorption of toxic Pb(II) ions from aqueous solution using multiwall carbon nanotubes synthesized by microwave chemical vapor deposition technique. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES XX (2 0 1 6*
 12. อุษณีย์ รัชไชยวรรณ, ยุพดี กุลรัตน์กิตติวงศ์, โกวิทย์ปิยะมังกลา. การดูดซับไอออนเงินโดยไคโตซานเรซิน: ผลของอุณหภูมิ. วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง 2558
 13. Arameh Masoumi, Khadijeh Hemmati, Mousa Ghaemy. Low-cost nanoparticles sorbent from modified rice husk and a copolymer for efficient removal of Pb(II) and crystal violet from water. *Chemosphere* 146 (2016)
 14. Mandeep Singh, Binoy Sarkar, Bhabananda Biswas, Jock Churchman , Nanthi S. Bolan. Adsorption-desorption behavior of dissolved organic carbon by soil clayfractions of varying mineralogy. *Geoderma* 280 (2016) 47–56
 15. เกษราพร สุอรุณ, และ โกวิทย์ ปิยะมังกลา. จลนศาสตร์การดูดซับไอออนเงินโดยเรซินไคโตซาน. ว.วิทย์. มช. 40(4) 1285-1300 (2555)

การจำแนกความคิดเห็นของคนไทยเกี่ยวกับสื่อออนไลน์โดยใช้การทำเหมืองข้อความ Classifying Thai opinions on online media using text mining

นุชนาฏ ปิ่นเมือง^{1,*}, จารี ทองคำ²

Noochanat Pinmuang¹, Jaree Thongkam²

Received: 27 March 2017 ; Accepted: 12 October 2017

บทคัดย่อ

เหมืองข้อความ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอักษรเพื่อสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากแหล่งข้อมูล ปัจจุบันเทคนิคในการจำแนกเหมืองข้อความมีหลายวิธี เพย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเทคนิคการจำแนก จาก 5 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพ คือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine (SVM) เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) และเทคนิค C4.5 ในการเก็บรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นต่อการใช้บริการพร้อมเพย์บนสื่อออนไลน์จำนวนทั้งหมด 1,570 ข้อความ ในกระบวนการคัดเลือกคำบ่งชี้เพื่อใช้ในการแยกคุณลักษณะได้เลือกใช้คำวิเศษณ์เพื่อทำการแยกคุณลักษณะเชิงบวกและเชิงลบ คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพการจำแนกของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) เมื่อทำการทดสอบและวัดประสิทธิภาพของโมเดลพบว่า เทคนิค Naïve Bayes ให้ผลดีที่สุดในการจำแนกข้อความความคิดเห็น โดยให้ค่าความถูกต้อง 93.88% ค่าความแม่นยำ 94.02% และค่าความระลึก 93.54%

คำสำคัญ เหมืองข้อความ การจัดกลุ่มความคิดเห็น พร้อมเพย์

Abstract

Text mining is one of the most effective data analysis processes using alphabetic methods. Currently, text mining techniques are classified a variety of ways. This research aims to find the most effectiveness of 5 techniques that were Naïve Bayes, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor, Decision tree และ C4.5. The data collected were all made by the viewers in a total of 1,570 messages. The categorization process divided the data into 2 groups: positive character and negative character. Interestingly, the process only indicated to that adverbs can be selected as a core division to produce positive and negative characters. 10-fold cross validation was applied to segment the data into training and testing sets. Moreover, accuracy, precision and recall were used as the criteria for selecting the most effective model. It was concluded that the Naïve Bayes technique produced the greatest accuracy in categorizing the messages with an accuracy score of 93.88%, precision of 94.02% and recall of 93.54%.

Keywords: Text mining, Grouping the opinion, Classification the opinion, Prompt pay

¹ นิสิต, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150.

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, อาจารย์ที่ปรึกษา หน่วยวิจัยสารสนเทศประยุกต์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150.

¹ Student, Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand, 44150.

² Assistant Professor, Applied informatics Research Unit, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand, 44150.

* Corresponding author: Tel: +66 086 8596761 Email address: anakinnooch1983@gmail.com

บทนำ

พร้อมเพย์ เป็นบริการเพิ่มจากการโอนเงินแบบเดิมซึ่งถือว่าเป็นอีกทางเลือกใหม่ให้ประชาชน ผู้ประกอบธุรกิจและหน่วยงานต่างๆ ใช้ในการโอนเงินและรับเงิน ทำให้ประชาชนสามารถเลือกใช้งานได้อีกทั้งทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกมากขึ้น¹ อย่างไรก็ตามระบบพร้อมเพย์ก็ยังคงถูกวิจารณ์และมีการแสดงความคิดเห็นทั้งในแง่ความคิดเห็นเชิงบวกและเชิงลบบนสื่อออนไลน์หลาย ๆ สื่อด้วยกัน โดยเฉพาะบนเฟซบุ๊กซึ่งเป็นสื่อออนไลน์และคำวิจารณ์อยู่ในรูปแบบของข้อความความคิดเห็นซึ่งมีลักษณะเป็นภาษาธรรมชาติหรือภาษาพูดนั่นเอง ถือเป็นลักษณะภาษาที่ไม่เป็นทางการและไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นกระบวนการวิเคราะห์ข้อความจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของความซับซ้อนทางความหมายของคำและประโยค

เหมือนข้อความที่เป็นกระบวนการเพื่อสกัดเอาความรู้จากภาษาธรรมชาติที่มีลักษณะของข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้างอีกทั้งไม่มีการกำหนดรูปแบบไว้ล่วงหน้า² ผลของข้อมูลที่ได้อาจจึงไม่มีความแน่นอนของเหตุผลนั้นๆ ที่แฝงอยู่ในกลุ่มของข้อความซึ่งมีลักษณะเป็นภาษาธรรมชาติ การทำเหมืองข้อมูลจำนวนมากนั้นจะเป็นลักษณะของการนำเสนอรูปแบบสำหรับการทำเหมืองข้อความที่ใช้ประโยชน์ในเอกสารและใช้ความรู้ที่ได้จากการสกัดข้อความเหล่านั้นมาเพื่อปรับปรุงรูปแบบและปัญหาต่างๆ ของสิ่งนั้น³ การค้นพบรูปแบบยังคงเป็นปัญหาเนื่องจากส่วนใหญ่แล้ววิธีการทำเหมืองข้อความมักจะประสบปัญหาของหลักภาษาและคำพ้องซึ่งมีลักษณะที่ซับซ้อนกันออกไป โดยได้มีการจัดสมมติฐานที่เกี่ยวกับกลุ่มคำหรือวลี ซึ่งวิธีดังกล่าวน่าจะได้ผลการทำงานที่ดีกว่า ในการวิเคราะห์ข้อความที่ไม่มีโครงสร้างแบบอัตโนมัติจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายการนำเทคนิคการทำเหมืองข้อความมาประยุกต์ใช้ในการทำเหมืองแสดงความคิดเห็นซึ่งเป็นอีกกระบวนการวิเคราะห์เหมือนข้อความ⁴ โดยการนำเอาข้อคิดเห็นมาทำการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงความพึงพอใจที่มีต่อสิ่งนั้นๆ และในการสกัดคำตามคุณลักษณะที่แตกต่างกันอาจได้มาซึ่งประโยชน์เพื่อการพิจารณาวิเคราะห์ที่หลากหลายและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอาเทคนิคการจำแนกในเหมืองข้อมูลและการเรียนรู้ของเครื่องมาทำการสกัดความรู้เพื่อใช้เป็นต้นแบบการจำแนก เช่น ประพัทธ์ พรมน้ำอ่างและคณะ⁵ ได้นำเสนอการจำแนกกลุ่มข้อความแสดงความคิดเห็นที่มีต่อสินค้าโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล เพื่อหาความแม่นยำของรูปแบบการจำแนกข้อความแสดงความคิดเห็นเพื่อนำไปพัฒนารูปแบบการจำแนกข้อความ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบ 4 เทคนิค คือเทคนิค SVM เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิค K-

Nearest Neighbor และเทคนิค Naïve Bayes ผลการทดลองพบว่าเทคนิค SVM ได้ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดที่ 86.26% ที่สุด

พัชรนิกันต์ พงษ์ธนู และคณะ⁶ ได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์เหมืองข้อความจากการเก็บข้อมูลการแสดงความคิดเห็นของลูกค้าจากข้อความคำแนะนำบนเว็บไซต์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการบริการของเว็บไซต์ผู้ให้บริการโรงแรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสกัดความคิดเห็นด้านดีและด้านไม่ดีเพื่อสรุปการให้บริการของเว็บไซต์ และเพื่อค้นหาว่าจำนวนของคำบางซึ่งมีผลต่อการให้ค่าความถูกต้องหรือไม่ ซึ่งได้เปรียบเทียบผลจากการสร้างโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ โดยการใช้อัลกอริทึม ID3 และเทคนิค Naïve Bayes โดยผลของการทดลองนั้นเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจให้ค่าเฉลี่ยของมากที่สุดที่ 95.50%

อดิเทพ ไชยสารและรัฐสิทธิ์ สุขะหุต⁷ ได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบการประมาณอารมณ์จากความคิดเห็นภาษาไทยโดยใช้วิธีการจำแนกอารมณ์จากข้อความแสดงความคิดเห็นจากเว็บไซต์บริการข่าวและบริการวิจารณ์สินค้า โดยได้ใช้เทคนิคการจำแนก 3 เทคนิค ด้วยกันคือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งได้มีผู้เชี่ยวชาญจำแนกความคิดเห็นตามกลุ่มอารมณ์ 6 กลุ่มอารมณ์ ซึ่งผลการทดสอบการความถูกต้องในการประมาณอารมณ์โดยรวมพบว่าเทคนิค SVM สามารถประมาณอารมณ์ได้ถูกต้องที่สุดที่ 69.15%

Peiman Barnaghi และ John G. Breslin⁸ ได้นำเสนอกระบวนการสร้างโมเดลในการวิเคราะห์ความคิดเห็นเพื่อค้นหาภาพสะท้อนความเชื่อมั่นของประชาชนต่อเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคต ผ่านการใช้งานบน Twitter โดยการใช้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดงาน FIFA World Cup 2014 โดยทำการพิจารณาข้อคิดเห็นที่เป็นเชิงบวกและเชิงลบ จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบการสร้างโมเดลจากการใช้เทคนิค Bayesian Logistic Regression (BLR) และเทคนิค Naïve Bayes โดยผลการทดสอบพบว่าเทคนิค BLR ให้ผลที่ดีกว่าการใช้เทคนิค Naïve Bayes

Mondher Bouazizi และ Tomoaki Ohtsuki⁹ ได้นำเสนอกระบวนการวิเคราะห์ข้อความความคิดเห็นของภาษาบนสื่อออนไลน์และเปรียบเทียบโมเดลในการจำแนกข้อความความคิดเห็นที่ดีที่สุด เพื่อนำมาวิเคราะห์การจำแนกหัวข้อและทัศนคติที่ผู้ใช้งาน Twitter สนใจ และได้ใช้เทคนิคการจำแนก 2 เทคนิค ด้วยกันคือ เทคนิค Naïve Bayes และเทคนิค SVM เมื่อทำการ

เปรียบเทียบผลการทดลองของทั้งสองเทคนิควิธีด้วยข้อมูล 2 ลักษณะ คือ ข้อมูลแสดงความคิดเห็นและข้อมูลแสดงความคิดเห็นที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นแล้ว ผลที่ได้จากการทดลองนั้น คือ เทคนิค SVM ให้ผลของการจำแนกที่ดีที่สุด จากงานวิจัยที่ได้มีการศึกษานั้น พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มีการจำแนกความคิดเห็นออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ความคิดเห็นเชิงบวกและความคิดเห็นเชิงลบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำเปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกความคิดเห็น คือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิค C4.5 จากนั้นใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall)

โดยแบบจำลองนี้สามารถนำไปจำแนกกลุ่มความสนใจของผู้ใช้ได้อัตโนมัติทำให้เกิดความรวดเร็วต่อการจำแนกกลุ่มของผู้ใช้พร้อมเพ็ญซึ่งจะมีประโยชน์ต่อธนาคารเพื่อใช้ในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในงานบริการ

วัตถุประสงค์

เพื่อทำเปรียบเทียบเทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิค C4.5 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกความคิดเห็น จากนั้นใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เทคนิคที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองได้แก่¹⁰ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5

1. เทคนิค Naïve Bayes

เป็นเทคนิควิธีการจำแนกประเภทที่อาศัยหลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็นตามกฎของเบย์ เพื่อหาว่าสมมติฐานใดน่าจะเป็นความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจะสามารถบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของข้อมูลชุดหนึ่งที่จะอยู่ในหมวดหมู่ของข้อมูลนั้นๆ โดยทฤษฎีของเบย์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$P(H|X) = \frac{P(X|H)P(H)}{P(X)} \quad (1)$$

โดย X แทนข้อมูลการแจกแจงความน่าจะเป็น
 $P(H)$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของ
 $HP(X)$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของ X
 $P(H|X)$ คือ ความน่าจะเป็นของ H เมื่อรู้ X
 $P(X|H)$ คือ ความน่าจะเป็นของ X เมื่อรู้ H

2. เทคนิค Support Vector Machine

คือ ขั้นตอนวิธีการที่มีความรวดเร็วและเป็นอัลกอริทึมที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูล ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยอาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกต้องเข้าสู่วิธีการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกและกลุ่มข้อมูลที่ดีที่สุด แนวความคิดของเทคนิควิธี SVM นั้นเกิดจากการที่นำค่าของกลุ่มข้อมูลมาวางลงในฟีเจอร์สเปซ (Feature Space) ในลักษณะเชิงเส้น จากนั้นจึงหาเส้นที่ใช้แบ่งข้อมูลทั้งสองออกจากกัน โดยจะทำการสร้างเส้นแบ่ง (Hyperplane) ที่เป็นเส้นตรงขึ้นมา เพื่อให้ทราบว่าเป็นเส้นตรงที่แบ่งกลุ่มสองกลุ่มออกจากกันนั้น เส้นใดเป็นเส้นที่ดีที่สุด

3. เทคนิค K-Nearest Neighbor

เป็นวิธีที่ใช้ในการจัดแบ่งคลาส โดยเทคนิคนี้จะตัดสินใจว่า คลาสใดที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ๆ ได้บ้าง โดยการตรวจสอบจำนวนบาง ของกรณีหรือเงื่อนไขที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยจะหาผลรวมของจำนวนเงื่อนไข หรือกรณีต่างๆ สำหรับแต่ละคลาส และกำหนดเงื่อนไขใหม่ๆ ให้คลาสที่เหมือนกันกับคลาสที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดนั้นเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มข้อมูล โดยการจัดข้อมูลที่อยู่ใกล้กันให้เป็นกลุ่มเดียวกันซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้ตัดสินใจได้ว่า คลาสไหนที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ๆ ได้บ้าง โดยการตรวจสอบจำนวน K ซึ่งถ้าหากเงื่อนไขของการตัดสินใจมีความซับซ้อน วิธีนี้สามารถสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพได้

4. เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree)

เป็นเทคนิควิธีเหมืองข้อมูลที่เป็นที่นิยมกันมาก เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายต่อการตีความหมาย ต้นไม้ตัดสินใจนั้นจะประกอบไปด้วยโหนด (Node) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแสดงคุณลักษณะที่ใช้สำหรับการทดสอบข้อมูล กิ่ง (Branch) เป็นส่วนที่จะแสดงคุณสมบัติในโหนดที่ได้มีการแตกออกมา และใบ (Leaf) จะแสดงกลุ่มหรือคลาสที่ได้มีการกำหนดเอาไว้ และในหาความสัมพันธ์ของแต่ละโหนดที่แสดงคุณลักษณะ (Attribute) นั้นจะใช้ค่า Information Gain เพื่อหาความสัมพันธ์ของในแต่ละโหนดคุณลักษณะ โดยการนำค่า Information Gain นี้จะช่วยลดจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดสอบ

และทำให้ต้นไม้ตัดสินใจที่ได้ไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป

5. เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจแบบ C4.5

เป็นเทคนิควิธีหนึ่งที่ได้ทำการพัฒนามาจากเทคนิค ID3 ซึ่งได้กลายมาเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำงานในอัลกอริทึมต่างๆ โดยในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 จะใช้ค่ามาตรฐานส่วนเกิน (Gain Ratio) เพื่อทำการคัดเลือกคุณลักษณะที่จะใช้เป็นรากหรือโหนด

วิธีการวิจัย

งานวิจัยการจัดกลุ่มข้อความความคิดเห็นนี้ได้นำเอากระบวนการวิเคราะห์เหมืองข้อความ¹⁰ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการแสดงความความคิดเห็นได้ทำการแบ่งการรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนนี้ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.1 การเก็บข้อมูลแสดงความความคิดเห็น

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการแสดงความความคิดเห็นผ่านการใช้งาน Facebook Graph API โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีการ

แสดงความคิดเห็นตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2559 – มกราคม 2560 จำนวน 1,570 ข้อความความคิดเห็น โดยในแต่ละความคิดเห็นจะมีการแสดงข้อมูลของผู้แสดงความคิดเห็นคือแสดงชื่อผู้ใช้งานและรหัสประจำตัวของผู้ใช้งาน ในส่วนของข้อความ จะแสดงข้อความแสดงความคิดเห็นและรหัสประจำข้อความ และทำการบันทึกข้อความความคิดเห็นลงฐานข้อมูล ดังแสดงใน Figure 1

1.2 กระบวนการตัดคำและกำจัดคำหยุด

กระบวนการนี้จะเป็นการนำเอาข้อคิดเห็นที่ได้เก็บรวบรวมมาทำการตัดแยกข้อคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่กำหนดและจะต้องเป็นข้อความภาษาไทยเท่านั้น จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการตัดคำดังแสดงใน Figure 2 จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการหาค่าความถี่การใช้คำในเอกสารโดยมีค่าทั้งหมดรวมถึงคำภาษาไทยและภาษาอังกฤษจำนวน 3,581 คำ ดังแสดงใน Figure 3 แล้วทำการตัดคำที่เป็นภาษาอังกฤษและตัวเลขออกไปเหลือคำจำนวน 3,302 คำ จากนั้นมาให้ประเภทตามประเภทของพจนานุกรมของแต่ละคำโดยแบ่งเป็นทั้งหมด 11 ประเภท ได้แก่ คำนาม คำสรรพนาม คำกริยา คำวิเศษณ์ คำสันธาน คำบุพบท วลี คำอุทาน คำหยุด คำแสดง และคำไม่ตรงพจนานุกรม

no	comment	date
1	แล้วมันจะพร้อมใช้เมื่อไหร่ครับ รอธนาคารพาณิชย์ก็ตรงไปเรื่อยๆครับ ถ้าแบ่งคำดีไม่ออกมาบังคับ	14-12-16
2	ผมพร้อมจะเพย์ มาตั้งแต่สมัครแล้วครับ เหลือแค่ให้ระบบพร้อมใช้งาน	14-12-16
3	ขอบคุณประเทศไทยพร้อมเพย์ค่ะ ฉันได้รับเงินช่วยจากรัฐบาลแล้วค่ะ เมื่อสักครู่นี้เอง1500บาท	09-12-16
4	ใช่เออะ เพื่อภาครัฐจะได้ติดตามธุรกรรมทางการเงินของท่านได้ง่าย ถูกกฎหมาย ไม่ต้องมีหมาย โฉน	08-12-16
5	อันไหนของรัฐบาลชดเชยค่า ไม่ปึง เกิดยาก คิดมาแต่ละอย่าง เมาห่วยสามตัวท้าย ไปออกสามตัวหน้า	29-11-16
6	สมัครแล้วแต่ก็ต้องเสียค่าธรรมเนียมโอนเหมือนเดิมเพราะอีกฝ่ายไม่ได้สมัคร	29-11-16
7	อย่าโอนคิดไม่ถูกต้องก็แล้ว เพราะมีจจุบันมีการเมืองเขาของหาเรื่องตลอดจะวิธอย่าพลาดก็แล้วกัน	10-12-16
8	เห็นด้วยกับธนาคาร ที่ต้องก้าวทันโลก เพื่อสนองนักธุรกิจทั่วโลก และเปิดกว้างกับลูกค้าทุกระ	13-12-16
9	ประชาชนจะกลัวธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไม่ใช่เพราะอะไร แต่เพราะเวลาเกิดอะไรขึ้นแล้วแบงก์ไม่ค่อย	13-12-16
10	จากอดีตกาลมาสอนให้เรานึกว่า เราต้องมีเงินจะไปใช้จ่าย เราจึงอยู่กับ #อย่างสุขสบาย อยู่กับอ	06-12-16

Figure 1 Sample comments data saved to database

no	comments	num
1	แล้ว , มัน , จะ , พร้อม , ใช้ , เมื่อไหร่ , ครับ , รอ , ธนาคารพาณิชย์ , ก็ , คง , รอ , โ	17
2	ผม , พร้อม , จะ , เพย์ , มา , ตั้ง , แต่ , สมัคร , แล้ว , ครับ , เหลือ , แค่ , ให้ระบบ , pr	15
3	ขอบ , คุณ , คุงไทย , พร้อม , เพย์ , ค่ะ , ฉัน , ได้ , รับเงิน , ช่วย , จาก , รัฐบาล , แล้	19
4	ใช่ , เออะ , เพื่อ , ภาครัฐ , จะ , ได้ , ติดตาม , ธุรกรรม , ทางการเงิน , ของ , ท่าน , โ	42
5	อัน , โหน , ของ , รัฐบาล , ชุด , นี้ , ทำ , ไม่ , ปึง , เกิด , ยาก , คิด , มา , แต่ละ , อย	31
6	สมัคร , แล้ว , แต่ , ก็ , ต้อง , เสีย , ค่า , ธรรมเนียม , โอน , เหมือนเดิม , เพราะ , อีก	15
7	อย่า , โอน , คิด , ไม่ , ถูกต้อง , ก็ , แล้ว , เพราะ , บังคับ , การเมือง , เขา , ช้อง , โ	18
8	เห็นด้วย , กับ , ธนาคาร , ที่ , ต้อง , ก้าว , ทันโลก , เพื่อ , สนอง , นักธุรกิจ , ทั่วทุก ,	19
9	ประชาชน , จะ , กลัว , ธุรกรรม , อิเล็กทรอนิกส์ , ไม่ใช่ , เพราะอะไร , แต่ , เพราะ ,	17
10	จาก , อดีตกาล , มา , สอน , ให้ , เรา , สำนึก , ว่า , เรา , ต้อง , มี , เงิน , จะ , นำ , ไป	22

Figure 2 The sentences were cut and then saved to database

Word	Attribute Name	Total Occurrences	Document Occurrences
PromptPay	PromptPay	1	1
brand	brand	1	1
promptpay	promptpay	1	1
ดู	ดู	1	1
ตามสบาย	ตามสบาย	1	1
พร้อมเพย์	พร้อมเพย์	1	1
ขอ	ขอ	1	1
มี	มี	1	1
อย่างไร	อย่างไร	1	1
เอ	เอ	1	1

Figure 3 Counting the number of words that appear in this document

2. ขั้นตอนก่อนการสร้างแบบจำลอง

เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเตรียมข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนการจำแนกข้อความแสดงความคิดเห็นที่มีต่อการใช้บริการพร้อมเพย์ โดยจะนำข้อความความคิดเห็นที่ผ่านกระบวนการตัดแยกข้อความที่เกี่ยวข้องกับข้อคิดเห็นและผ่านกระบวนการตัดคำ กำจัดคำหยุด จากนั้นเลือกเอาเฉพาะคำที่เป็นคำวิเศษณ์จำนวน 577 คำ มาคัดแยกตามความหมายเชิงบวก เชิงลบ และเป็นกลางแล้วจะคงเหลือคำเพื่อบ่งชี้ลักษณะจำนวน 400 คำ โดยแบ่งคำหรือกลุ่มคำนั้นออกเป็น 2 กลุ่ม คือ คำแทนคุณลักษณะเชิงบวกและคำแทนคุณลักษณะเชิงลบ

1) วิธีการสร้างตัวแทนเอกสารนั้นจะใช้วิธีในการนำคำบ่งชี้คุณลักษณะในชุดข้อมูลมาเรียงกันเพื่อทำการนับความถี่ของการเกิดขึ้นของคำนั้นๆ จากนั้นจึงนำค่าจำนวนความถี่ของคำมาสร้างเวกเตอร์ตัวแทนเอกสาร และคำบ่งชี้ที่ไม่ปรากฏในเอกสารจะมีค่าเป็น 0 จากนั้นทำการนับจำนวนคำในแต่ละคุณลักษณะ โดยใช้การนับจำนวนความถี่ของคำคุณลักษณะในแต่ละคุณลักษณะว่ามีจำนวนเท่าใด เพื่อนำค่าความถี่ในการใช้คำของแต่ละคุณลักษณะมาทำการเปรียบเทียบกันโดย

2) เมื่อจำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงบวกมากกว่าความถี่ของคุณลักษณะเชิงลบให้ตัวแปรตามเป็น ความคิดเห็นเชิงบวก แทนด้วย P

3) เมื่อจำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงลบมากกว่าความถี่ของคุณลักษณะเชิงบวกให้ตัวแปรตาม เป็น ความคิดเห็นเชิงลบ แทนด้วย N

4) เมื่อจำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงบวกและความถี่ของคุณลักษณะเชิงลบเท่ากันให้ตัวแปรตาม เป็น ความคิดเห็นเป็นกลาง แทนด้วย B

ซึ่งผลจากการสร้างตัวแทนเอกสารแสดงใน

Figure 4

3. การสร้างแบบจำลอง

ในกระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการจัดกลุ่มความคิดเห็นที่มีต่อการบริการพร้อมเพย์ได้ใช้ข้อมูลความคิดเห็นที่เป็นภาษาไทย โดยใช้เทคนิคการจำแนกของการทำเหมืองข้อความมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 เทคนิค¹⁰ คือ

- 1) เทคนิค Naïve Bayes
- 2) เทคนิค Support Vector Machine
- 3) เทคนิค K-Nearest Neighbor
- 4) เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree)
- 5) เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจแบบ C4.5

row no	text	กลัว	กับกลัว	กลัว	ใจกลัว	ใจใจ	จำนวนคำ	positive	negative	Process
1	ใจ	0	0	0	0	0	1	1	0	P
2	ใจเสียค่าธรรมเนียม	0	0	0	0	0	2	1	1	B
3	ดี ไม่ต้อง รบกวน	0	0	0	0	0	3	1	2	N
4	ไม่เข้าใจ ยังไม่ได้ใช้ดูคือ	0	0	0	0	0	4	1	3	N
5	รบกวน เสียภาษี ยัง รบกวน	0	0	0	0	0	4	0	4	N
6	ได้ทันที ได้ไม่เสีย	0	0	0	0	0	5	3	2	P
7	ไม่เข้าใจ บังคับ ใช้ยังไม่เข้าใจ	0	0	0	0	0	7	2	5	N

Figure 4 The sample data, through the series of features

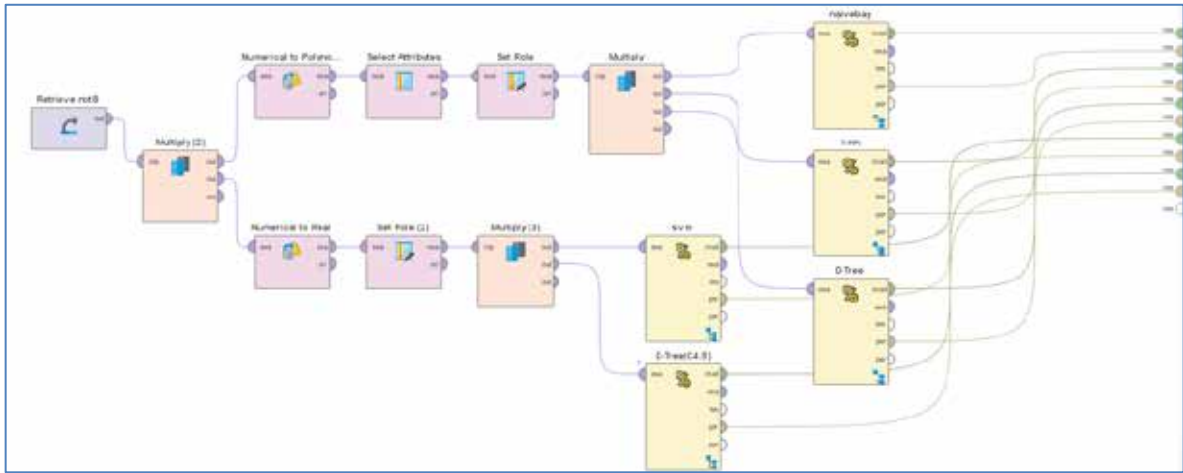


Figure 5 Import data into techniques to model with RapidMiner Studio V7.4.000

4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการประเมินผลของแบบจำลอง ใช้เทคนิคการวัดประสิทธิภาพแบบ 10-fold cross validation โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่ม เท่าๆ กัน จากนั้นในแต่ละรอบการทดสอบจะใช้ข้อมูล 1 ชุดเป็นทดสอบและให้อีกชุดที่เหลือเป็นชุดฝึกสอน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองในการจัดกลุ่มความคิดเห็นมีต่อการบริการพร้อมเพย์ โดยใช้แบบจำลองที่ละ 1 แบบจำลอง และนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการเก็บข้อมูลการแสดงความคิดเห็นซึ่งผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลแล้วจากข้อมูลทั้งหมด 1,015 ชุด ทำการแบ่งออกเป็นทั้งหมด 10 กลุ่ม ทั้งนี้จะแบ่งกลุ่มข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลทดสอบ (Data test) 1 ชุด และที่เหลือจะเป็นข้อมูลฝึก (Data training) ซึ่งคิดเป็นอัตราข้อมูลทดสอบต่อปริมาณข้อมูลฝึกคิดเป็นอัตราร้อยละ 10:90 โดยค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง คือได้ ความถูกต้อง (accuracy) ค่าความแม่นยำ (precision) และค่าความระลึก (recall) ดังสมการที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \tag{2}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{3}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \tag{4}$$

โดย TP คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกนำมาใช้อย่างถูกต้อง
 TN คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดที่ถูกนำมาใช้
 FP คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องแต่ไม่นำมาใช้
 FN คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดแต่ไม่นำมาใช้

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองจำแนกความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้บริการพร้อมเพย์ด้วยเทคนิคการจำแนกของการทำเหมืองข้อความมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 เทคนิค คือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิค C4.5 ผ่านการใช้งานโปรแกรม RapidMiner Studio V7.4.000 โดยชุดข้อมูลเอกสารที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวบรวมจากเฟสบุ๊ค จำนวน 1,570 ชุดข้อมูล จากนั้นทำการค้นหาคุณลักษณะของคำเพื่อทำการกำหนดคุณลักษณะของแต่ละประโยค โดยใช้ค่าเพื่อทำการกำหนดคุณลักษณะทั้งหมด 400 คำ แบ่งออกเป็นค่าบ่งชี้คุณลักษณะเชิงบวกจำนวน 123 คำ และค่าบ่งชี้คุณลักษณะเชิงลบจำนวน 277 คำ จากนั้นทำการคัดเลือกข้อมูลเข้าสู่โมเดล โดยในการคัดเลือกครั้งแรกทำการตัดข้อมูลที่ไม่ปรากฏค่าแสดงคุณลักษณะ คือ มีค่าของจำนวนค่าเป็น 0 ซึ่งในขั้นแรกคงเหลือจำนวนข้อมูล 1,215 ชุดข้อมูล จากนั้นเลือกเพียงชุดข้อมูลที่เป็น คลาส P และ N เท่านั้น ซึ่งจำนวนชุดข้อมูลที่เตรียมเข้าสู่โมเดลทั้ง 5 จะเหลือเพียง 1,015 ชุดข้อมูล

ในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลทั้ง 5 โมเดล โดยใช้การทดสอบโมเดลด้วยวิธีการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ และค่าความระลึก

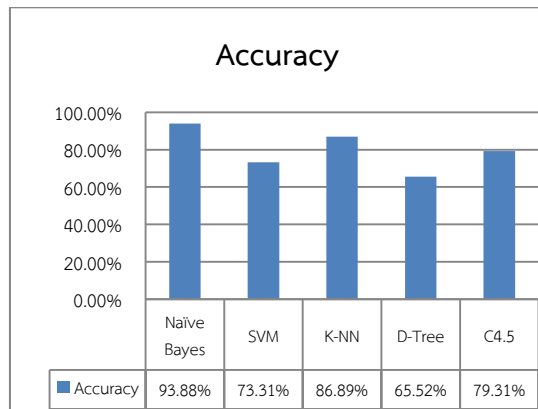


Figure 6 Comparison of accuracy

จาก Figure 6 เป็นการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของ 5 เทคนิคประกอบด้วย เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และ เทคนิค C4.5 ผลปรากฏว่าเทคนิค Naïve Bayes ให้ความถูกต้องสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 93.885% รองลงมาคือเทคนิค K-NN ที่ 86.89%

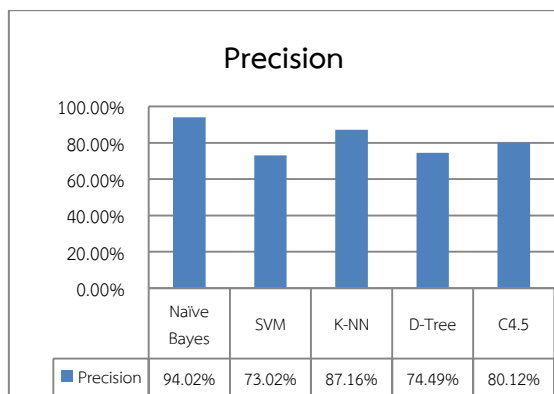


Figure 7 Comparison of precision

ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำใน Figure 7 จะเห็นได้ว่าผลของการเปรียบเทียบนั้น เทคนิค Naïve Bayes ให้ผลของความแม่นยำดีที่สุุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 94.02% รองลงมาคือเทคนิค K-Nearest Neighbor ที่ค่า 87.16% และใน Figure 8 จะแสดงการเปรียบเทียบค่าความระลึกของโมเดลผลจากการเปรียบเทียบทั้ง 5 เทคนิค จะเห็นได้ว่าเทคนิค Naïve Bayes ให้ผลดีที่สุุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 93.54% รองลงมาคือเทคนิค K-Nearest Neighbor ที่ 88.24%

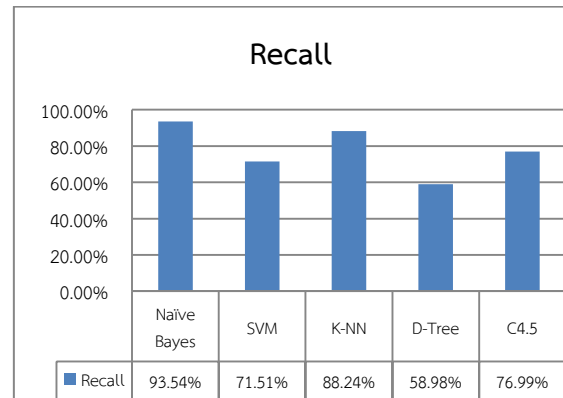


Figure 8 Comparison of recall

จากการเปรียบเทียบของทั้ง 5 โมเดล จะเห็นได้ว่าเทคนิค Naïve Bayes ให้ผลการทดสอบดีที่สุุดอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าความถูกต้อง 93.88% ค่าความแม่นยำ 94.02% และค่าความระลึก 93.54% และรองลงมาจะเป็นเทคนิค K-Nearest Neighbor

แม้ว่าโมเดลการจำแนกกลุ่มของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ดี แต่อย่างไรก็ตามข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการจำแนกกลุ่มของโมเดลทั้ง 5 นี้ ได้ใช้วิธีการในการจำแนกกลุ่มตามคุณลักษณะของคำ ซึ่งการดำเนินการเพื่อให้ได้คำที่ใช้ในการจำแนกคุณลักษณะมานั้นใช้วิธีการอิงตามความหมายและประเภทของคำในพจนานุกรมเป็นหลัก อีกทั้งคำที่ใช้ในการจำแนกคุณลักษณะได้ทำการเลือกเพียงคำวิเศษณ์ที่สามารถจำแนกความหมายออกได้เป็นคุณลักษณะเชิงบวกและคุณลักษณะเชิงลบเท่านั้น อีกทั้งข้อผิดพลาดจากการตัดคำ ซึ่งผลของการตัดคำนั้นอาจไม่สามารถให้ความหมายและประเภทของคำคำนั้นได้อย่างถูกต้องตามความหมายและประเภทของพจนานุกรมได้

จากการรวบรวมข้อมูลจากสื่อออนไลน์ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อความภาษาธรรมชาติ กล่าวคือ คำบางคำที่พบในเอกสารอาจไม่พบในพจนานุกรม ซึ่งคำดังกล่าวจะไม่สามารถแยกประเภทของคำได้ ถึงแม้ว่าคำดังกล่าวจะเป็นคำที่สามารถเป็นคำบ่งชี้คุณลักษณะได้ดีก็ตาม จึงไม่สามารถนำมาทดสอบในโมเดลดังกล่าวได้ด้วยเช่นกัน

วิจารณ์และสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ เพื่อค้นหาเทคนิคการทำเหมืองข้อความที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อความความคิดเห็นที่ได้มีการแสดงความคิดเห็นต่อการใช้บริการพร้อมเพย์ที่ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาไทย โดยข้อความความคิดเห็นที่ได้นั้นได้ทำการเก็บรวบรวมผ่านการใช้งาน Facebook API จำนวนทั้งหมด 1,570 ข้อความ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งคุณลักษณะออกเป็น

2 กลุ่ม คือ คุณลักษณะเชิงบวกและคุณลักษณะเชิงลบ โดยนำเอาคำวิเศษณ์จากความคิดเห็นต่อการใช้บริการพร้อมเพย์ซึ่งคำวิเศษณ์นี้จะสามารถแสดงถึงอารมณ์เชิงบวกและเชิงลบได้ดี¹¹ จากนั้นได้นำเอาเทคนิควิธีการวิเคราะห์เหมือนข้อความมาทำการวิเคราะห์ข้อความความคิดเห็นโดยทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 5 เทคนิควิธีด้วยกันคือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจแบบ C4.5

สำหรับขั้นตอนวิธีการวัดประสิทธิภาพของทั้ง 5 โมเดลได้ใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำและค่าความระลึกลับ ผลจากการวิจัยพบว่า เทคนิค Naïve Bayes ให้ผลดีที่สุด โดยให้ค่าความถูกต้อง 93.88% ค่าความแม่นยำ 94.02% และค่าความระลึกลับ 93.54% ผู้วิจัยจึงได้นำเอาหลักการของเทคนิควิธี Naïve Bayes มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการจำแนกข้อความความคิดเห็นภาษาไทยเพื่อให้สามารถพัฒนาใช้งานการจำแนกข้อความความคิดเห็นภาษาไทยได้ดีมากยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการพิจารณาถึงกระบวนการสร้างคำบ่งชี้จากประเภทของคำ เช่น คำนาม หรือ คำกริยา เป็นต้น เพื่อให้เกิดความครอบคลุมในการวิเคราะห์ประโยคจากคำบ่งชี้ และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้การจำแนกประเภทของประโยคและคำได้ดีมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ เพื่อให้งานออกมาได้ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. ธนาคารแห่งประเทศไทย. PromptPay 2559 [30 พฤศจิกายน 2559]. สืบค้นจาก: <https://www.bot.or.th/Thai/Payment-Systems/PSServices/PromptPay>.
2. Nikhil R, Nikhil Tikoo, Sukrit Kurle, Hari Sravan Pisupati, Dr Prasad G R. A. (2015). Survey on Text Mining and Sentiment Analysis for Unstructured Web Data. International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research 2(5).
3. Ning Zhong, Yuefeng Li, Sheng-Tang Wu. (2012). Effective Pattern Discovery for Text Mining. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering

24(1):30-40.

4. กานดา แผ้วพัฒนากุล, ดร.ปราโมทย์ ลื่อนาม. การวิเคราะห์เหมือนความคิดเห็นบนเครือข่ายสังคมออนไลน์. บทความวิชาการ วารสารการจัดการสมัยใหม่ ปีที่ 11. กรกฎาคม-ธันวาคม 2556;ฉบับที่ 2:10.
5. ประพัฒน์ พรหมน้ำอ่าง, วสุวรรณ์ พงศ์ขจร, นิเวศ จิระวิชิตชัย. (2559). การจำแนกกลุ่มข้อความรีวิวโดยใช้เทคนิคเหมือนข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 6(1), 94-102.
6. พัชรนิกันต์ พงษ์ธน, วรารัตน์ รุ่งวรวิฑูมิ, งามนิจ อาจอินทร์, สมจิตร อาจอินทร์. (2556). วิเคราะห์ความพึงพอใจของลูกค้าจากข้อความคำแนะนำโดยการทำเหมือนความคิดเห็น. Conference on Knowledge and Smart Technology 2012. p. 53-60.
7. อติเทพ ไชยสาร, รัฐสิทธิ์ สุขะหุด. (2557). การประมาณอารมณ์จากความคิดเห็นภาษาไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9 (NCCIT 2013), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 9-10 พฤษภาคม 2557 p. 260-6.
8. P. Barnaghi, P. Ghaffari, J. G. Breslin. (2016). Opinion Mining and Sentiment Polarity on Twitter and Correlation between Events and Sentiment. IEEE Second International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService); March 29 April 2016.
9. M. Bouazizi, T. Ohtsuki. (2015). Opinion mining in Twitter: How to make use of sarcasm to enhance sentiment analysis. International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM); 25-28 Aug. 2015.
10. Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei. (2012). Data Mining Concepts and Techniques. 3 ed.
11. Yan Sun, Changqin Quan, Xin Kang, Zuopeng Zhang, Fuji Ren. (2014). Customer emotion detection by emotion expression analysis on adverbs. Journal of special topics in Information Technology and Management15(4).

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ความสำเร็จการศึกษาของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ

The Comparison of Performance Models for Predicting Students Success in Vocation Education

พัฒนพงษ์ ดลรัตน์^{1*}, จารี ทองคำ²

Pattanaphong Donrat^{1*}, JareeThongkam²

Received: 27 March 2017 ; Accepted: 23 November 2017

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยนั้นอยู่สภาวะขาดแคลนแรงงานฝีมือ กระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีนโยบายในปีพุทธศักราช 2554 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของผู้เรียนอาชีวศึกษาต่อผู้เรียนสายสามัญจากเดิม 40:60 เป็น 60:40 ภายในปีพุทธศักราช 2561 ซึ่งเป็นปีสิ้นสุดของการปฏิรูปการศึกษาทศวรรษที่ 2 ซึ่งสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนก็เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ได้ดำเนินการสนองนโยบายของรัฐบาลเพื่อแก้ไขปัญหาสภาวะขาดแคลนแรงงานฝีมือ เพิ่มจำนวนผู้สำเร็จการศึกษา พัฒนาการศึกษาให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ความสำเร็จการศึกษาของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ งานวิจัยนี้ได้ใช้ 6 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง คือ C4.5, Random Forest, Random Tree, Reduced Error Pruning (REP Tree), k-Nearest Neighbors (k-NN) และ Support Vector Machine (SVM) และวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง C4.5 มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ความสำเร็จการศึกษาของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพมากที่สุดถึง 95.36%

คำสำคัญ แบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ต้นไม้การตัดสินใจ เหมือนข้อมูล

Abstract

Currently, Thailand has a shortage of skilled labor. Ministry of Education policy requires that between B.E 2554 and 2561, the proportion of vocational students compare with the common line should increase from 40:60 to 60:40, the year of the second decade of education reform education. The private Vocational College was working to meet the government's policy to solve the shortage of skilled labor, increase the number of graduates, and develop the best performance. This research compares performance of models for predicting student success in vocation education. This research using six powerful techniques in modeling is C4.5, Random Forest, Random Tree, Reduced Error Pruning (REP Tree), k-Nearest Neighbors (k-NN) and Support Vector Machine (SVM) A set of test data performance measurement and prediction of models with accuracy, precision and recall found that the C4.5 model was effective in predicting educational success. Most vocational certificate levels reached 95.36%

Keywords: Models predicting graduation, Vocational Education Certificate, Decision tree, Data mining

¹ นิสิต, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150.

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, อาจารย์ที่ปรึกษา หน่วยวิจัยสารสนเทศประยุกต์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150.

¹ Student, Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150.

² Assistant Professor, Applied informatics Research Unit, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150.

* Corresponding author: Tel: +66 086 5803169

Email address: s2s9890@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยนั้นอยู่สภาวะขาดแคลนแรงงานฝีมือ¹ กระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีนโยบายในปีพุทธศักราช 2554 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของผู้เรียนอาชีวศึกษาต่อผู้เรียนสายสามัญจากเดิม 40:60 เป็น 60:40 ภายในปีพุทธศักราช 2561 ซึ่งเป็นปีสิ้นสุดของการปฏิรูปการศึกษาทศวรรษที่ 2

การเพิ่มจำนวนผู้สำเร็จการศึกษาตามระยะเวลาของหลักสูตรของอาชีวศึกษา ซึ่งหลักสูตรอาชีวศึกษาแบ่งออกได้เป็น 2 หลักสูตรคือ 1) หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) มีระยะเวลาการศึกษาตามหลักสูตร 3 ปี 2) หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) มีระยะเวลาการศึกษาตามหลักสูตร 2 ปี ซึ่งการจัดให้ผู้เรียนสำเร็จการศึกษาตามระยะเวลาของหลักสูตรนั้น เป็นตัวบ่งชี้ตัวหนึ่งซึ่งแสดงว่าสถานศึกษาได้จัดการศึกษาอย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพ ตามตัวบ่งชี้ของการประกันคุณภาพการศึกษาทั้งการประกันคุณภาพภายในและการประกันคุณภาพภายนอก

สถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชน² ก็เป็นหน่วยงานหนึ่งในการจัดการศึกษาอาชีวศึกษาที่มีบทบาท สำคัญในการให้บริการการศึกษาทางด้านวิชาชีพเช่นเดียวกับสถานศึกษาอาชีวศึกษารัฐบาลซึ่งล้วนแต่มีบทบาทและความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เพราะเป็นการศึกษาที่จัดเตรียมบุคคลให้มีอาชีพเป็นหลักในอนาคต และช่วยให้อาชีพที่มีอยู่แล้วมีความก้าวหน้าในอาชีพตน

แต่ในความเป็นจริงนั้นสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนนั้นมีข้อเสียเปรียบสถานศึกษาอาชีวศึกษารัฐบาลเช่นงบประมาณในการจัดซื้อสื่อการเรียนการสอนที่ชัดเจนคือประเภทวิชาอุตสาหกรรมเป็นต้น เนื่องจากงบประมาณส่วนใหญ่ของสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนนั้นมาจากเงินอุดหนุนรายบุคคลที่รัฐสนับสนุนโดยเงินที่ได้จะมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับจำนวนนักเรียนเป็นหลักดังนั้นหากสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนมีจำนวนนักเรียนมากก็จะได้งบประมาณมาพัฒนาการเรียนการสอนให้ได้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสถานการณ์ปัจจุบันของสถานศึกษาอาชีวศึกษาในจังหวัดกาฬสินธุ์ซึ่งมีการรวมเอาสถานศึกษาอาชีวศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชนมาไว้ภายใต้หน่วยงานเดียวกันคืออาชีวศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์โดยมีสถานศึกษาทั้งสิ้น 18 สถานศึกษา แบ่งเป็นสถานศึกษารัฐบาลจำนวน 6 แห่ง และสถานศึกษาของเอกชน 12 แห่ง แม้จำนวนสถานศึกษาของเอกชนจะมากกว่าจำนวนสถานศึกษาของรัฐบาลแต่ก็ยังมีจำนวนนักเรียน-นักศึกษา น้อยกว่าสถานศึกษาของรัฐบาลอยู่มาก

เหมือนข้อมูลเป็นกระบวนการในการค้นหาความรู้จากข้อมูล นักวิจัยหลายท่านได้นำเอากระบวนการของเหมือน

ข้อมูลมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ เช่น R.K.Kavitha และ Dr. D.DoraiRangasamy³ ได้เสนอการทำนายการรอดชีวิตจากมะเร็งเต้านมโดยใช้เทคนิค Naive Bayes และ C4.5 ผลการทดลองพบว่า เทคนิค C4.5 ให้ความถูกต้อง 97.9% ซึ่งสูงกว่า Naive Bayes

เพียงฤทัย หนูสวัสดิ์⁴ ได้เสนอการสร้างโมเดลทำนายอัตราการใช้พลังงานของแบตเตอรี่มือถือโดยใช้เทคนิคเหมือนข้อมูล 2 เทคนิค คือ Perceptron Neural Network และ SVM แบบ kernel ผลการวิจัยพบว่าเทคนิค SVM แบบ kernel ให้ประสิทธิภาพความแม่นยำมากที่สุด เทคนิคในเหมือนข้อมูลที่เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพ⁵ เช่น C4.5, The k-means, SVM, The Apriori algorithm, The EM algorithm, PageRank, AdaBoost, k-NN, Naive Bayes, CART, Random Forest, Random Tree และ REP Tree เป็นต้น

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์และพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์โดยใช้ข้อมูลนักเรียนที่เรียนครบตามระยะเวลาของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ในปีการศึกษา 2557-2558 เพื่อช่วยในการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมให้ครูแนะแนวและผู้บริหารมีข้อมูลสารสนเทศเพื่อวางแผนในการแนะแนวให้นักเรียน-นักศึกษาเข้าศึกษาต่อในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนในจังหวัดกาฬสินธุ์ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ 6 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง คือ C4.5, Random Forest, Random Tree, REP Tree, k-NN และ SVM คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall)

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนในจังหวัดกาฬสินธุ์

สถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน (สช.) และมีหน่วยงานต้นสังกัดคือสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากาฬสินธุ์ เขต 1 เขต 2 และเขต 3 ตามพื้นที่ที่สถานศึกษาตั้งอยู่ แต่ใช้หลักสูตรของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) จนมาถึงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2559 เว็บไซต์ราชกิจจานุเบกษา

ได้เผยแพร่คำสั่งหัวหน้าคณะรักษาความสงบแห่งชาติที่ 8/2559 เรื่องการบริหารจัดการรวมสถานศึกษาอาชีวศึกษาภาครัฐและภาคเอกชน โดยให้รวมสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชนไว้ด้วยกันภายใต้สังกัดอาชีวศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์ (อศจ.กาฬสินธุ์)

2. สภาวะการขาดแคลนแรงงานฝีมือในประเทศไทย

พิเชษฐ สุขเสกสรรค์⁶ ได้ทำการสำรวจประสบการณ์ของหน่วยงานกลุ่มรับเหมาก่อสร้างในการเผชิญปัญหาการขาดแคลนแรงงานก่อสร้างกลุ่มช่างฝีมือหรือช่างเทคนิค คือผู้ที่สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพและประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงโดยมีผลการสำรวจดังนี้ 1) หน่วยงานของท่านเคยประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานกลุ่มนี้คิดเป็นร้อยละ 89.7 2) หน่วยงานของท่านกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานกลุ่มนี้คิดเป็นร้อยละ 60.3 3) หน่วยงานของท่านได้เคยประเมินสถานการณ์หรือได้ประเมินสถานการณ์การขาดแคลนแรงงานกลุ่มนี้ในอนาคตคิดเป็นร้อยละ 75.6

จงจิตต์ ฤทธิรงค์, รินา ต๊ะดี⁷ กล่าวว่า ความต้องการแรงงานฝีมือในอุตสาหกรรมที่สำคัญ 3 ประเภท คือ อุตสาหกรรมยานยนต์ การผลิตอาหารและการท่องเที่ยว นั้นยังมีมาก โดยเฉพาะแรงงานที่อยู่ในระดับปฏิบัติงานคือกลุ่มผู้ที่สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพและประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง เนื่องจากบุคลากรกลุ่มนี้มีทักษะที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงาน จากการฝึกประสบการณ์วิชาชีพซึ่งมีความร่วมมือระหว่างสถานบันอาชีวศึกษาและภาคเอกชน ในการฝึกทักษะให้แก่ผู้เรียนมีความสามารถและทักษะตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตแรงงานฝีมือยังไม่เพียงพอและมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลนอันเนื่องมาจากค่านิยมที่ให้ความสำคัญกับปริญญาบัตรมากกว่าความสามารถและทักษะในการทำงาน ดังสะท้อนออกมาเป็นอัตราค่าจ้างที่แปรผันตามระดับวุฒิการศึกษา

3. เทคนิคในเหมืองข้อมูล

เทคนิคในเหมืองข้อมูลได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองกันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพ เช่น C4.5, Random Forest, Random Tree, REP Tree, k-NN และ SVM ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) เทคนิค C4.5⁸ เป็นเทคนิคในการสร้างต้นไม้การตัดสินใจพัฒนาโดย J. Ross Quinlan ในปี 1993 โดยนำเอา ID3 มาปรับปรุงให้มีความสามารถมากขึ้นใช้วิธีการ Information Gain เพิ่มเติมการจัดการกับข้อมูล, ตัวเลข, ข้อมูลที่ขาดไปและไม่สมบูรณ์ และการ Prune ด้วยการแทนกิ่ง (Branch) ที่ไม่ช่วยในการตัดสินใจด้วย Leaf Node ที่ตัดสินใจได้ดีกว่า การแบ่งของ tree ในการทำงานขั้นตอนแรกคล้ายกับ

การทำงานด้วย ID3 คือต้องหา Info และ Gain ออกมาก่อน ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการพยากรณ์ เช่น Abdelghani Bellaachia และ Erhan Guven⁹ ได้เสนอการพยากรณ์การรอดชีวิตจากมะเร็งเต้านมโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยใช้ 3 เทคนิค คือ Naive Bayes, BP-ANN และ C4.5 ผลการทดลองพบว่าพยากรณ์การรอดชีวิตจากมะเร็งเต้านมโดยใช้เทคนิค C4.5 ให้ความถูกต้องร้อยละ 86 มากกว่าการพยากรณ์ด้วยเทคนิค BP-ANN ที่ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 85.5 และเทคนิค Naive Bayes ที่ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 84.5

2) เทคนิค Random Forest⁹ เป็นเทคนิคการสุ่มเลือกใช้ข้อมูลและคุณลักษณะ Decision Tree ซึ่งถูกสร้างจากการนำข้อมูลไปสุ่มเลือกตัวอย่างแบบเลือกแล้วใส่กลับ (Sampling with Replacement) แล้วนำมาสร้างเป็น Tree ซึ่งจะมีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ไม่ถูกเลือก ซึ่งข้อมูลส่วนนี้เรียกว่า Out-of-Bag (OOB) จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบ Decision Tree วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้จากอิสระจาก Decision Tree ในแต่ละต้นถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวต ผลโหวตที่มากที่สุดจะใช้ระบุสถานะของคลาสดัง Figure 1 เทคนิค Random Forest ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบ เพื่อประมาณความผิดพลาดเพราะข้อมูล OOB นั้นถูก นำมาใช้ทดสอบ Decision Tree นั้นแล้ว



Figure 1 Characteristics of Random Forest

มีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเทคนิค Random Forest มาใช้ในการจำแนก เช่น Krishnaveni¹⁰ ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนายการบาดเจ็บที่เกิดจากอุบัติเหตุบนท้องถนน โดยใช้เทคนิควิธี Naive, PART Rule, J48 Decision tree และ Random forest พบว่าการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิควิธี Random forest ให้ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 74.34 ซึ่งดีกว่าวิธีอื่นๆ

ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์¹¹ ได้เสนอการเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิค Decision tree บนชุดข้อมูลที่ไม่มีสมดุล

โดยวิธีการสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อยสำหรับข้อมูลการเป็นโรคติดอินเทอร์เน็ต ด้วยเทคนิค Decision Tree J48, ID3, LMT, CART และ Random Forest ผลการทดลองประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของตัวแบบพบว่าเทคนิค Random Forest มีค่าความแม่นยำร้อยละ 87.15 สามารถพยากรณ์ได้ดีกว่า J48 ID3 LMT และ CART

3) เทคนิค Random Tree¹² คือ เทคนิคที่ใช้ในการจำแนกหมวดหมู่เช่นเดียวกับ C4.5 โดยมีหลักการสร้าง Tree จากการสุ่ม Tree หลายๆแบบ ในแต่ละโหนดแล้วเลือกมาประมวลผลโดยไม่ใช้การ Prune และเนื่องจากจำนวนของ Tree เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งยากแก่การแก้ปัญหา การสร้าง Tree ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ส่วนประกอบสามารถสร้างชุดสุ่มของ Tree ออกมาจากการกระจายชุดต่างๆของ Tree Random Tree เป็นการสุ่มวาดที่สุ่มจากชุดของ Tree ที่เป็นไปได้ ในบริบทนี้ "สุ่ม" หมายความว่า Tree ในชุดของ Tree แต่ละ Tree มีโอกาสเท่าเทียมกันของการเป็นตัวอย่าง วิธีที่บอกนี้ก็คือว่าการกระจายของ Tree คือ "ชุด" Tree สุ่มแบบต่อเนื่อง (CRT) เป็นแบบสุ่ม Tree จริง T_0 และมีระยะในการเดินทางสั้นที่สุด Tree ชุดย่อย ประกอบด้วย Tree ที่มี n จุด แต่ละองค์ประกอบของโครงสร้างที่แท้จริงคือราก ซึ่งมีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเทคนิค Random Tree มาใช้ในการจำแนกเช่น วิติมา ช่วงชัย¹³ ได้เสนอการวิเคราะห์หารูปแบบการเรียนรู้โดยใช้เหมือนข้อมูลของนักศึกษาต่อการจัดทำปฏิญานิพนธ์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ผลด้วยรูปแบบ Rule Based Classification ด้วยวิธี Decision Table, Jrip และ PART และรูปแบบ Decision Tree Classification ด้วยวิธี LMT, J48 และ Random Tree จากการวิเคราะห์ผลทั้งหมดพบว่า รูปแบบของ Decision Tree ด้วยวิธีการ Random Tree ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด(100%) ส่วนรูปแบบของ Rule Based ด้วยวิธี PART ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด (84.12%)

Sushikumar Kalmegh¹⁴ นำเสนอการเปรียบเทียบการวิเคราะห์อัลกอริทึมในโปรแกรม Weka ได้แก่ REP Tree, Simple Cart และ Random Tree ในการจำแนกข่าวอินเดียบพบว่า Random Tree มีค่าความถูกต้อง 100% ซึ่งมากกว่า REP Tree และ Simple Cart

4) เทคนิค Reduced Error Pruning (REP Tree)¹² คือเทคนิคที่ใช้ regression tree logic และสร้าง Tree หลายๆ ต้นที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นก็เลือกที่ดีที่สุดจาก Tree ที่สร้างทั้งหมดมาเป็นตัวแทนของ Tree ทั้งหมด ในการตัดกิ่งใช้ค่า mean square error ในการพยากรณ์เป็นพื้นฐานการวัด REP Tree เป็น Decision Tree ที่มีการเรียนรู้และสร้างแบบจำลองอย่างรวดเร็วบนพื้นฐานของ Information gain หรือ

reducing the variance และตัดกิ่งโดยใช้การลดข้อผิดพลาดในการตัดแต่ใช้ได้เฉพาะตัวแปรที่เป็นตัวเลขเท่านั้น มีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเทคนิค REP Tree มาใช้ในการจำแนก เช่น Perna Kapoor และ Reena Rani¹⁵ ได้เสนอประสิทธิภาพการตัดสินใจเทคนิค Decision Tree โดยใช้ อัลกอริทึม J48 และ Reduced Error Pruning ผลการทดลองพบว่าทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น

Kittipol Wisaeng¹⁶ ได้เสนอการเปรียบเทียบ อัลกอริทึมของ Decision Tree ในการจำแนก UCI Repository ได้แก่ Nursery, Iris, Anneal, Shuttle_tm, Voting, Waveform และ Sick โดยมีอัลกอริทึมคือ อัลกอริทึม functional tree, อัลกอริทึม logistic model trees, อัลกอริทึม REP Tree และ อัลกอริทึม best-first decision tree ผลการทดลองพบว่า REP Tree ให้ค่าความถูกต้องที่ 92.87%

5) เทคนิค K-Nearest Neighbour (k-NN)¹⁷ เป็นขั้นตอนวิธีการในการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูล โดยการจัดข้อมูลที่อยู่ใกล้กันให้เป็นกลุ่มเดียวกันซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้ตัดสินใจได้ว่า คลาสไหนที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ ๆ ได้บ้าง โดยการตรวจสอบจำนวน k ซึ่งถ้าหากเงื่อนไขของการตัดสินใจมีความซับซ้อน วิธีนี้จะสามารถสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพได้ แต่ขั้นตอนวิธีการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดจะใช้ระยะเวลาในการคำนวณนาน ถ้าตัวแปร (แอตทริบิวต์) มีจำนวนมากจะเกิดปัญหาในการคำนวณค่าและค่อนข้างที่จะใช้ปริมาณงานในการคำนวณสูงมากบนคอมพิวเตอร์ เพราะเวลาที่ใช้สำหรับการคำนวณจะเพิ่มขึ้นแบบแฟกทอเรียลตามจำนวนจุดทั้งหมด ดังนั้นเพื่อจะเพิ่มความรวดเร็วสำหรับเทคนิคขั้นตอนวิธีการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดให้มากขึ้น ข้อมูลทั้งหมดที่ใช้บ่อยจะต้องถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยวิธีการเข้าถึงหน่วยความจำพื้นฐานอย่างมีเหตุผล (Memory-Based Reasoning) ซึ่งจะเป็นวิธีที่นำมาอ้างถึงเป็นประจำในการจัดเก็บกลุ่มคลาสของขั้นตอนวิธีการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดในหน่วยความจำ และถ้าหากข้อมูลที่ต้องการหาคำตอบมีตัวแปรอิสระเพียงไม่กี่ตัวแล้ว จะทำให้เราสามารถเข้าใจโมเดลขั้นตอนวิธีการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดได้ง่ายขึ้น ตัวแปรเหล่านี้ยังมีประโยชน์สำหรับนำมาสร้างโมเดลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชนิดของข้อมูลที่ไม่เป็นมาตรฐาน เช่น ข้อความเพียงแต่อาจต้องมีมาตรฐานการวัดค่าสำหรับชนิดของข้อมูลดังกล่าวที่เหมาะสมด้วย นอกจากนี้ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุดนี้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนระยะห่าง การอธิบายระหว่างข้อมูลทั้งคู่ที่สามารถแบ่งแยกอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างข้อมูลปกติ และข้อมูลผิดปกติ การอธิบายจำนวนระยะห่างระหว่างข้อมูลเป็นความท้าทายอย่าง

มากเมื่อข้อมูลมีความซับซ้อน อย่างเช่น ข้อมูลกราฟ และ ข้อมูลแบบลำดับเป็นต้น

6) เทคนิค Support Vector Machines (SVM)¹⁸ คือ ขั้นตอนวิธีการที่มีความรวดเร็วและเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูล ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยอาศัยหลักการของการหาสมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกลบเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกแยะกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด

แนวความคิดของเทคนิควิธี SVM นั้นเกิดจากการที่นำค่าของกลุ่มข้อมูลมาวางลงในพีเจียร์สเปซ จากนั้นจึงหาเส้นที่ใช้แบ่งข้อมูลทั้งสองออกจากกัน โดยจะทำการสร้างเส้นแบ่งที่เป็นเส้นตรงขึ้นมา เพื่อให้ทราบว่าเป็นเส้นตรงที่แบ่งกลุ่มสองกลุ่มออกจากกันนั้น เส้นใดเป็นเส้นที่ดีที่สุดสำหรับ SVM นั้นเดิมได้มีการนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นเชิงเส้น แต่ในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ส่วนใหญ่มักเป็นข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการนำ Kernel Function มาใช้ การจำแนกข้อมูลบนระนาบหลายมิติ จะใช้ส่วนการเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุดเรียกว่า โครงสร้างในการคัดเลือกซึ่งโครงสร้างในการคัดเลือกมาจากข้อมูลที่สอนให้ระบบเรียนรู้ จำนวนเซตของโครงสร้างที่ใช้อธิบายในกรณีหนึ่ง เรียกว่า เวกเตอร์ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของตัวแบบ SVM คือ แบ่งแยกกลุ่มของเวกเตอร์ในกรณีนี้ด้วยหนึ่งกลุ่มของตัวแปรของเป้าหมายที่อยู่ข้างหนึ่งของระนาบและกรณีของกลุ่มอื่นที่อยู่

ทางระนาบต่างกัน ซึ่งเวกเตอร์ที่อยู่ข้างระนาบหลายมิติทั้งหมดเรียกว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีมิติของข้อมูลสูง

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทำวิจัยคณะผู้วิจัยได้มีแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก 1) การเตรียมข้อมูล 2) กระบวนการก่อนการสร้างแบบจำลอง 3) การสร้างแบบจำลอง และ 4) การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง ดัง Figure 2

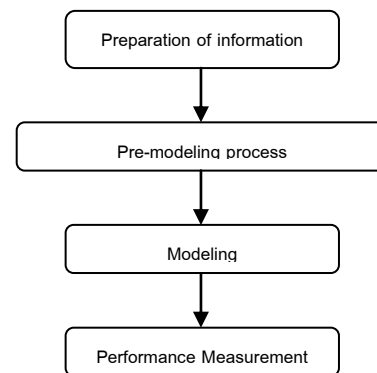


Figure 2 The process of data mining

1. การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลของการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้ ได้ข้อมูลมาจากการสำรวจข้อมูลจำนวนนักเรียนจากสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนในจังหวัดกาฬสินธุ์ ประจำปีการศึกษา 2557-2558 จำนวน 12 แห่ง ดัง Table 1

Table 1 The number of students in the academic year 2014-2015

School	2014	2015
1. Kalasin Commercial Technology College	176	197
2. Kamalasai Technology College	38	35
3. Perm Poon Business Administration Technology College	21	19
4. Lampao Vocational College	13	14
5. Sahassakun Technology College	15	16
6. Samchai Technology College	9	11
7. Thai Tech Kalasin Vocational College	12	15
8. Thai Tech Esan Vocational College	23	12
9. Somdet Commercial Technology College	132	268
10. Pattanabandit Technology College	18	10
11. Thai Tech Asia Vocational College	130	82
12. Natchavin Technology College	-	-
Included	587	679
Total	1,266	

- ซึ่งข้อมูลที่ใช้การสำรวจได้แก่
1. เพศ
 2. อายุ
 3. จำนวนพี่น้อง
 4. สถานบิดา มารดา
 5. อาชีพบิดา
 6. อาชีพมารดา
 7. หมู่บ้าน
 8. ตำบล
 9. อำเภอ
 10. จังหวัด
 11. เกรดเฉลี่ยกลุ่มภาษาไทย
 12. เกรดเฉลี่ยกลุ่มคณิตศาสตร์
 13. เกรดเฉลี่ยกลุ่มวิทยาศาสตร์
 14. เกรดเฉลี่ยกลุ่มสังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม
 15. เกรดเฉลี่ยกลุ่มสุขศึกษา พลศึกษา
 16. เกรดเฉลี่ยกลุ่มศิลปะ
 17. เกรดเฉลี่ยกลุ่มการงานอาชีพและเทคโนโลยี

18. เกรดเฉลี่ยกลุ่มภาษาต่างประเทศ
19. ประเภทวิชาที่จบ
20. จบการศึกษา/ไม่จบการศึกษา

2. การทำกระบวนการก่อนการสร้างแบบจำลอง
ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการแปลงข้อมูลและ
ทำการวิเคราะห์ปัจจัย

1. การแปลงข้อมูล (Data transformation)
จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจำนวนนักเรียนจากสถาน
ศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนในจังหวัดกาฬสินธุ์ ประจำปีการ
ศึกษา 2557-2558 จำนวน 12 แห่ง มีทั้งหมด 20 ตัวแปร ดัง
Table 2

Table 2 Variable details

Variables	Variable types	Description	Variable value
Sex	Nominal	Male	1
		Female	2
Age	Numeric	Age	Actual data
Number of siblings	Numeric	Number of siblings	Actual data
Parent Status	Nominal	Family	1
		Divorced	2
		Deceased	3
Father Career	Nominal	Government	1
		State Enterprises	2
		Trade	3
		Agriculture	4
		Contractors	5
		Government Employee	6
		Retired Government	7
		Priest	8
		Jobless	9
		Others	10
		Deceased	11
Mother Career	Nominal	Government	1
		State Enterprises	2
		Trade	3
		Agriculture	4
		Contractors	5
		Government Employee	6
		Retired Government	7
		Priest	8
		Jobless	9
		Others	10
		Deceased	11

Table 2 Variable details (continue)

Variables	Variable types	Description	Variable value
Village	Nominal	Village	Actual data
Tambol	Nominal	Tambol	Actual data
Amphoe	Nominal	Amphoe	Actual data
Province	Nominal	Province	Actual data
Thai	Nominal	Thai	Actual data
Math	Nominal	Math	Actual data
Science	Nominal	Science	Actual data
Social	Nominal	Social	Actual data
Health	Nominal	Health	Actual data
Art	Nominal	Art	Actual data
Career and Technology	Nominal	Career and Technology	Actual data
Foreign language	Nominal	Foreign language	Actual data
Type of course	Nominal	Commercial	1
		Industry	2
Graduate (Class)	Nominal	Successfully	1
		Unsuccessful	2

2. การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นการคัดเลือกแอตทริบิวต์ที่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มแอตทริบิวต์เพื่อลดจำนวนแอตทริบิวต์ในการพยากรณ์ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค Gain Ratio Attribute Evaluation มาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยผลการวิเคราะห์ทำการตัดแอตทริบิวต์ที่มีผลต่อการพยากรณ์น้อยออกจำนวน 3 แอตทริบิวต์คือ Age, Number of siblings และ Province คงเหลือ 17 แอตทริบิวต์ ดัง Table 3

Table 3 Factors

Variables	
1. Amphoe	10. Thai
2. Tambol	11. Science
3. Father Career	12. Parent Status
4. Mother Career	13. Health
5. Village	14. Sex
6. Career and Technology	15. Type of course
7. Math	16. Foreign language
8. Social	17. Graduate(Class)
9. Art	

3. การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษาต่อสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนในจังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าเมื่อเข้า

ศึกษาต่อแล้วจะสามารถสำเร็จการศึกษาได้หรือไม่ด้วยตัวแปรทั้ง 21 ตัวแปรที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจำนวนนักเรียนในปีการศึกษา 2557-2558 นั้น ด้วยการทำให้เหมือนข้อมูลและเทคนิคที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองมีจำนวน 6 เทคนิคคือ

- เทคนิค C4.5
- เทคนิค Random Forest
- เทคนิค Random Tree
- เทคนิค REP Tree
- เทคนิค k-NN
- เทคนิค SVM

4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น ได้มีการใช้เทคนิคแบบ 10-fold cross validation โดยจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชุดเท่าๆกัน จากนั้นจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 รอบ โดยในแต่ละรอบจะใช้ข้อมูล 1 ชุดเป็นชุดทดสอบและอีก 9 ชุดที่เหลือเป็นชุดฝึกสอน ในรอบต่อไปก็ใช้ชุดข้อมูลถัดไปเป็นชุดทดสอบจนครบทั้ง 10 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลทั้งหมด จำนวน 1266 ข้อมูล แบ่งออกเป็น 10 ชุดข้อมูล ซึ่งคิดเป็นอัตราข้อมูลทดสอบต่อข้อมูลฝึก เป็นอัตราส่วน 10:90

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ คือ การวัดประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละขั้นตอนวิธี สามารถวัดได้จากผลของการจำแนกกลุ่มข้อมูล โดยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกคือ

ค่า True Positive (TP) ค่า True Negative (TN) ค่า False Positive (FP) ค่า False Negative (FN) และสามารถหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) จากสมการ

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

ค่าความแม่นยำ (Precision) จากสมการ

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

และค่าความระลึก (Recall) ได้จากสมการ

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

ผลการศึกษา

ในการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้คณะผู้วิจัยได้นำเอาโปรแกรม WEKA เวอร์ชัน 3.9.1 มาเป็นเครื่องมือมาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค C4.5, Random Forest, Random Tree, REP Tree, k-NN, และ SVM วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย Accuracy, Precision และ Recall ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดัง Figure 3

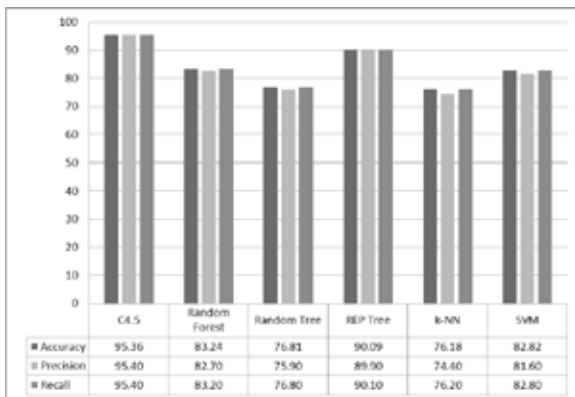


Figure 3 The performance of prediction models

Figure 3 แสดงให้เห็นค่า Accuracy ของแบบจำลอง ได้แก่เทคนิค C4.5 ให้ค่า Accuracy มากที่สุด 95.36% ต่อมาเทคนิค REP Tree ให้ค่า Accuracy 90.09% เทคนิค Random Forest ให้ค่า Accuracy 83.24% เทคนิค SVM ให้ค่า Accuracy 82.82% เทคนิค Random Tree ให้ค่า Accuracy 76.81% และเทคนิค k-NN ให้ค่า Accuracy 76.18% ตามลำดับ

ค่า Precision ของแบบจำลองได้แก่เทคนิค C4.5 ให้ค่า Precision มากที่สุด 95.4% ต่อมาเทคนิค REP Tree ให้ค่า Precision 89.9% เทคนิค Random Forest ให้ค่า Precision 82.7% เทคนิค SVM ให้ค่า Precision 81.6% เทคนิค Random Tree ให้ค่า Precision 75.9% และเทคนิค k-NN ให้ค่า Precision 74.4% ตามลำดับ

ค่า Recall ของแบบจำลองได้แก่เทคนิค C4.5 ให้ค่า Recall มากที่สุด 95.4% ต่อมา เทคนิค REP Tree ให้ค่า Recall 90.1%

เทคนิค Random Forest ให้ค่า Recall 83.2% เทคนิค SVM ให้ค่า Recall 82.8% เทคนิค Random Tree ให้ค่า Recall 76.8% และเทคนิค k-NN ให้ค่า Recall 76.2% ตามลำดับ

วิจารณ์และสรุป

ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 6 เทคนิคได้แก่ C4.5, Random Forest, Random Tree, REP Tree, k-NN และ SVM ผลการทดลองพบว่าเทคนิค C4.5 มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองด้วยค่า Accuracy ได้ 95.36% ค่า Precision ได้ 95.4% และค่า Recall ได้ 95.4%

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า C4.5 มีความเหมาะสมในการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาในสถานศึกษาอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์ หากผู้ที่สนใจศึกษาหรือสนใจที่จะพัฒนางานวิจัยนี้ ควรเพิ่มจำนวนข้อมูลชุดฝึกสอนให้มากขึ้น และเพิ่มในลักษณะของคำแนะนำให้นักเรียนว่าเหมาะสมที่จะเรียนประเภทวิชาอะไร เป็นต้น เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในเลือกตัดสินใจในการเลือกเรียนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานอาชีวศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์ สำนักงานอาชีวศึกษาเอกชนจังหวัดกาฬสินธุ์ และคณาจารย์คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ ข้อมูลและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ข่าวการศึกษา. การเพิ่มสัดส่วนสายอาชีพเป็น 60% สายสามัญเหลือ 40%. Available: [http://www.unigang.com/Article/5170,\(2559, 28 สิงหาคม\)](http://www.unigang.com/Article/5170,(2559, 28 สิงหาคม)).
2. วันฉัตร ทิพย์มาศ, "ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อวิทยาลัยอาชีวศึกษาเอกชนของนักเรียนในเขตภาคใต้ตอนบน," วารสารศึกษาศาสตร์, vol. 24, กุมภาพันธ์-สิงหาคม 2556.
3. R.K.Kavitha and Dr.D.DoraiRangasamy, "Predicting Breast Cancer Survivability Using Naive baysein Classifier And C4.5 Algorithm," *Elysium Journal Engineering Research & Management*, 2014.
4. เพียงฤทัย หนูสวัสดิ์, "การสร้างโมเดลทำนายอัตราการใช้พลังงานของแบตเตอรี่มือถือโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล," มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.
5. X. Wu, "Top 10 Algorithms in Data Mining," *Springer-Verlag London Limited*, 2007.
6. พิเชษฐ สุขเสกสรรค์, "บทบาทใหม่ของวิศวกรในภาวการณ์การขาดแคลนแรงงานช่างฝีมือหรือช่างเทคนิค," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, Ed., ed, 2549.
7. จงจิตต์ ฤทธิรงค์ and รินา ต๊ะดี, "ข้อท้าทายในการผลิตแรงงานฝีมือไทยเพื่อเข้าสู่ตลาดแรงงานประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน," วารสารสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล pp. 129-147, 2558.
8. Abdelghani, Bellaachia, and E. Guven, "Predicting Breast Cancer Survivability Using Data Mining Techniques," The George Washington University, 2006.
9. L. Breiman, "Random Forest," *Machine Learning*, vol. 45, pp. 5-32, 2001.
10. K. S and H. M, "A Perspective Analysis of Traffic Accident using Data Mining Techniques," *International Journal of Computer Applications*, vol. 23, pp. 40-48, 2011.
11. ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์ "การเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจบนชุดข้อมูลที่ไม่สมดุล โดยวิธีการสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อยสำหรับข้อมูล การเป็นโรคติดเชื้ออินเทอร์เน็ต" วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, vol. 12, pp. 54-63, 2559.
12. Weka. Available: [http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/index.html,\(2016, 3 December\)](http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/index.html,(2016, 3 December)).
13. จูติมา ช่างชัย, "การวิเคราะห์หารูปแบบการเรียนรู้โดยใช้เหมืองข้อมูลของนักศึกษาต่อการจัดทำปริญญานิพนธ์," วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, vol. 10, pp. 53-62, 2559.
14. S. Kalmegh, "Analysis of WEKA Data Mining Algorithm REPTree, Simple Cart and RandomTree for Classification of Indian News," *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 2, pp. 438-446, 2015.
15. P. Kapoor and R. Rani, "Efficient Decision Tree Algorithm Using J48 and Reduced Error Pruning," *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, pp. 1613-1621, 2015.
16. K. Wisaeng, "A Comparison of Decision Tree Algorithms For UCI Repository Classification," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 4, pp. 3393-3397, 2013.
17. ศลิษา หนูเสมียน, "ระบบแนะนำการเลือกสาขาเพื่อศึกษาต่อระดับอาชีวศึกษาโดยเทคนิคการคัดกรองข้อมูลแบบผสมระหว่างการคัดกรองข้อมูลแบบอิงเนื้อหากับการคัดกรองแบบพึ่งพาผู้ใช้ร่วม กรณีศึกษา วิทยาลัยสารพัดช่างระยอง," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.
18. J. Han and M. Kamber, *Data Mining Concepts and Techniques*, Second Edition ed.: Morgan Kaufmann, 2006.

การเปรียบเทียบ 12 กระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Comparison of 12 Learning Algorithms of Artificial Neural Network Models for Flood Forecasting in the Upper Ping Catchment

ทวี ชัยพิมลผลิน

Tawe Chaipimonplin

Received: 5 June 2017 ; Accepted: 13 November 2017

บทคัดย่อ

กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรม MATLAB มีทั้งสิ้น 12 ประเภท (Levenberg-Marquardt-LM, Bayesian Regularization-BR, BFGS Quasi-Newton-BFG, Resilient Backpropagation-RP, Scaled Conjugate Gradient-SCG, Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts-CGB, Fletcher-Powell Conjugate Gradient-CGF, Polak-Ribiere Conjugate Gradient-CGP, One Step Secant-OSS, Variable Learning Rate Gradient Descent-GDX, Gradient Descent with Momentum-GDM และ Gradient Descent-GD) ซึ่งแต่ละประเภทจะมีขั้นตอนการเรียนรู้ที่ต่างกัน ดังนั้นบทความนี้จะทำการเปรียบเทียบหากระบวนการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่วม 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ณ สถานี P.1 โดยมีการเลือกใช้วิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้า 4 วิธี (Cross Correlation-C, Stepwise Regression-S, Cross Correlation+Stepwise Regression-CS และ Genetic Algorithms-G) และยังมีกำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น จำนวน 1 โหนด และ จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่อ้างอิงตามจำนวนตัวแปรนำเข้า ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 จากผลการทดสอบพบว่า กระบวนการเรียนรู้แต่ละประเภทส่วนมากให้ผลการพยากรณ์ที่คล้ายกัน ($R^2 = 0.99$ และ 0.97) แต่อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า SCG, CGB, CGP, OSS หรือ LM เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถพยากรณ์น้ำท่วมได้ดีและเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ค่อนข้างเร็ว (ประมาณ 1-2 นาที) ด้วยจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นไม่เกิน ร้อยละ 50 และ การคัดเลือกข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมคือ วิธี C และ CS สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วม 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ณ สถานี P.1

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม การพยากรณ์น้ำท่วม กระบวนการเรียนรู้ ลุ่มน้ำปิงตอนบน

Abstract

There are 12 Learning algorithms of artificial neural networks in the MATLAB program (Levenberg-Marquardt-LM, Bayesian Regularization-BR, BFGS Quasi-Newton-BFG, Resilient Backpropagation-RP, Scaled Conjugate Gradient-SCG, Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts-CGB, Fletcher-Powell Conjugate Gradient-CGF, Polak-Ribiere Conjugate Gradient-CGP, One Step Secant-OSS, Variable Learning Rate Gradient Descent-GDX, Gradient Descent with Momentum-GDM and Gradient Descent-GD) and each learning algorithm type has a difference in its learning process. Therefore, in this article 12 learning algorithms were compared to find the one most suitable for flood forecasting at P.1 station, t+6 and t+12 hr. using 4 input determination techniques (Cross Correlation-C, Stepwise Regression-S, Cross Correlation+Stepwise Regression-CS and Genetic Algorithms-G), also hidden nodes were set to 1 node and based on number of input variables 25%, 50%, 75% and 100%. It was found that the majority of

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

¹ Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, 50200, Thailand

E-mail: tawe.c@cmu.ac.th/ chaipimonplin@hotmail.com

learning algorithms gave the similar results of flood forecasting ($R^2 = 0.99$ and 0.97). In conclusion, however, for flood forecasting t+6 and t+12 hr in advance at P.1 station, SCG, CGB, CGP, OSS or LM are the most suitable learning algorithms because all of them can forecast flood events and they seem to be the fastest learning algorithms (approximately 1-2 minutes), with number of hidden nodes are not greater than 50% of number of input variables and the suitable process of input determination techniques are C and CS.

Keywords: Artificial Neural Network, Flood Forecasting, Learning Algorithms, Upper Ping Catchment

บทนำ

ในแต่ละปีเหตุการณ์น้ำท่วมมักจะเกิดเกือบทุกปีในประเทศไทย และในทุกๆ ครั้งที่เกิดน้ำท่วมจะก่อให้เกิดความเสียหายไม่มากนักน้อย ซึ่งระดับความเสียหายขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของน้ำท่วม และประสิทธิภาพของระบบการจัดการ (การเตือนภัย การป้องกัน การให้ความช่วยเหลือ การบรรเทาภัย) สำหรับการพยากรณ์เตือนภัยน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบนจะเป็นการใช้ระดับน้ำจากสถานีต้นน้ำเป็นเกณฑ์ โดยระยะเวลาการเตือนภัยล่วงหน้าขึ้นอยู่กับระยะทางการเดินทางของมวลน้ำ จากสถานีต้นน้ำไปยังสถานีปลายน้ำ เช่น ในลุ่มน้ำปิงตอนบน อำเภอเมืองเชียงใหม่ ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำ ภาคเหนือตอนบน จะพยากรณ์เตือนภัยน้ำท่วม สถานี P.1 โดยอาศัยความสัมพันธ์ของระดับน้ำของสถานี P.67 โดยมวลน้ำใช้ระยะเวลาเดินทางจากสถานีต้นน้ำ P.67 ไปยัง P.1 ใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่วโมงในระยะห่างประมาณ 32 กิโลเมตร¹ ดังนั้นในการพยากรณ์เตือนภัยน้ำท่วมโดยใช้การวิเคราะห์จาก สถานีต้นน้ำ จึงถูกจำกัดด้วยระยะทางระหว่างสถานี

งานวิจัยสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในงานด้านอุทกภัยที่สืบค้นจากฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทยจากโครงการเครือข่ายห้องสมุดไทย, Science Direct, Scopus และ Web of Science พบว่าในประเทศไทยเริ่มมีการใช้ครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535² โดยเป็นวิทยานิพนธ์ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)³ และในปัจจุบันยังมีการศึกษาในการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทั้งในด้านอุทกวิทยา⁴ ด้านพลังงาน⁵ ด้านโรงงานอุตสาหกรรม⁶ ด้านการแพทย์⁷ ด้านไฟฟ้า⁸ ด้านอาชญากรรม⁹ ด้านดินถล่ม¹⁰ และด้านผลผลิตทางการเกษตร¹¹ และด้านเศรษฐกิจ¹² เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนมากจะศึกษาในประเด็นประเภทของกลุ่มข้อมูล¹³ และจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสม¹⁴ หรือมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยการเพิ่มการเพิ่มของจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น¹⁵ หรือการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเร้น¹⁶ หรือมีเพียงบางงานวิจัยที่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการ

เรียนรู้ เช่น เปรียบเทียบระหว่างการเรียนรู้ระหว่าง LM และ BR¹⁷⁻²⁰ แต่เนื่องจากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมีหลายประเภท โดยสำหรับโปรแกรม Matlab²¹ มีกระบวนการเรียนรู้ทั้งหมด 12 ประเภท (Levenberg-Marquardt-LM, Bayesian Regularization-BR, BFGS Quasi-Newton-BFG, Resilient Backpropagation-RP, Scaled Conjugate Gradient-SCG, Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts-CGB, Fletcher-Powell Conjugate Gradient-CGF, Polak-Ribiere Conjugate Gradient-CGP, One Step Secant-OSS, Variable Learning Rate Gradient Descent-GDX, Gradient Descent with Momentum-GDM และ Gradient Descent-GD) โดยการใช้หลักการเรียนรู้จากวิธี gradient หรือ Jacobian เป็นพื้นฐานในการเรียนรู้ งานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการเรียนรู้ประเภทต่างๆ คือ Beale et al.²¹ ได้ทำการทดสอบกระบวนการเรียนรู้ 9 ประเภท ใน 6 กรณีศึกษา เช่น พยากรณ์ระดับคอเลสเตอรอล การคาดการณ์การมีภาวะเบาหวาน หรือ การประเมินเซลล์มะเร็ง เป็นต้น โดยได้สรุปว่า การเรียนรู้แต่ละประเภทจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในแต่ละลักษณะของงาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ทั้ง 12 ประเภท ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ระดับน้ำที่สถานี P. 1 ณ 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า

วิธีการวิจัย

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน (Figure 1) โดยพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าที่สถานีวัดระดับน้ำ P.1 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำท่วม คือ ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมง จาก 4 สถานี (P.1, P.67, P.75 และ P.20) เนื่องจากเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำปิงสายหลัก ระยะห่างระหว่างสถานี P.20 และ P.75 ไปยังสถานี P.1 ประมาณ 100 และ 48 กิโลเมตร ตามลำดับ



Figure 1 Water level stations in the study area¹³

ในการคัดเลือกช่วงเวลาของข้อมูลสำหรับการศึกษาค้างนี้ จะทำการเลือกตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005-2011 โดยจะคัดเลือกเฉพาะปีที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเท่านั้น ซึ่งเหตุผลที่ไม่นำเอาข้อมูลก่อนปี ค.ศ. 2005 เนื่องจากได้มีการสร้างกำแพงเพิ่มระดับตลิ่งจากเดิม 3.40 เป็น 3.70 เมตร ทั้งสองฝั่งของลำน้ำในปี ค.ศ. 2004 ณ บริเวณเขตตัวเมืองและแนวสะพานนาครี โดยในการเพิ่มระดับตลิ่งทำให้มีผลต่อพฤติกรรมการไหลท่วมของน้ำ ณ สถานีวัดระดับน้ำ P.1 และจากการเปรียบเทียบการ

ใช้ช่วงปีข้อมูลก่อนเพิ่มระดับตลิ่งเป็นข้อมูลเรียนรู้ และการใช้ช่วงปีข้อมูลหลังการเพิ่มตลิ่ง พบว่า การใช้ข้อมูลหลังการเพิ่มตลิ่งช่วยให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำมากขึ้น¹⁷

การคัดเลือกช่วงข้อมูลที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมจะเริ่มตั้งแต่ปี 2005-2011 โดยมีจำนวนเหตุการณ์น้ำท่วมทั้งสิ้น 9 เหตุการณ์ ตั้งแต่ช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม โดยจากไฮโดรกราฟ (Figure 2) พบว่า มีเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ (ระดับน้ำสูงกว่า 4.5 เมตร) จำนวน 4 เหตุการณ์ ดังนั้นสำหรับการทดสอบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้กระบวนการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน โดยการแบ่งชุดข้อมูลสำหรับชุดเรียนรู้และชุดทดสอบจะใช้หลักการ 80:20 ซึ่งเป็นหลักการที่นิยมใช้มากที่สุดเพื่อที่มีสัดส่วนข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ที่เพียงพอและสำหรับข้อมูลการทดสอบไม่มากหรือน้อยเกินไป ดังนั้น จะใช้เหตุการณ์น้ำท่วม 2 เหตุการณ์แรกในปี 2005 (1 เหตุการณ์ใหญ่ และ 1 เหตุการณ์เล็ก) เป็นชุดทดสอบ และเนื่องจากไม่มีการกำหนดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Validation) แต่เป็นการกำหนดให้แบ่งแบบสุ่มโดยตัวแบบจำลองเองเพื่อลดความเบี่ยงเบนของการพยากรณ์ ดังนั้นจึงต้องทำการประมวลผลซ้ำ 50 รอบแล้วนำค่าผลการพยากรณ์จาก 50 รอบมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าพยากรณ์ของแต่ละแบบจำลอง

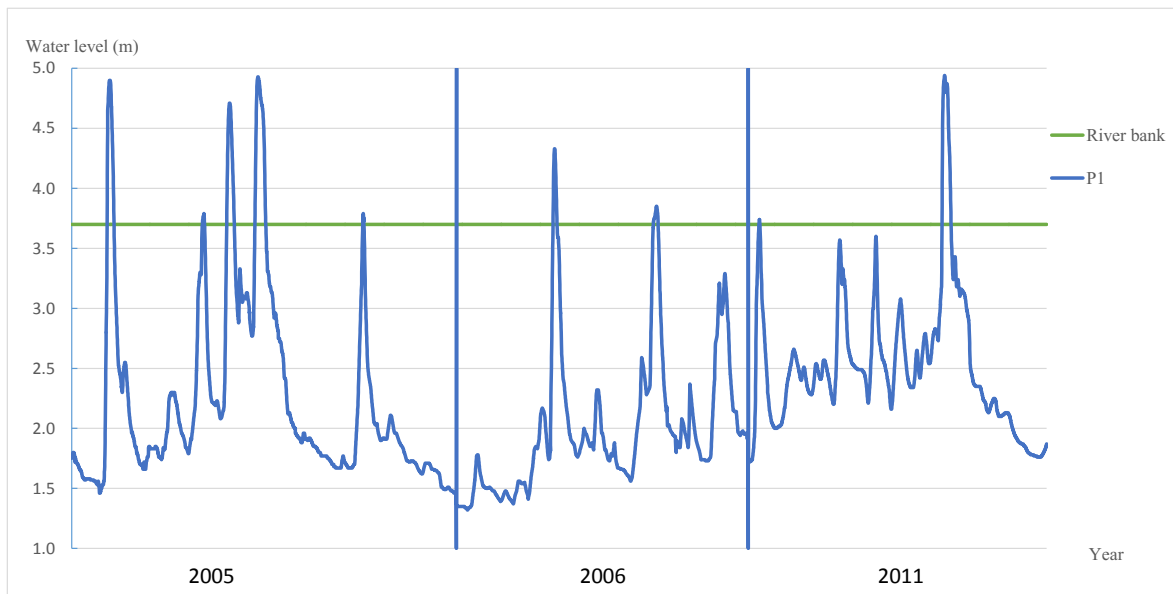


Figure 2 Flood events during year 2005-2011

สำหรับการออกแบบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลนำเข้า (ระดับน้ำรายชั่วโมง) จาก 4 สถานี จะนำมาใช้เป็นตัวแปรตั้งแต่ เวลา $t, t-1, t-2, \dots, t-24$ ทำให้

ข้อมูลนำเข้ามีทั้งหมด $(4 \times 25) 100$ ตัวแปร และก่อนจะนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เทคนิคการคัดเลือกตัวแปร 4 วิธี (Cross correlation-C,

Stepwise regression-S, วิธีผสม CS และ Genetic algorithms) อ้างอิงจากงานวิจัยของ Chaipimonplin²² เมื่อได้จำนวนตัวแปรที่ถูกเลือกแล้ว กำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น จะอ้างอิงตามจำนวนตัวแปรนำเข้า โดยจะกำหนดที่ 1, 25%, 50%, 75% และ 100% โดยทำการพยากรณ์ระดับน้ำ ณ เวลา 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ที่สถานี P.1

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจะใช้ค่าสถิติ R² (Coefficient of Determination Pearson's squared)²³ ถ้าค่าใกล้ 1 หมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดี

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

- โดย คือค่าระดับน้ำจริง ณ เวลา i
- คือค่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ณ เวลา i
- คือค่าเฉลี่ยของระดับน้ำจริง
- คือค่าเฉลี่ยระดับน้ำจากแบบจำลอง

ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการคัดเลือกตัวแปรนำเข้า ทั้ง 4 วิธี ผลการคัดเลือกแสดงใน Table 1 และ Table 2 สำหรับ 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ตามลำดับ โดย การพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า วิธี G มีการคัดเลือกตัวแปรมากที่สุดคือ 32 ตัวแปร ส่วนวิธี CS เลือกมาเพียง 9 ตัวแปร ซึ่งไม่มีตัวแปรของสถานี P.67 และ P.20 เนื่องจากทั้งสองสถานีไม่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำ สถานี P.1 t+6 เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.9

Table 1 Input variables selection t+6

P.1	C	CS	G	S	P.67	C	CS	G	S	P.75	C	CS	G	S	P.20	C	CS	G	S	
t	X	X	X	X	t				X	t	X	X	X	X	t			X	X	
t-1	X		X		t-1					t-1	X	X	X		t-1					
t-2	X	X	X	X	t-2					t-2	X				t-2				X	
t-3	X		X		t-3				X	t-3	X				t-3					
t-4	X				t-4			X		t-4	X		X		t-4				X	
t-5	X				t-5			X	X	t-5	X				t-5				X	
t-6	X	X	X		t-6					t-6	X				t-6				X	
t-7	X		X		t-7			X		t-7	X				t-7				X	X
t-8	X		X		t-8					t-8	X				t-8					
t-9	X		X		t-9					t-9	X	X			t-9					
t-10	X	X			t-10				X	t-10	X	X			t-10				X	
t-11	X		X		t-11					t-11					t-11					
t-12	X				t-12					t-12			X		t-12					X
t-13	X	X	X		t-13					t-13					t-13					
t-14					t-14					t-14					t-14				X	X
t-15			X		t-15					t-15				X	t-15				X	
t-16					t-16					t-16			X		t-16				X	
t-17				X	t-17					t-17					t-17					
t-18					t-18					t-18			X		t-18					X

Table 1 Input variables selection t+6 (continue)

P.1	C	CS	G	S	P.67	C	CS	G	S	P.75	C	CS	G	S	P.20	C	CS	G	S
t-19					t-19					t-19				X	t-19			X	
t-20					t-20					t-20					t-20				
t-21					t-21					t-21				X	t-21				
t-22					t-22					t-22					t-22			X	X
t-23					t-23				X	t-23					t-23				
t-24					t-24					t-24					t-24				X
Total																25	9	32	19

ส่วนตัวแปรที่ถูกเลือกสำหรับพยากรณ์ 12 ชั่วโมงล่วงหน้ารูปแบบการคัดเลือกมีความคล้ายกับการพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า เช่น วิธี G เลือกตัวแปรมากที่สุด 33 ตัวแปร และวิธี CS เลือกเพียง 7 ตัวแปรโดยไม่เลือกตัวแปรของสถานี P.67 และ P.20 แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ เมื่อระยะเวลาการพยากรณ์มากขึ้น จำนวนตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

กับค่าพยากรณ์ ที่ถูกเลือกจะเริ่มมีจำนวนลดลง เนื่องจากเมื่อคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์จากวิธี Cross Correlation พบว่าตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.9 มีจำนวนลดลงเมื่อเทียบกับตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.9 สำหรับการพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า ยกเว้นวิธี S ที่มีตัวแปรเพิ่มจาก 19 เป็น 24 ตัวแปร

Table 2 Input variables selection t+12

P.1	C	CS	G	S	P.67	C	CS	G	S	P.75	C	CS	G	S	P.20	C	CS	G	S
t	X	X	X	X	t			X	X	t	X	X	X	X	t			X	X
t-1	X		X		t-1			X		t-1	X	X	X		t-1			X	
t-2	X	X	X	X	t-2			X	X	t-2	X		X		t-2			X	X
t-3	X				t-3					t-3	X				t-3				
t-4	X				t-4				X	t-4	X	X		X	t-4				
t-5	X	X			t-5			X		t-5			X		t-5			X	
t-6	X		X		t-6				X	t-6			X		t-6			X	
t-7	X	X	X		t-7					t-7				X	t-7			X	
t-8					t-8					t-8					t-8			X	X
t-9			X		t-9					t-9					t-9				
t-10					t-10				X	t-10			X		t-10			X	
t-11					t-11					t-11				X	t-11			X	X
t-12			X		t-12				X	t-12			X		t-12				
t-13					t-13					t-13					t-13				X
t-14					t-14					t-14					t-14				
t-15					t-15					t-15				X	t-15				
t-16					t-16					t-16			X		t-16			X	
t-17					t-17					t-17					t-17				
t-18			X	X	t-18				X	t-18					t-18				
t-19					t-19					t-19					t-19			X	X
t-20					t-20					t-20					t-20				
t-21			X		t-21					t-21					t-21				

Table 2 Input variables selection t+12 (continue)

P.1	C	CS	G	S	P.67	C	CS	G	S	P.75	C	CS	G	S	P.20	C	CS	G	S
t-22					t-22					t-22				X	t-22				
t-23					t-23					t-23					t-23				
t-24				X	t-24					t-24					t-24			X	X
Total																13	7	33	24

เมื่อได้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกแล้วจำนวนโหนดในชั้น
ซ่อนเร้นจะถูกกำหนดตามจำนวนตัวแปรนำเข้า (Table 3)

Table 3 Number of hidden nodes

t+6	No. of input variable	No. of hidden node				
		1	25%	50%	75%	100%
C	25	1	7	13	19	25
CS	9	1	3	5	7	9
G	32	1	8	16	24	32
S	19	1	5	10	15	19
t+12	No. of input variable	No. of hidden node				
		1	25%	50%	75%	100%
C	13	1	3	6	9	13
CS	7	1	2	3	5	7
G	33	1	8	16	24	33
S	24	1	6	12	18	24

จาก Figure 3 แสดงค่าสถิติ R² จากการพยากรณ์น้ำท่วม 6 ชั่วโมงล่วงหน้า กระบวนการเรียนรู้แต่ละเกทส่วนมากจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่แม้จะมีการใช้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่แตกต่างกันหรือตัวแปรที่แตกต่างกัน โดยมีค่า

R² ประมาณ 0.99 ยกเว้นการเรียนรู้ GD, GDM และ GD_X ที่มีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงตามจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นและมีช่วงค่า R² ส่วนมากต่ำกว่า 0.99

Table 4 R² values of models with 1 hidden node at t+6 and t+12 hour

t+6	BFG	BR	CGB	CGF	CGP	LM	OSS	RP	SCG	GD	GDM	GD _X
Model C	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.95	0.94	0.97
Model CS	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.93	0.94	0.97
Model G	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99	0.95	0.94	0.95
Model S	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	0.96	0.95	0.97
t+12	BFG	BR	CGB	CGF	CGP	LM	OSS	RP	SCG	GD	GDM	GD _X
Model C	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.88	0.88	0.91
Model CS	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.89	0.90	0.93
Model G	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.96	0.96	0.97	0.93	0.93	0.95
Model S	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.93	0.93	0.95

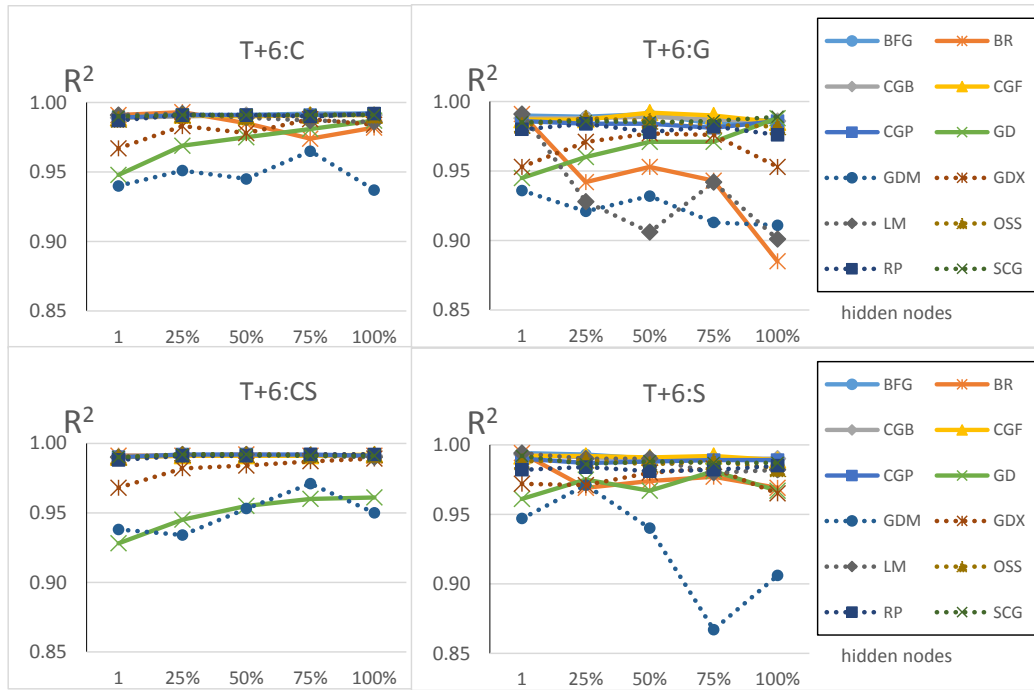


Figure 3 R² Values of testing all 12 learning algorithms between August and September 2005 at t+6

สำหรับ Figure 4 แสดงให้เห็นผลของการพยากรณ์ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า รูปแบบของค่าสถิติ R² มีความคล้ายกับการพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า โดยกระบวนการเรียนรู้ GD, GDM และ GD มีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างแย่ที่สุด เพราะเมื่อ

พิจารณาเส้นกราฟ เส้นที่บิกบาทสี่เหลี่ยม (GD) เส้นประวงกลมสี่เหลี่ยม (GDM) และ เส้นประดอกจันสี่เหลี่ยม (GD) แสดงค่าสถิติ R² ได้น้อยที่สุด ส่วนจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสมที่สุดคือ ร้อยละ 50 โดยมีค่าสถิติ R² สูงสุด 0.98

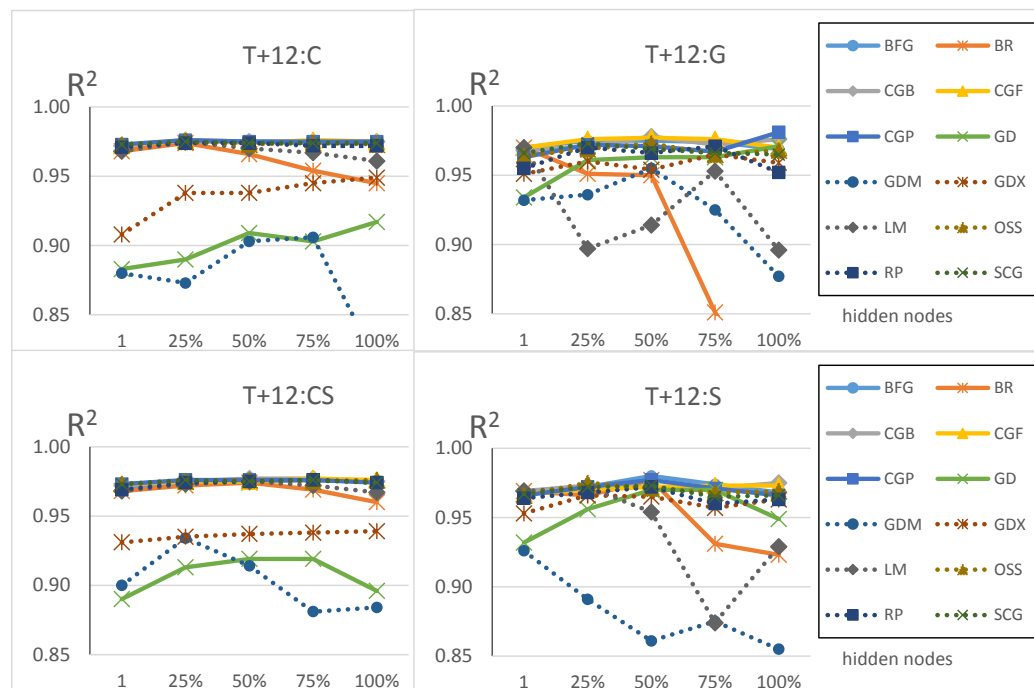


Figure 4 R² Values of testing all 12 learning algorithms between August and September 2005 at t+12

จากค่าสถิติ R^2 จะเห็นได้ชัดว่าเมื่อใช้ตัวแปรนำเข้าที่ได้จากการคัดเลือกโดยวิธี C ทุกประเภทการเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างคงที่มากกว่าทุกวิธี แม้ว่าจะมีการใช้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำผลพยากรณ์จากแบบจำลองที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น ร้อยละ 50 มาแสดงในไฮโดรกราฟ (Figure 5) พบว่า กระบวนการเรียนรู้แต่ละประเภทพยากรณ์ได้ค่อนข้างแม่นยำซึ่งสอดคล้องกับค่า R^2 แต่เนื่องจากการเป็นกราฟรายชั่วโมงไฮโดรกราฟที่แสดงใน Figure 5 ไม่สามารถที่จะสรุปได้ชัดเจนว่ากระบวนการเรียนรู้ประเภทใดให้ผลเหมือนกันหรือแตกต่างกัน ดังนั้นไฮโดรกราฟที่แสดงใน Figure 6 เป็นการตัดช่วงข้อมูลเฉพาะช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม 2 เหตุการณ์ โดยกระบวนการเรียนรู้ที่

พยากรณ์ใกล้เคียงกับระดับน้ำจริงในช่วงที่ระดับน้ำล้นตลิ่งได้ดีและเหมือนกันคือ BFG, CGB, CGF, CGP, RP, OSS และ SCG ส่วน BR, GD, GDM, GDX และ LM พยากรณ์ช้ากว่าเหตุการณ์จริง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงการพยากรณ์ระดับน้ำท่วมสูงสุดพบว่า การพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้ากระบวนการเรียนรู้ที่พยากรณ์ได้ดีในช่วงระดับน้ำล้นตลิ่งจะพยากรณ์ค่าระดับน้ำสูงสุดได้สูงเกินกว่าระดับจริงประมาณ 30-45 เซนติเมตร (เหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่) และนอกจากนั้นกลุ่มกระบวนการเรียนรู้ที่พยากรณ์ช้ากว่าเหตุการณ์จริงในช่วงน้ำล้นตลิ่งพบว่า พยากรณ์ค่าระดับน้ำสูงสุดได้ค่อนข้างดี เช่น BR, GD, GDX และ LM พยากรณ์คลาดเคลื่อนเพียง 13, 15, 8, และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ

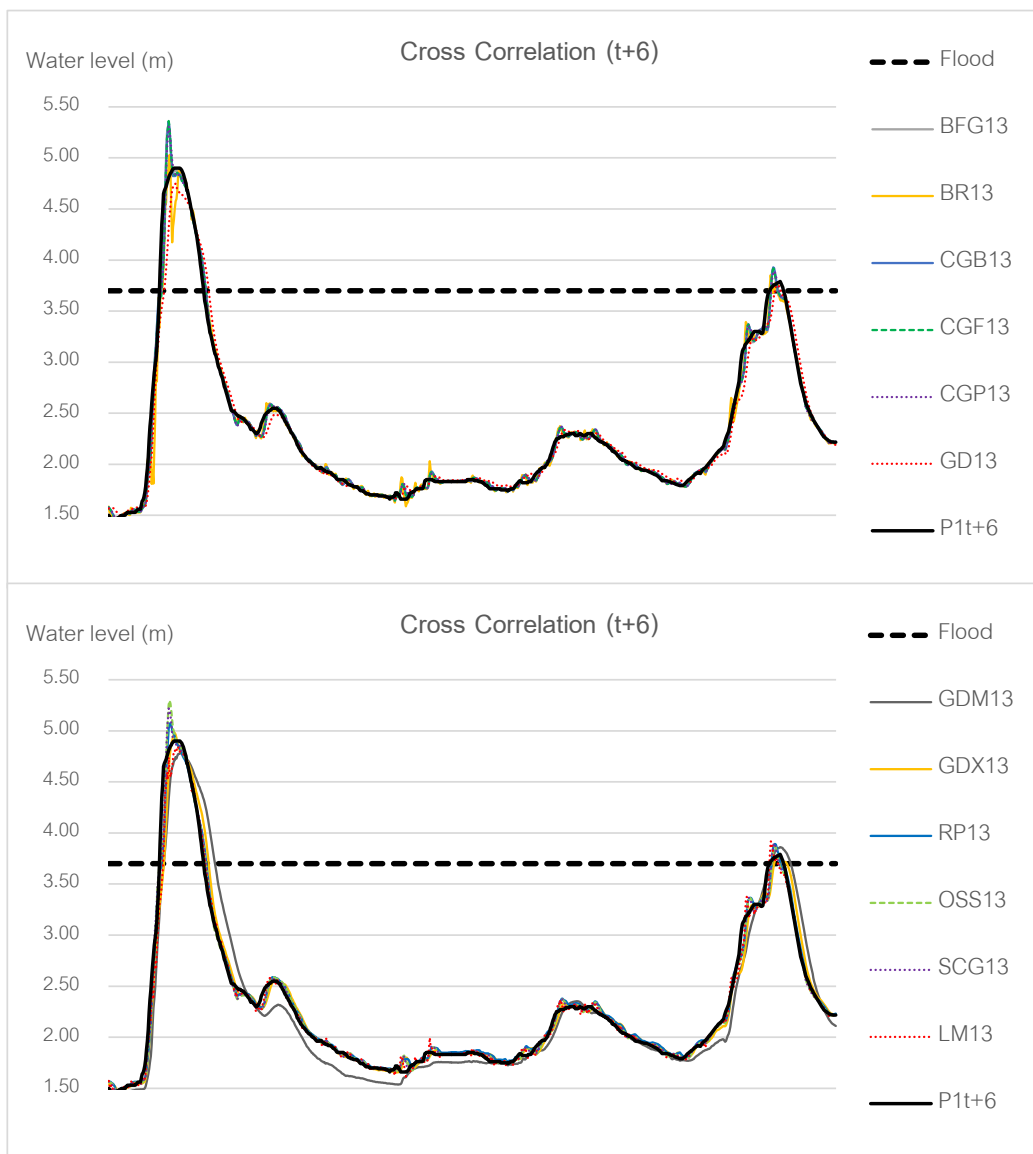


Figure 5 Hydrographs of Cross Correlation with hidden node 50% of 12 learning algorithms at the first and second flood event 2005, t+6

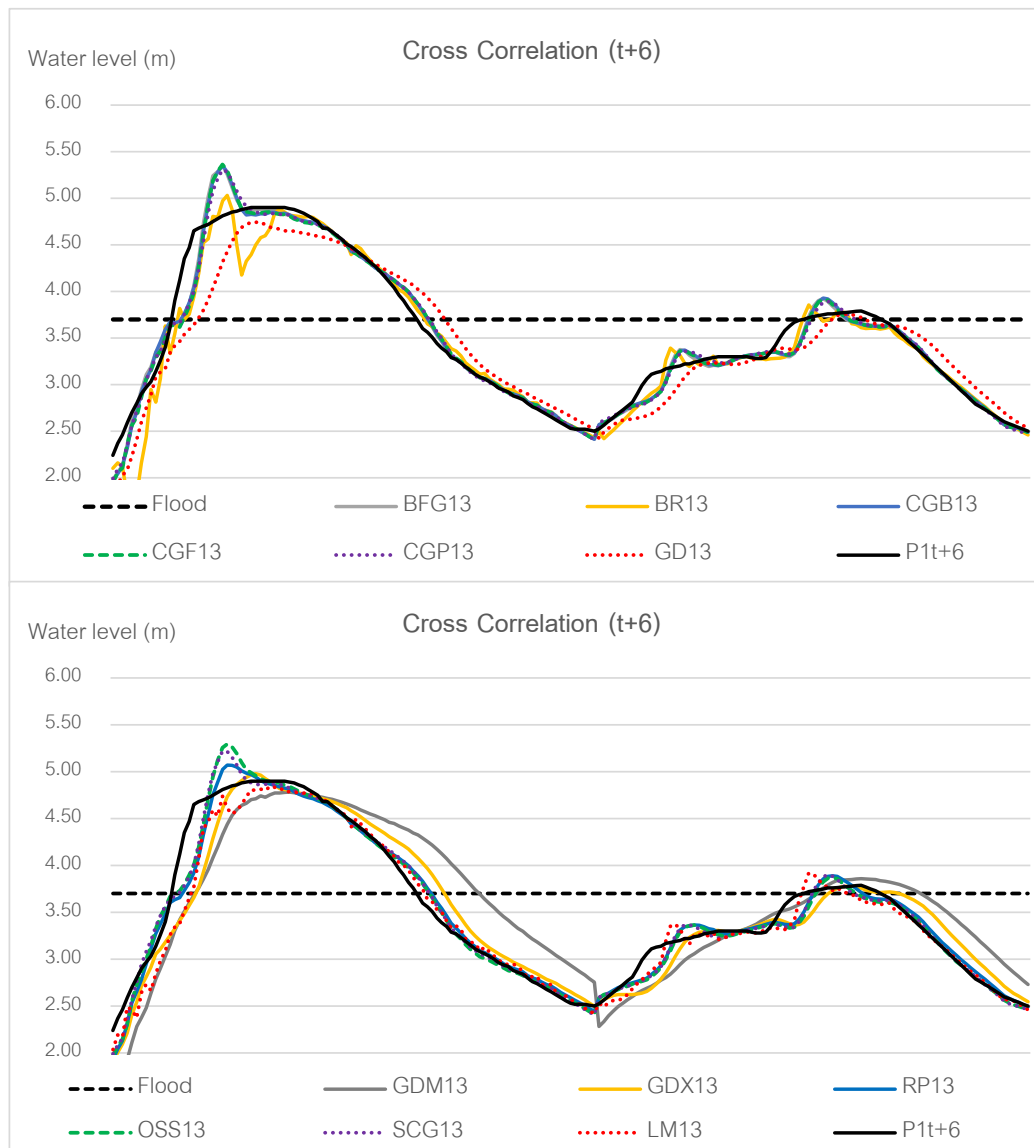


Figure 6 Rescaled hydrographs of Cross Correlation with hidden node 50% of 12 learning algorithms at the first and second flood event 2005, t+6

สำหรับการพยากรณ์ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า (Figure 7) ไฮโดรกราฟให้ผลการพยากรณ์สอดคล้องกับค่า R^2 ซึ่งแสดงว่ากระบวนการเรียนรู้ส่วนมากให้ผลการพยากรณ์ที่คล้ายกันและมีค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ในช่วงค่าระดับน้ำสูงสุดมากกว่าระดับน้ำจริง เพื่อให้สามารถแยกแยะประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้แต่ละประเภทในการพยากรณ์ระดับน้ำรายชั่วโมง ไฮโดรกราฟใน Figure 8 จึงถูกตัดและแสดงผลการพยากรณ์ในเฉพาะช่วงการเกิดน้ำท่วม โดยกลุ่มกระบวนการเรียนรู้ที่สามารถพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าในช่วงน้ำล้นตลิ่ง

ได้ดีและพยากรณ์ได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง เหมือนกับผลการพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า และเนื่องจากการพยากรณ์ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดยเฉพาะ ณ ระดับน้ำสูงสุดจึงเกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า โดยพยากรณ์สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดประมาณ 70-80 เซนติเมตร โดยกระบวนการเรียนรู้ BR เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่พยากรณ์ค่าระดับน้ำสูงสุดได้ใกล้เคียงที่สุดคือพยากรณ์สูงกว่าระดับจริง 26 เซนติเมตร

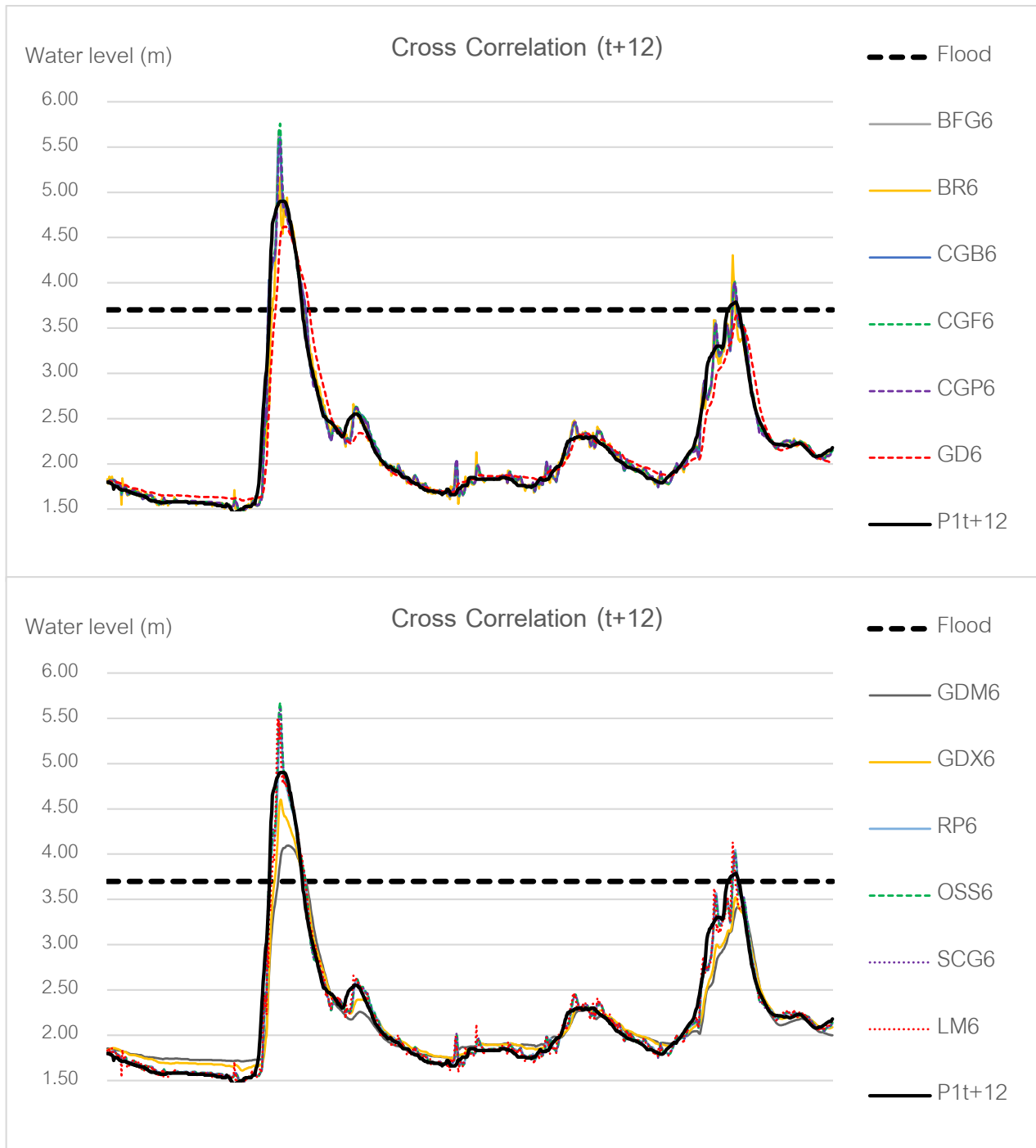


Figure 7 Hydrographs of Cross Correlation with hidden node 50% of 12 learning algorithms at the first and second flood event 2005, t+12

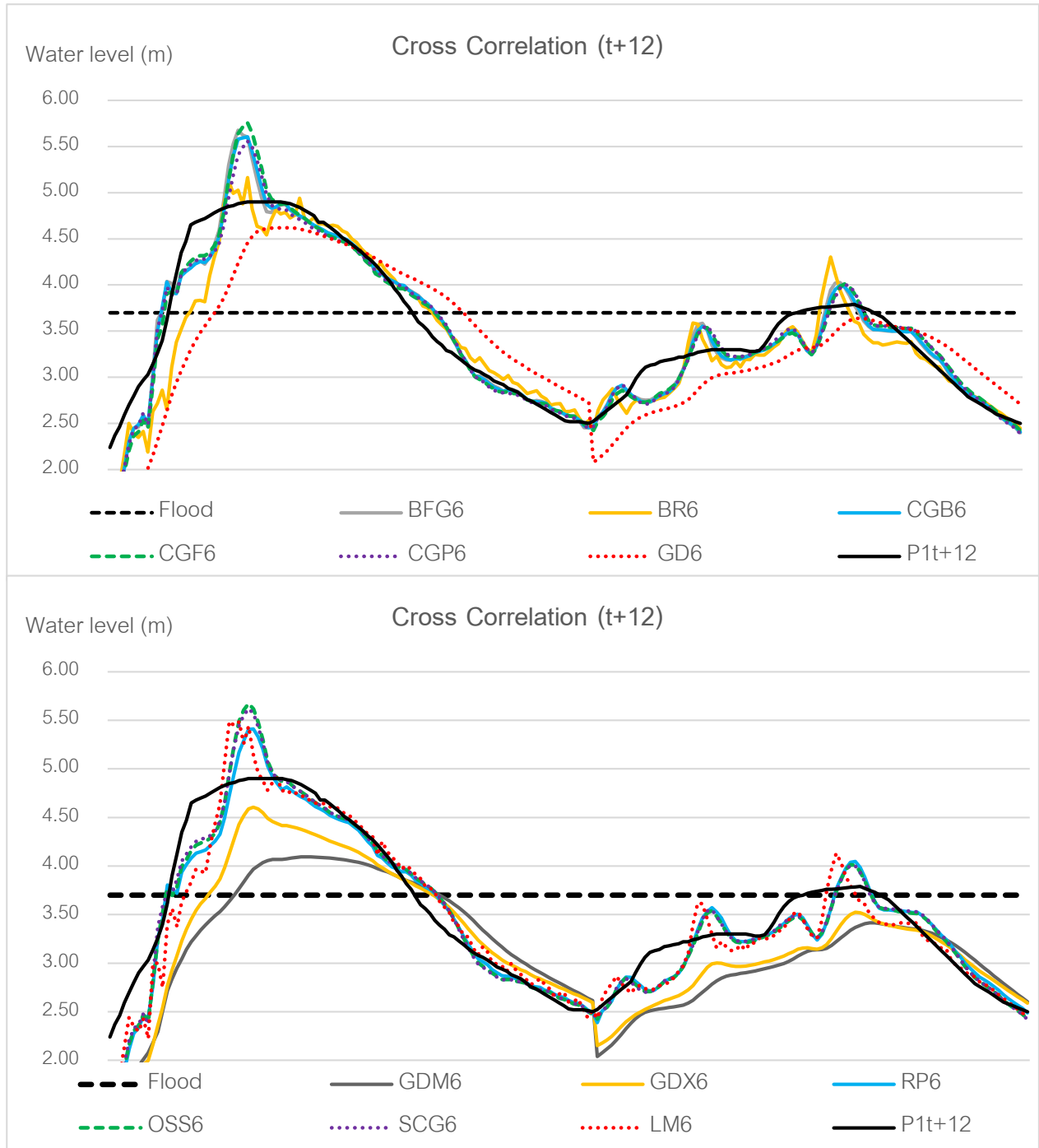


Figure 8 Rescaled hydrographs of Cross Correlation with hidden node 50% of 12 learning algorithms at the first and second flood event 2005, t+12

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบ 2 เหตุการณ์น้ำท่วม ในปี ค.ศ. 2005 พบว่า กระบวนการเรียนรู้ส่วนมากในภาพรวมให้ผลการพยากรณ์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังค่าสถิติ R² มีค่า 0.99 สำหรับพยากรณ์ 6 ชั่วโมงล่วงหน้า และ 0.97 สำหรับพยากรณ์ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า (Table 4) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาไฮโดรกราฟแล้วพบว่า แบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ช่วงระดับน้ำล้นตลิ่งได้

ดี มี BFG, CGB, CGF, CGP, RP, OSS และ SCG ซึ่งให้ผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกันมาก

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการประมวลผล กระบวนการเรียนรู้เกือบทุกกระบวนการเรียนรู้ค่อนข้างเร็ว ยกเว้น BR ที่ใช้เวลามากที่สุด โดยตัวอย่างระยะเวลาการประมวลผลของแบบจำลอง 50 รอบ (สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel R Core (TM) i7-6700 CPU@ 3.4 GHz และ 8GB Ram)

เมื่อใช้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นมากที่สุดคือ 33 โหนด คือ 1 นาที่ (SCG, GDM และ GDX) 2 นาที่ (CGB, CGP และ OSS) 3 นาที่ (CGF และ RP) 4 นาที่ (GD) 8 นาที่ (LM) 30 นาที่ (BFG) และ 240 นาที่ หรือ 4 ชั่วโมง (BR)

นอกจากนั้นแล้วการเลือกใช้ตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่แตกต่างกันก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์ในแต่ละประเภทกระบวนการเรียนรู้ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมต่อไปสำหรับการพยากรณ์น้ำท่วม ณ 6 และ 12 ชั่วโมงล่วงหน้า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน สถานี P.1 ควรจะใช้กระบวนการเรียนรู้ประเภทใดประเภทหนึ่งได้ เพราะมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน (BFG, CGB, CGF, CGP, RP, OSS และ SCG) แต่ถ้าต้องการเลือกใช้กระบวนการเรียนรู้ที่ใช้เวลาการประมวลผลที่รวดเร็ว ควรเลือกใช้กระบวนการเรียนรู้ SCG, CGB, CGP หรือ OSS เนื่องจากใช้เวลาประมวลผลค่อนข้างเร็ว หรือถ้าต้องการให้ได้ความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าระดับน้ำสูงสุดกระบวนการเรียนรู้ที่ควรเลือกใช้คือ LM เนื่องจาก LM พยากรณ์คลาดเคลื่อนเพียง 5 เซนติเมตร และใช้ระยะเวลาประมวลผลเพียง 8 นาที่ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ 13 และ 6 โหนด สำหรับการพยากรณ์ 6 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ (จำนวน 50% จากจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่คัดเลือกจากวิธี C หรือ วิธี ผสม ระหว่าง Cross Correlation + Stepwise Regression) ซึ่งทำให้ระยะเวลาการประมวลผล 50 รอบ จะใช้ระยะเวลาเพียง 1-2 นาที่ ซึ่งเหมาะสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีใช้กันทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนบน สำหรับข้อมูลระดับน้ำ และ กองทุนพัฒนาวิชาการ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำ ภาคเหนือตอนบน (2550) ไปประชาสัมพันธุ์ การเตือนภัยน้ำท่วมในเขตภาคเหนือตอนบน, กรมชลประทาน.
2. ทวี ชัยพิมลผลิน. 50 ปี กกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์. 2557;26(2):171-91.
3. Siang JJ. Application of back propagation method in forecasting problem. Master thesis, Asian Institute of

Technology.1992.

4. วีรวิฑูร เลพล, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์, อภินันท์ อรุโสมภณ. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับบริเวณภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.2554; 30(2): 135-44.
5. Limanond T, Jomnonkwo S, Srikaew A. Projection of future transport energy demand of Thailand. Nrg Poli. 2011;39: 2754-63.
6. Niamnuay C, Kerdpi boon S, Devahastin S. Artificial neural network modeling of physicochemical changes of shrimp during boiling. LWT-FST. 2012; 45:110-16.
7. เพชรนรินทร์ แก้วหล้า. ระบบการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคหัวใจโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2553
8. อติสร แก้วสินธุ์. การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2552
9. วรากุล กาญจนกัญญไธ, สิริภัทร เชี่ยวชาญพัฒนา, คำรณ สุนธิ. การคัดเลือกปัจจัยที่อธิบายตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์การเกิดอาชญากรรม. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 2553;10(1):22-30.
10. วิภา อินเรือง, ทวี ชัยพิมลผลิน. การคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2558;18: 191-207.
11. อรณรงค์ บุเกตุ, พุทธดี ศิริแสงตระกูล. แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2556;41(1):213-25.
12. วิจิตร คลังภูเขียว, ปิยภัทร บุชบาบดินทร์ และ บังอร กุมพล. การพยากรณ์ความผันผวนราคาทองคำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2560;22(1): 125-34.
13. Elsafi SH. Artificial neural network (ANNs) for flood forecasting at Dongola station in the River Nile, Sudan. Alexandria E J. 2014;53(3): 655-62.
14. ทวี ชัยพิมลผลิน. การใช้ภาพเรดาร์และข้อมูลอุทกวิทยา ร่วมกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการ

- พยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
2557;33(3): 267-74.
15. Hong JL, Hong K. Flood forecasting for Klang River
at Kuala Lumpur using artificial neural networks. Intl
J of Hy IT. 2016;9(3): 39-60.
 16. สุภาวดี ช้องกำ, ทวี ชัยพิมลผลิน. การพัฒนาแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคาดการณ์น้ำท่วม ณ
สถานี Y.16 บางระกำ. วารสารวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561;37(1) (กำลัง
ตีพิมพ์).
 17. Chaipimonplin T, See LM, Kneale PE. Comparison
of neural network learning algorithms; BR and LM for
flood forecasting, Upper Ping catchment. USMCA
2001, 10th International Symposium on New Tech-
nologies for Urban Safety Mega Cities in Asia, 2011
Oct; Chiang Mai, Thailand. (Poster).
 18. Chaipimonplin T, Vangpaisal T. Comparison of the
efficiency of input determination techniques with LM
and BR algorithms in ANN for flood forecasting, Mun
Basin, Thailand. Intl J of CEE. 2014;6(2): 90-4.
 19. Chaipimonplin T. Investigation internal parameter of
neural network model for flood forecasting at Upper
River Ping, Chiang Mai. KSCE JCE. 2016;20(1);
478-84.
 20. ยุพิน ไชยสมภาร, ทวี ชัยพิมลผลิน. การพยากรณ์ระดับ
น้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูล
ปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5. วารสาร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี). 2560;9(17): 9 หน้า (กำลังตีพิมพ์).
 21. Beale MH, Hagan MT, Demuth HB. (2017). Neural
network toolbox™ user's guide. Retrieved May 5,
2017, from [https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/
nnet/nnet_ug.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/nnet/nnet_ug.pdf).
 22. Chaipimonplin, T. An exploration of neural network
modelling options for the Upper River Ping. PhD
thesis, University of Leeds, UK. 2010.
 23. Hydrotest. (2016). Details (modelling and statistics).
Retrieved 30 March 2016, from [http://co-public.lboro.
ac.uk/cocwd/HydroTest/Details.html](http://co-public.lboro.
ac.uk/cocwd/HydroTest/Details.html)

การพัฒนาเว็บช่วยสอนสำหรับสมาร์ทโฟน

The development of Web based instruction for smartphone

อนิรุทธ์ โชติถนอม¹

Anirut Chottanom¹

Received: 23 June 2017 ; Accepted: 20 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บช่วยสอนสำหรับใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนโดยพัฒนาจากเว็บช่วยสอนเดิม ซึ่งเป็นแบบเดสก์ท็อปไซต์สำหรับใช้งานกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่มีการแสดงผลของหน้าจอขนาด 768 จุดภาพขึ้นไป เมื่อนำสมาร์ทโฟนมาใช้กับเว็บช่วยสอนเดิมจึงทำให้เกิดการแสดงผลที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากจอภาพของสมาร์ทโฟนมีขนาดเล็กกว่าจอภาพคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงได้ออกแบบ และพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของเว็บช่วยสอนเดิมเพื่อให้แสดงผลในรูปแบบโมบายไซต์ ได้อย่างเหมาะสม โดยให้ระบบคงความสามารถในการใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้เช่นเดิม ด้วยการใช้หลักการของเว็บแบบปรับตัวในการออกแบบ เพื่อให้ใช้งานได้กับอุปกรณ์การแสดงผลหลากหลาย ผลของการวิจัยพบว่า เว็บช่วยสอนสำหรับสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลได้กับสมาร์ทโฟนที่เป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ วินโดวส์โมบาย และไอโอเอส จากการวัดความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์จำนวน 26 คน พบว่ามีความพึงพอใจต่อการใช้เว็บช่วยสอนในระดับ พอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.74 และวัดความพึงพอใจของนิสิตจำนวน 29 คน พบว่ามีความพึงพอใจต่อการใช้เว็บช่วยสอนในระดับ พอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.87

คำสำคัญ: เว็บช่วยสอน เว็บแบบปรับตัว

Abstract

The purpose of this research was to develop web based instruction for smart phone by renovating the existing web based instruction. The existing instruction is based on a desktop site design. It is for use with a personal computer that has a screen resolution above 768 pixels. When users used a smart phone to access existing web based instruction, it was unsuitable for the smartphone's screen size as it is smaller than a computer monitor. In this research, a newly design user interface of the web based instruction has been developed to suit both mobile and personal computer screen sizes. A responsive web design is proposed as a suitable design. It can support various kinds of screen sizes. The result of this research shows that the newly designed web based instruction can cope well with Android , IOS and windows phone. In this research, 26 teachers and 29 students were selected for testing user satisfaction. The study found teacher satisfaction and standard deviation at 3.69 and 0.74, respectively. The results of student satisfaction and standard deviation at 3.92 and 0.87, respectively. The overall results indicate medium level of satisfaction.

Keywords : Web based Instruction, Responsive web design

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Assistant Professor, Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University.

บทนำ

เว็บช่วยสอน (Web based instruction)¹ เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาช่วยในการจัดการเรียนการสอน การสร้างบทเรียน การสร้างแบบทดสอบการแสดงผลการเรียน การติดต่อสอบถาม การแสดงความคิดเห็น การตรวจสอบผลการเรียน และกิจกรรมการเรียนอื่นๆ ระบบนี้ทำให้อาจารย์ผู้สอนสามารถสร้างบทเรียนผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องเรียนรู้คำสั่งในการเขียนเว็บไซต์ ปัจจุบันมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีเว็บช่วยสอน www.wbi.msu.ac.th สำหรับจัดการข้อมูลการสอนเว็บช่วยสอนนี้ถูกพัฒนาเมื่อปี พ.ศ.2545 ในรูปแบบเดสก์ท็อปไซต์ สำหรับใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งมีหน้าจอกว้างใหญ่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้ก้าวหน้าไปมาก ทั้งอาจารย์ และนิสิตส่วนใหญ่มีสมาร์ทโฟน ซึ่งสามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต และสามารถเข้าใช้งานเว็บช่วยสอนได้เช่นเดียวกับการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แต่ด้วยขนาดของจอภาพที่เล็ก จึงทำให้การแสดงผลไม่มีความเหมาะสม เพราะการแสดงผลจะเกินขนาดของหน้าจอเป็นอย่างมาก และมีข้อมูลแสดงออกมามากเกินไป ทำให้ผู้ใช้งานไม่สะดวกในการใช้งานเว็บ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงส่วนต่อประสานผู้ใช้ของเว็บช่วยสอนเดิมเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับสมาร์ทโฟน โดยใช้หลักการของเว็บแบบปรับตัว (Responsive Web Design)² การออกแบบเว็บไซต์ด้วยแนวคิดนี้จะทำให้เว็บไซต์สามารถแสดงผลบนอุปกรณ์ที่มีจอภาพแตกต่างกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้การใช้รหัสคำสั่งเดียวกันในการทำงาน ซึ่งหลักการดังกล่าวได้ใช้เทคโนโลยีการจัดเรียงเอกสาร ซีเอสเอส (Cascading Style Sheets CSS) มาใช้งาน ซึ่งซีเอสเอสเป็นคำสั่งในการปรับแต่งเว็บให้เป็นระเบียบเรียบร้อย และสวยงาม³ ในการวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ระบบเพื่อทำการตรวจสอบชุดคำสั่งที่ไม่เป็นที่นิยมใช้งาน และทำการปรับแต่ง หรือนำออกจากระบบเพื่อให้ข้อมูลที่แสดงผลมีปริมาณลดลง ช่วยให้การแสดงผลด้วยสมาร์ทโฟนมีความรวดเร็วมากขึ้น ในการปรับปรุงระบบครั้งนี้ทำให้ได้เว็บช่วยสอนที่รองรับการใช้งานกับหน้าจอที่หลากหลายขนาดมากขึ้น โดยสามารถใช้งานได้กับระบบปฏิบัติการสมาร์ทโฟน เช่น แอนดรอยด์ ไอโอเอส วินโดวส์โมบายเป็นต้น โดยยังคงสามารถใช้งานกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้เช่นเดิม

วัตถุประสงค์การวิจัย

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญสองประเด็นคือ

1. เพื่อพัฒนาส่วนต่อประสานผู้ใช้ของเว็บช่วยสอนสำหรับใช้งานกับสมาร์ทโฟน
2. ศึกษาความพึงพอใจในการใช้งานเว็บช่วยสอนที่พัฒนาขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยนี้มี 5 ขั้นตอน ดัง Figure 1



Figure 1 Research Diagram

ในการวิจัยขั้นแรกผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบเว็บไซต์แบบปรับตัวเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบวิธีการโต้ตอบกับผู้ใช้งาน โดยศึกษาจากงานวิจัย และบทความในเว็บไซด์ต่างๆ เช่นงานวิจัยของ Deanna Klein, Aleksandar Gubic⁴ ซึ่งได้ปรับปรุงเว็บไซต์ของ Minot State University College of Business โดยได้พัฒนาจากเว็บแบบเดสก์ท็อปไซต์ให้เป็นแบบโมบายไซต์ โดยการนำซีเอสเอสมาใช้ในการควบคุมการแสดงผลของเว็บ จากผลการวิจัยนี้พบว่าการพัฒนาเว็บให้เป็นแบบปรับตัวสามารถเพิ่มศักยภาพของการใช้สมาร์ทโฟนของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยได้ มีผู้สำรวจรูปแบบของเว็บในระบบอินเทอร์เน็ตพบว่าเว็บไซด์ส่วนใหญ่เป็นเว็บกึ่งปรับตัว (Semi-responsive)⁵ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเว็บในปัจจุบันมีการพัฒนาให้รองรับการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการพัฒนาเครื่องมือที่เป็นแบบสำเร็จสำหรับการออกแบบเว็บแบบปรับตัวโดยใช้ ซีเอสเอส และจาวาสคริปต์ เพื่อช่วยให้ผู้พัฒนาเว็บสามารถสร้างเว็บแบบปรับตัวได้ง่ายขึ้น⁶ มีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยของ

Houcine Hassan ที่ให้แนวคิดว่าหากต้องการพัฒนาเว็บแบบโมบายไซต์ควรจะใช้ประโยชน์ของหน้าจอให้เต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในแนวกว้างของจอภาพ⁷ นอกจากนี้ยังพบว่ามีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่นำเว็บแบบปรับตัวมาใช้ประโยชน์ เช่น การพัฒนาเว็บไซต์สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับการรองรับหน้าจอหลายขนาด⁸ การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการลงทะเบียนฝึกอบรม⁹ การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับอาจารย์ โดยใช้พิมพ์เขียวการบริการ¹⁰ การพัฒนาโปรแกรมบนอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อแนะนำ เส้นทางออกนิเทศงานสหกิจศึกษาและการประเมินผลการฝึกสหกิจศึกษา¹¹ การพัฒนาแอปพลิเคชันการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนเสมือนจริงบนอุปกรณ์เคลื่อนที่¹² และการพัฒนาระบบสารสนเทศฝึกประสบการณ์วิชาชีพนักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด¹³ เป็นต้น งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดได้ใช้ซีเอสเอสในการออกแบบการแสดงผลทั้งสิ้น นอกจากนี้ในการค้นคว้าจากระบบอินเทอร์เน็ตของผู้วิจัย ได้พบเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบเว็บแบบปรับตัว และชุดคำสั่งสำหรับนำมาใช้ในการแสดงผลของเว็บจากเว็บไซต์ต่างๆ เช่น w3schools ที่ให้รายละเอียดของการใช้คำสั่งซีเอสเอสที่เข้าใจง่าย รวมถึงตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบต่างๆ นอกจากนี้ยังมีเว็บไซต์ Bootstrap ซึ่งได้สร้างชุดคำสั่งสำเร็จรูปที่นำไปใช้ในการออกแบบเว็บ ด้วยซีเอสเอส สำหรับการออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้งานบนสมาร์ตโฟน และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จากการศึกษาข้อมูลในเว็บไซต์ YouTube มีวีดีทัศน์ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเว็บแบบปรับตัวไว้จำนวนมาก ซึ่งสามารถเรียนรู้เพื่อนำมาพัฒนาเว็บได้ และได้พบรูปแบบในการนำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่ทำให้เว็บไซต์เรียบง่าย และสามารถตอบสนองการทำงานได้อย่างรวดเร็ว เช่น การใช้ซีเอสเอสแสดงตัวอักษรในรูปแบบรูปภาพแทนการเรียกใช้งานรูปภาพแบบบิตแมป ซึ่งลดปริมาณข้อมูลในการดาวน์โหลด นอกจากนี้ยังสามารถใช้แสดงข้อมูลให้มีมิติ เช่น เงา ความโค้งมน การไล่ระดับสี และการเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผลของตารางให้สามารถแยกแยะข้อมูลได้ชัดเจนมากขึ้น เป็นต้น

ในขั้นตอนที่สองเป็นการตรวจสอบรหัสคำสั่ง และวิธีการเขียนเว็บของเว็บช่วยสอนเดิม ซึ่งพบว่าเขียนด้วยภาษาวีบีสคริปต์ มีการแบ่งชุดคำสั่งออกเป็น 3 ระดับการทำงาน คือ อาจารย์ นิสิต และผู้ดูแลระบบ ซึ่งแต่ละระดับการทำงานจะมีไฟล์รหัสคำสั่งหนึ่งไฟล์เป็นของตนเอง โดยมีไฟล์ teacher.asp สำหรับการใช้งานของอาจารย์ student.asp สำหรับการใช้งานของนิสิต และ admin.asp สำหรับการใช้งานของผู้ดูแลระบบ ในการตรวจสอบไฟล์ทั้งสาม พบว่าโครงสร้างการเขียนโปรแกรมมีลักษณะการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน โดยมีลักษณะโครงสร้าง

```
เป็นดังนี้
#INCLUDE FILE="share.asp"
<%
Menu()
Sub menu
.....
End sub
Sub work1
.....
End sub
Sub work2
.....
End sub
Sub work...
.....
end sub
%>
```

นอกจากไฟล์หลักทั้งสามแล้ว มีไฟล์ประกอบที่สำคัญอีกหนึ่งไฟล์ คือ share.asp ทำหน้าที่เก็บชุดคำสั่งที่ใช้งานร่วมกันของผู้ใช้งานเช่น กระดานข่าว การส่งข้อความ ตัวแปรสำหรับจัดเก็บข้อมูล รูปแบบการแสดงผล การกำหนดที่อยู่ของฐานข้อมูล เป็นต้น โดยไฟล์นี้จะถูกเรียกใช้งานร่วมกันกับไฟล์หลักทั้งสามเพื่อประมวลผล และสร้างหน้าเว็บเพจติดต่อกับผู้ใช้งาน ดัง Figure 2

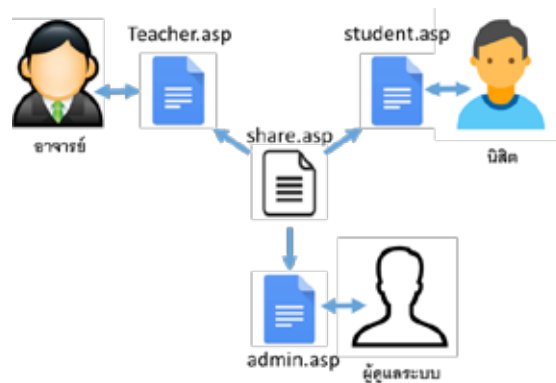


Figure 2 File System Structure

เมื่อไฟล์ทำงานร่วมกันจะทำให้เกิดหน้าเว็บส่งไปยังผู้ใช้งาน โครงสร้างการแสดงผลของเว็บช่วยสอนเดิมมีลักษณะดัง Figure 3

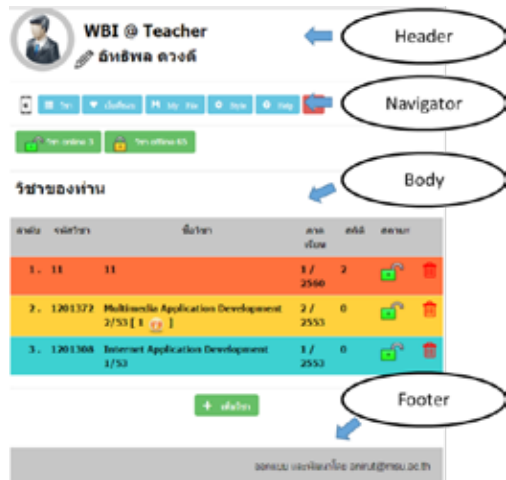


Figure 3 Original web page layout

การจัดเก็บข้อมูลประกอบการแสดงผลของเว็บ ได้แก่ ภาพสัญลักษณ์การโต้ตอบ (icon) และภาพประกอบ ถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ IMG ไฟล์เอกสารการสอน ไฟล์การสั่ง และส่งงานของแต่ละวิชาถูกเก็บแยกไว้ในโฟลเดอร์ของแต่ละวิชา โดยระบบจะสร้างโฟลเดอร์ของวิชาเมื่อมีการเพิ่มวิชาลงในระบบ ส่วนระบบฐานข้อมูลของระบบเป็น Microsoft Access 2002 มีไฟล์ของฐานข้อมูล 1 ไฟล์ประกอบด้วยตาราง 41 ตารางสำหรับเก็บข้อมูลการทำงานต่าง ๆ เช่น ข้อมูลสมาชิก ข้อมูลรายละเอียดวิชา ข้อมูลบทเรียน ข้อมูลการมอบหมาย และส่งงาน ข้อมูลเอกสารการสอน แบบฝึกหัด ข้อมูลข่าวประกาศต่าง ๆ เป็นต้น โดยตารางมีความเชื่อมโยงกันในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ดัง Figure 4

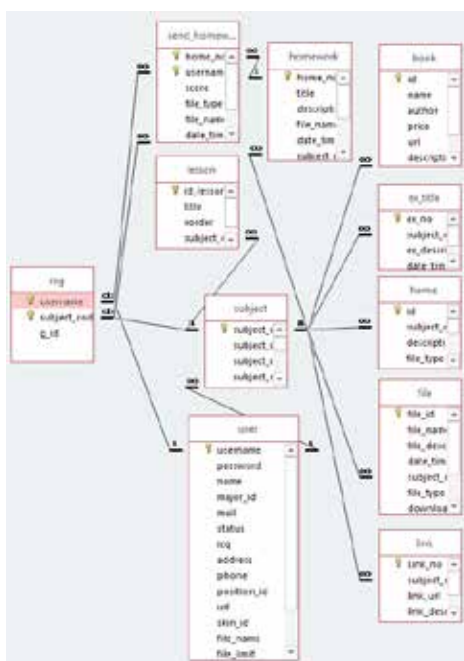


Figure 4 ER - Diagram

ในขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูล เพื่อตรวจสอบว่ามีชุดคำสั่งใดที่ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน โดยใช้การตรวจนับจำนวนข้อมูลจากตาราง ซึ่งพบว่าข้อมูลบางตารางมีปริมาณน้อย เช่น บันทึกความจำ ตารางนัดหมาย ส่งเมลล์ ส่งข้อความ การจัดเก็บไฟล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคำสั่งที่เรียกใช้ตารางเหล่านี้ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงคำสั่งดังกล่าวบางส่วนที่เห็นว่ายังมีประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอน และตัดชุดคำสั่งที่ไม่เกี่ยวข้องกับการจัดการสอนออก เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานของระบบ และเพิ่มพื้นที่ในการแสดงผลให้กับข้อมูลอื่น ซึ่งทำให้เหลือชุดคำสั่งการใช้งานของระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานกับผู้ใช้ในแต่ละระดับเป็นดัง Table 1

Table 1 User Functions

Function	Teacher	Student	Admin
Login	✓	✓	✓
Logout	✓	✓	✓
Edit Profile	✓	✓	✓
Site Favorite	✓	✓	
Change Skin	✓	✓	
Help	✓	✓	
Add Subject	✓		✓
Display Subject	✓	✓	✓
Enroll Student	✓		✓
Display Student	✓	✓	✓
Withdraw Student	✓		✓
Display Student detail	✓		✓
Add Lesson	✓		
Display Lesson	✓	✓	
Assignment	✓		
Inspect Assignment	✓		
Sent assignment		✓	
Add Document	✓		
Download Document	✓	✓	
Add Subject detail	✓		
Display Subject detail	✓	✓	✓
Add Exercise	✓		
Answer Exercise		✓	
Add Website Link	✓		
Display Website		✓	

Table 1 User Functions (continue)

Function	Teacher	Student	Admin
Add Book	✓		
Display Book		✓	
Send Message	✓	✓	✓
Web board	✓	✓	✓
Add Display skin			✓
Set Upload file size			✓
Add major			✓
Add Faculty			✓

ในขั้นตอนที่สี่ หลังจากคัดเลือกชุดคำสั่งเสร็จแล้วได้เข้าสู่กระบวนการจัดทำเว็บสำหรับสมาร์ทโฟนโดยเลือกรูปแบบวิธีการออกแบบเว็บไซต์ด้วยวิธีปรับแก้ชุดคำสั่งไปพร้อมกับการใช้งานของผู้ใช้ (Responsive Retrofitting) ซึ่งใช้การแก้ไขไปคราวละหน้าเว็บ (Page by Page) โดยจัดทำในหน้าที่สำคัญก่อน แล้วพัฒนาหน้าอื่นที่สำคัญรองลงไปเรื่อยๆ โดยเริ่มจากส่วนการใช้งานของอาจารย์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการนำข้อมูลต่าง ๆ เข้าสู่ระบบ แล้วจึงปรับแก้ในส่วนการแสดงผลของนิสิต สาเหตุที่งานวิจัยได้เลือกวิธีนี้เนื่องจากวิธีนี้สามารถนำเว็บไปใช้ได้เร็ว ไม่ต้องรอให้พัฒนาจนกระทั่งเสร็จทั้งหมดก่อน ผู้ใช้งานจะสามารถรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงจากการแก้รหัสคำสั่งทันที นอกจากนี้ได้มีการเปลี่ยนชุดคำสั่งฝั่งลูกข่ายที่เขียนด้วยภาษาวีบีสคริปต์ซึ่งไม่รองรับกับเว็บเบราว์เซอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน โดยปรับให้เป็นจาวาสคริปต์แทน และได้ทำการเปลี่ยนการใช้รูปภาพสัญลักษณ์การโต้ตอบแบบบิตแมป ด้วยการใช้ตัวอักษรจากคำสั่ง glyphicon ของ Bootstrap เข้ามาช่วย เช่น การใช้คำสั่ง ` ` เพื่อแสดงสัญลักษณ์ 🔍 แทนรูปภาพบิตแมป ซึ่งช่วยลดปริมาณในการส่งข้อมูลจากเครื่องแม่ข่ายไปยังลูกข่ายได้ สำหรับวิธีการปรับรหัสคำสั่งเพื่อให้เว็บรองรับรูปแบบการปรับตัวอัตโนมัติเมื่อแสดงผลด้วยขนาดหน้าจอที่ต่างกัน และการทำให้เว็บสามารถใช้คำสั่งซีเอสเอสในการแสดงผลได้นั้น ต้องเพิ่มแท็กในการเรียกใช้คำสั่งของ Bootstrap ไว้ที่ส่วนหัวของไฟล์หลักทั้งสามดังนี้

```
<meta name="viewport" content="width=device-width,
height=device-height, user-scalable=no" />
<meta http-equiv="X-UA-Compatible"
content="IE=edge">
<meta http-equiv="Content-Type" content="text
```

```
html;charset=TIS-620" lang="th">
<link href="bootstrap/css/bootstrap.min.css"
rel="stylesheet"> <link rel="stylesheet" href="bootstrap
css/main.css"> <link rel="stylesheet" href="bootstrap/css
responsive.css" media="screen and (max-width: 900px)">
<script src="https://oss.maxcdn.com/html5shiv/3.7.3
html5shiv.min.js"></script>
<script src="https://oss.maxcdn.com/respond/1.4.2/r
spond.min.js"></script>
#INCLUDE FILE="share.asp"
<%
Menu()
Sub menu
.....
End sub
Sub work1
.....
End sub
Sub work2
.....
End sub
Sub work...
.....
end sub
%>
```

จากนั้นทำการติดตั้งไฟล์คำสั่งของ Bootstrap เวอร์ชัน 3.3.7 ซึ่งอยู่ในรูปแบบเพิ่มข้อความ โดยดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของ Bootstrap ลงในเครื่องแม่ข่ายเว็บช่วยสอน จากนั้นได้ทำการปรับรูปแบบการแสดงผลในส่วนของการแสดงเมนูของเว็บช่วยสอนด้วยการใช้ แทกรัก navbar ซึ่งจะทำให้หน้าเว็บปรับรูปแบบการแสดงผลตามขนาดความกว้างของหน้าจอที่เปลี่ยนไป ซึ่งค่ามาตรฐานของ Bootstrap ได้กำหนดไว้ 4 ระดับคือ หน้าจอสมาร์ทโฟนขนาดหน้าจอน้อยกว่า 768 จุดภาพหน้าจอแท็บเล็ตขนาดหน้าจอน้อยกว่า 992 จุดภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ขนาดกลางขนาดหน้าจอน้อยกว่า 1200 จุดภาพ และหน้าจอคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่หน้าจอ 1200 จุดภาพ ขึ้นไปสำหรับแท็กการกำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบปรับตัวของเมนูคำสั่งเป็นดังนี้

```
<nav class="navbar navbar-default">
<div class="container-fluid">
<div class="navbar-header" align="left">
```



```

<button type="button" class="navbar-toggle collapsed"
data-toggle="collapse" data-target="#bs-example
navbar-collapse-1" aria-expanded="false">
<span class="sr-only">Toggle navigation</span>
<span class="icon-bar"></span>
<span class="icon-bar"></span>
<span class="icon-bar"></span>
</button> Web Title </div>
<div class="collapse navbar-collapse" id="bs-example
navbar-collapse-1">
<ul class="nav navbar-nav">
<li> Menu 1 </li>
<li> Menu 2 </li>
<li> Menu .... </li> </ul>
<ul class="nav navbar-nav navbar-right">
<li>Exit Button</li> </ul>
</div></div>
</nav>

```

จากแท็กดังกล่าวจะทำให้เมนู ซ่อนการแสดงผลรายการเมื่อหน้าจอมีขนาดน้อยกว่า 768 จุดภาพ ซึ่งเป็นขนาดการแสดงผลของสมาร์ทโฟน ส่วนการแสดงผลข้อมูลในพื้นที่การทำงานนั้นพบว่าเว็บช่วยสอนเดิมใช้ตารางในการกำหนดขอบเขตการแสดงผลโดยกำหนดเป็นค่าแบบคงที่ไว้ ทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นในการแสดงผล ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้เปลี่ยนวิธีการกำหนดขนาดความกว้างของตารางใหม่โดยกำหนดเป็นค่าที่ยืดหยุ่นตามขนาดของจอภาพ ซึ่งกำหนดค่าให้กว้างเต็มจอภาพ ด้วยแท็ก `<table width="100%">` เพื่อให้แสดงผลได้มากที่สุด และทำการซ่อนข้อมูลบางส่วนเมื่อเข้าสู่รูปแบบการแสดงผลแบบสมาร์ทโฟน โดยใช้รูปแบบ `display: none;` ซึ่งสร้างไว้ในคลาสของซีเอสเอส โดยกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับการแสดงผลของหน้าจอของสมาร์ทโฟน ดังนี้

```

@media screen and (max-width:768px)
{
    .hide-mobile
    {
        Display : none ;
    }
}

```

เมื่อต้องการซ่อนการแสดงผลรายการใดของโมบายไซต์ จะทำการกำหนดแบบของข้อมูลนั้นให้เป็นแบบ `hide-mobile` ตัวอย่าง เช่น

```

<table>
<tr><td> ชื่อ </td>
<td> นามสกุล </td>
<td class="hide-mobile" >เพศ</td>
</tr>
</table>

```

จากตัวอย่างคำสั่งข้างต้น จะทำให้ไม่มีคอลัมน์เพศในตารางแสดงออกมาที่จอภาพ เมื่อรูปแบบการแสดงผลเปลี่ยนเป็นแบบสมาร์ทโฟน ผู้ใช้จะเห็นเฉพาะชื่อ และนามสกุล เท่านั้น ในการปรับแก้วิธีนี้ทำได้รวดเร็วเนื่องจากไม่ต้องปรับโครงสร้างการแสดงผลเนื้อหาของเว็บเดิมมาก

การปรับรูปแบบการแสดงผลของงานวิจัยนี้ส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของโปรแกรมน้อย เนื่องจากไม่ได้ปรับรูปแบบคำสั่งการประมวลผล และไม่ได้ มีการปรับเปลี่ยนกลไกของฐานข้อมูลแต่อย่างใด

ผลการวิจัย

เมื่อทำการคัดเลือกชุดคำสั่งที่เหมาะสมของเว็บช่วยสอนเสร็จสิ้นแล้วทำให้ได้โครงสร้างของเว็บใหม่เป็นดัง Figure 5

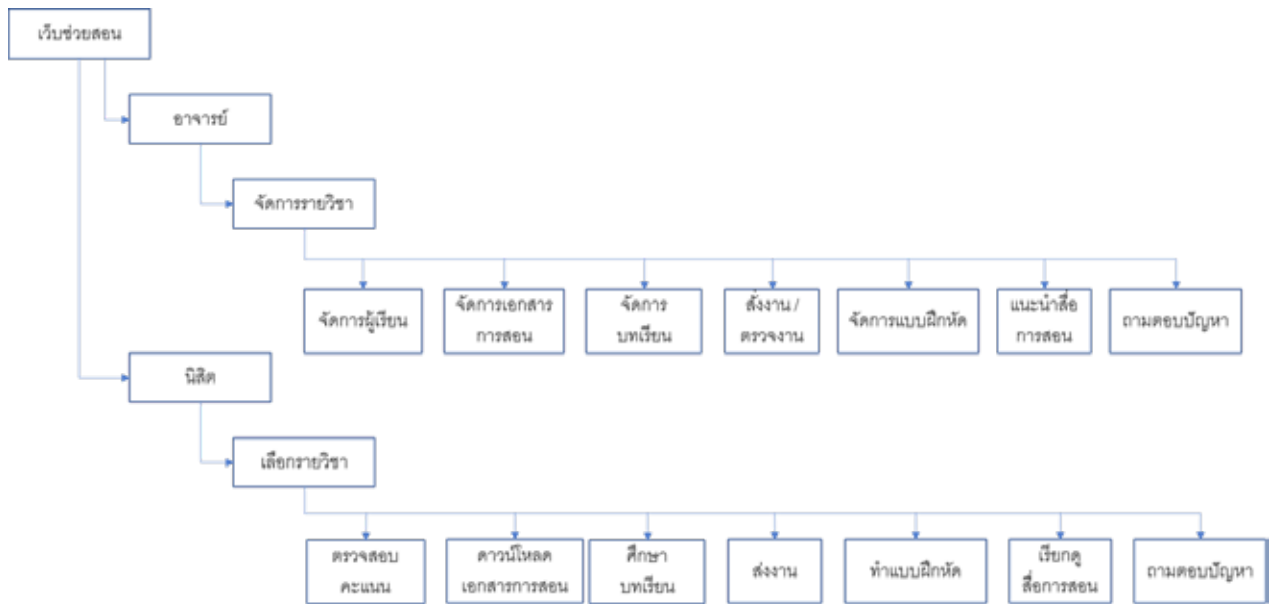


Figure 5 Site map

เมื่อพัฒนาเสร็จแล้ว ได้หน้าเว็บไซต์สำหรับการทำงาน ดัง Figure 6 – 7 โดย Figure 6 เป็นภาพเว็บไซต์เดิมที่ยังไม่ได้ปรับแก้ไข ซึ่งแสดงในรูปแบบของเดสก์ท็อปไซต์ได้เพียงอย่างเดียว



Figure 6 Original home page

Figure 7 คือเว็บใหม่ที่มีการปรับรูปแบบการแสดงผลในแบบโมบายไซต์ ซึ่งกำหนดให้แสดงข้อมูลน้อยลง เพื่อความรวดเร็วในการเรียกใช้งาน



Figure 7 New Home page for mobile site

Figure 8 เป็นหน้าเว็บแสดงรายการวิชาในรูปแบบของเว็บไซต์เดิมซึ่งแสดงรายการข้อมูลหลายคอลัมน์ ส่วน Figure 9 มีการปรับรูปแบบใหม่ในการแสดงรายการวิชาสำหรับแสดงผลแบบโมบายไซต์ โดยทำการซ่อนข้อมูลบางส่วนไว้ เพื่อให้จอภาพมีช่องว่างมากขึ้น เป็นจุดพักสายตาของผู้ใช้งาน



Figure 8 Select Subject original site



Figure 9 Select Subject Mobile site



Figure 10 Subject Welcome page Mobile site



Figure 11 Subject Welcome page Desktop site

Figure 10 เป็นการแสดงหน้าหลักของวิชา ซึ่งมีการซ่อนเมนูการทำงานไว้ ซึ่งช่วยลดพื้นที่ในการแสดงผลเมื่อแสดงในแบบโมบายไซต์ และ Figure 11 เป็นหน้าหลักของวิชาในแบบเดสก์ท็อปไซต์

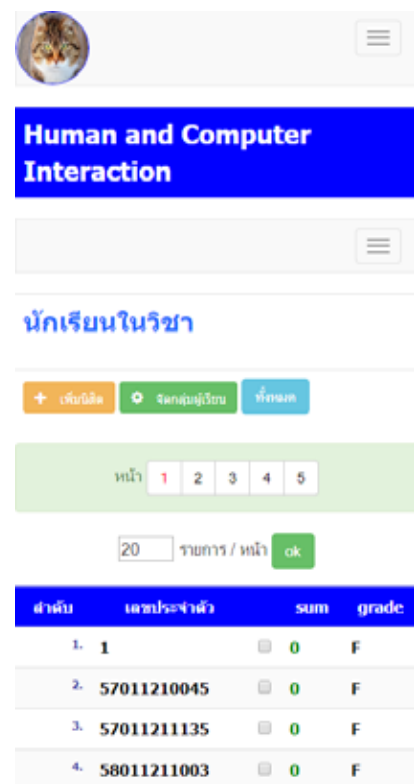


Figure 12 Student List Mobile site

Figure 12 เป็นการแสดงข้อมูลนิสิตในชั้นเรียนแสดงผลแบบโมบายไซต์ ซึ่งมีการตัดปุ่มคำสั่งบางส่วนออกเพื่อให้การแสดงผลมีขนาดที่พอดีกับหน้าจอ และเมื่อผู้ใช้งานใช้งานหน้านี้ในรูปแบบเดสก์ท็อปไซต์ จะได้หน้าเว็บดัง Figure 13 ซึ่งระบบจะแสดงรายการ และปุ่มคำสั่งทั้งหมดออกมา



Figure 13 Student List Desktop site



Figure 16 Assignment Mobile site



Figure 14 Document List Mobile site

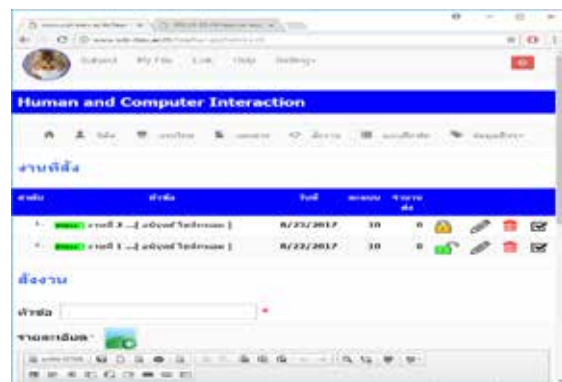


Figure 17 Assignment Desktop site

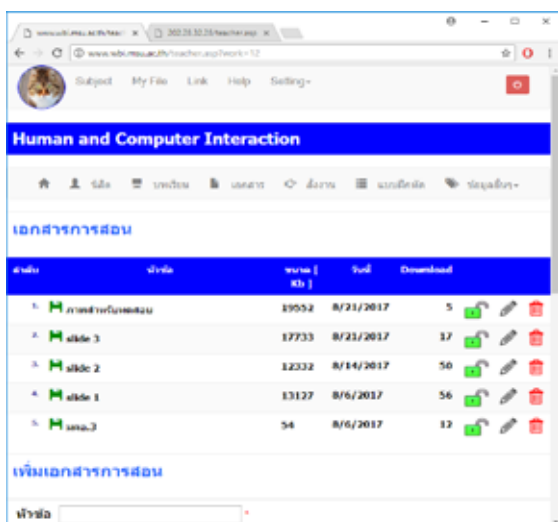


Figure 15 Document List Desktop site

หลังจากที่พัฒนาระบบช่วยสอนเสร็จสิ้นแล้ว ผู้วิจัยได้นำกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วยกลุ่มผู้ใช้งานในรูปแบบอาจารย์จำนวน 26 คน และนิสิตจำนวน 29 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง โดยเลือกจากอาจารย์และนิสิตที่ใช้งานสมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ หรือ ไอโอเอส หรือ วินโดวส์โฟน เพื่อทำการศึกษาคความพึงพอใจ และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานเว็บช่วยสอน โดยงานวิจัยนี้สนใจประเมินผลการใช้งานเฉพาะรูปแบบการแสดงผลแบบโมบายไซต์ ซึ่งใช้งานด้วยสมาร์ทโฟนเท่านั้น ซึ่งจะศึกษาคความพึงพอใจเฉพาะส่วนประสานการใช้งานครึ่งหน้ากับผู้ใช้เว็บ ในภาพรวมของเว็บที่พัฒนาขึ้น และการใช้ชุดคำสั่งย่อย เพื่อต้องการทราบว่าส่วนใดของเว็บที่ต้องทำการปรับปรุงแก้ไขในอนาคต ในขั้นตอนการทดลองเข้าใช้งานเว็บของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้มีการจัดเตรียมสถานที่โดยใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และเตรียมระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายแก่กลุ่มตัวอย่าง มีการชี้แจงเพื่อทำความเข้าใจแก่กลุ่มตัวอย่างถึงจุดประสงค์ของการทดลอง แต่ไม่ได้ชี้แจงวิธีการใช้คำสั่งต่าง ๆ ของเว็บให้กลุ่มตัวอย่างทราบ เพื่อต้องการศึกษาว่าผู้ใช้งานจะสามารถใช้งานเว็บช่วยสอนด้วยตนเองได้หรือไม่ สำหรับเครื่องมือในการ

วัดผลได้ใช้แบบสอบถามแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยให้ค่า 5 คือ พอใจมาก 4 คือ พอใจ 3 คือ ปานกลาง 2 คือ ไม่พอใจ และ 1 คือ ไม่พอใจที่สุด สำหรับเกณฑ์การแปลความหมายเป็นดัง Table 2

Table 2 Satisfied criteria

Level	Meaning
4.51 - 5.00	Very satisfied
3.51 - 4.50	Satisfied
2.51 - 3.50	Mere
1.51 - 2.50	Displeased
1.00 - 1.50	Very dissatisfied

จากการทดสอบการใช้งานเว็บช่วยสอนกับกลุ่มตัวอย่างพบว่า ทั้งกลุ่มนิสิต และอาจารย์สามารถใช้งานคำสั่งได้ครบทั้งหมดโดยใช้ระยะเวลาในการใช้งานไม่เกิน 1 ชั่วโมง หลังจากได้ทดลองใช้งานแล้ว ได้ให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามความพึงพอใจ โดยหัวข้อในการวัดความพึงพอใจ ผลการวัด และการแปลผลสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนิสิต อยู่ใน Table 3 สำหรับหัวข้อในการวัดความพึงพอใจ ผลการวัด และการแปลผลสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์อยู่ใน Table 4 มีข้อเสนอแนะจากกลุ่มนิสิตเกี่ยวกับประเด็นการใช้สี การเน้นสีของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าสู่ระบบให้มีความโดดเด่นจากรายการอื่น และขนาดตัวอักษรชื่อรายวิชาที่มีขนาดใหญ่เกินไปทำให้เปลืองเนื้อที่การแสดงผล ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์ได้มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับ การแสดงผลเมนูที่ไม่โดดเด่น และมีขนาดเล็กเกินไปขนาดของไฟล์เอกสารในการส่งน้อยเกินไป การใช้สีในการแสดงรายชื่อวิชาที่มีความหลากหลายเกินไปขาดความเป็นทางการ ขาดความน่าสนใจ ขนาดการแสดงผลไม่เต็มหน้าจอภาพ และไม่เข้าใจคำสั่งการทำงานบางอย่างของเว็บช่วยสอน เป็นต้น

Table 3 Student's Satisfaction Evaluation

Title	\bar{x}	SD	Meaning
Meaning of icon design	3.90	0.49	Satisfied
Layout	3.83	0.76	Satisfied
Font Size	3.72	1.07	Satisfied
Color	4.03	0.91	Satisfied
Icon Position and Space	3.72	0.7	Satisfied
Icon Size	3.76	0.99	Satisfied
Button Size	3.93	0.96	Satisfied

Table 3 Student's Satisfaction Evaluation (continue)

System perception	3.97	0.82	Satisfied
Flexibility	3.93	0.84	Satisfied
Error Protection	3.76	0.74	Satisfied
Help Desk	3.93	0.84	Satisfied
Integral	4.03	0.94	Satisfied
Fleetness	4.21	0.77	Satisfied
Registration	4.21	0.82	Satisfied
Login	4.21	0.73	Satisfied
Display List of Subject	3.83	1.07	Satisfied
Display Student	3.97	1.05	Satisfied
Display Assignment	3.76	0.95	Satisfied
Submit Assignment	4.07	0.88	Satisfied
Display Subject Document	4.38	0.78	Satisfied
Display Lesson	4.31	0.85	Satisfied
Exercise creating	4.03	0.82	Satisfied
Book display	3.97	0.82	Satisfied
Link display	3.45	0.83	mere
Send message	3.52	1.09	Satisfied
Web board	3.55	1.09	Satisfied
Average	3.92	0.87	Satisfied

Table 4 Teacher's Satisfaction Evaluation

Title	\bar{x}	SD	Meaning
Meaning of icon	3.65	0.80	Satisfied
Layout	3.42	0.70	mere
Font Size	3.42	0.70	mere
Color	3.42	0.95	mere
Icon Position/Space	3.27	0.67	mere
Icon Size	3.31	0.79	mere
Button Size	3.62	0.70	Satisfied
System perception	3.5	0.76	mere
Flexibility	3.42	0.70	mere
Error Protection	3.31	0.84	mere
Help Desk	3.38	0.75	mere
Integral	3.54	0.65	Satisfied
Fleetness	4.12	0.65	Satisfied
Registration	4.19	0.63	Satisfied

Table 4 Teacher's Satisfaction Evaluation (continue)

Login	4.35	0.63	Satisfied
Create Subject	3.88	0.77	Satisfied
Edit Subject detail	3.85	0.61	Satisfied
Enroll student	3.85	0.83	Satisfied
Display student	3.92	0.63	Satisfied
Add assignment	3.85	0.78	Satisfied
Display assignment	3.81	0.80	Satisfied
Add Document	3.62	0.98	Satisfied
Display Document	3.69	0.93	Satisfied
Add Lesson	3.69	0.79	Satisfied
Display Lesson	3.77	0.59	Satisfied
Add Exercise	3.88	0.77	Satisfied
Display Exercise	4	0.63	Satisfied
Average	3.69	0.74	Satisfied

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการปรับปรุงเว็บช่วยสอน จากเดิมที่เป็นเดสก์ท็อปไซต์ ให้เป็นแบบโมบายไซต์ ทำให้ได้เว็บช่วยสอนที่สามารถใช้งาน ได้กับสมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์ ไอโอเอส และ วินโดวส์โฟน โดยระบบดังกล่าวยังคงความสามารถในการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคล เมื่อทำการวัดความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนิสิตมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อการ ใช้เว็บช่วยสอนในระดับ พอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.92 มี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.87 รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ การ แสดงรายการเอกสารการสอน มีค่าเฉลี่ยที่ 4.38 ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน 0.78 รองลงมาคือ การแสดงบทเรียน มีค่าเฉลี่ยที่ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.85 รายการที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ การแสดงรายการเว็บไซต์อื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยที่ 3.45 ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.83 ค่าเฉลี่ยทุกรายการ อยู่ในช่วง กลางๆ และ พอใจ ไม่มีรายการใดที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ อยู่ในช่วง ไม่พอใจ ไม่พอใจมาก และพอใจมาก สำหรับกลุ่ม ตัวอย่างที่เป็นอาจารย์ พบว่ามีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อการ ใช้เว็บช่วยสอนในระดับ พอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.69 มีส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.74 รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ การเข้า สู่ระบบ มีค่าเฉลี่ยที่ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.63 รอง ลงมาคือ การสมัครสมาชิก มีค่าเฉลี่ยที่ 4.19 ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน 0.63 รายการที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ การวางตำแหน่ง ในการโต้ตอบและขนาดพื้นที่สำหรับการเลือก มีค่าเฉลี่ยที่ 3.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67 ค่าเฉลี่ยทุกรายการ อยู่ใน ช่วง กลางๆ ถึง พอใจ ไม่มีรายการใดที่มีค่าเฉลี่ยความพึง

พอใจอยู่ในช่วง ไม่พอใจ ไม่พอใจมาก และพอใจมาก เมื่อ พิจารณาค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบช่วย สอนที่พัฒนาขึ้น พอสรุปได้ว่า ผู้ใช้งานทั้งกลุ่มของนิสิต และ กลุ่มของอาจารย์ มีความพึงพอใจในรูปแบบการแสดงผลของ เว็บช่วยสอนผ่านสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างไม่สูงในระดับพอใจมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุจากหลายประการ เช่น การใช้สี และขนาดตัว อักษรที่ยังไม่เหมาะสม การจัดตำแหน่งหน้าจอไม่เป็นที่พอใจ ของผู้ใช้งานมากนัก ความซับซ้อนของการใช้คำสั่ง ซึ่งผู้ใช้งาน ต้องการความช่วยเหลือในการใช้คำสั่งและขั้นตอนในการ ใช้ งาน รวมทั้งข้อจำกัดในการรองรับไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองใช้งานระบบช่วยสอนกับกลุ่มตัวอย่าง ทำให้พบปัญหา และความต้องการของผู้ใช้เพิ่มเติม ในประเด็น ของการแสดงผลที่ยังไม่สมบูรณ์ของระบบ เช่น การแสดง ข้อมูลเกินความกว้างของหน้าจอสมาร์ทโฟน การแก้ไขทำได้ โดยการปรับวิธีการแสดงผลเป็นแบบหลายแถว หรือตัดข้อมูล ที่ไม่จำเป็นออก แสดงไว้เพียงหัวข้อย่อยเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ ข้อมูลที่แสดงผลสั้นลง การปรับแก้ตำแหน่งการจัดวางหน้าเว็บ อาจต้องสอบถามความคิดเห็นจากกลุ่มผู้ใช้เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ รูปแบบที่เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มมากขึ้น ในส่วนการแสดงผล ข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ ต้องปรับให้มีขนาด และสีที่แตกต่างจาก รายการของบุคคลอื่นที่มีการแสดงร่วมกัน เช่น คะแนน เกรด เป็นต้น สำหรับปัญหาความสับสนของผู้ใช้งานในการใช้คำสั่ง ที่มีความซับซ้อนสามารถแก้ไขโดยการจัดทำเอกสารแนะนำ การใช้งาน หรือสร้างเป็นวีดิทัศน์แก่ผู้ใช้ โดยสร้างเป็นจุดเชื่อมโยงจากหน้าคำสั่งนั้นไปยังเอกสารคำแนะนำ ปัญหาที่สำคัญ อีกประเด็นหนึ่ง คือ ข้อจำกัดในการส่งไฟล์ของระบบ ซึ่งหาก กำหนดขนาดเกิน 20 เมกะไบต์จะทำให้การส่งล้มเหลวเพราะ เครื่องแม่ข่ายจะตัดการติดต่อกับลูกข่ายซึ่งเป็นปัญหาเชิง เทคนิค ในเบื้องต้นอาจแก้ไขโดยการให้ผู้ใช้งานระบบใช้การ เก็บข้อมูลแบบคราวน์ โดยใช้บริการของ Google drive หรือ Dropbox หรือ Microsoft One drive ซึ่งเป็นระบบจัดเก็บ ข้อมูลแบบออนไลน์ที่สามารถรองรับไฟล์ขนาดใหญ่กับข้อมูล แทน แล้วทำการส่งที่อยู่ของไฟล์ข้อมูลมายังเว็บช่วยสอน ซึ่ง จะช่วยให้เว็บช่วยสอนทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น ส่วนปัญหา อย่างอื่น เช่นรูปแบบการแสดงผลของเว็บช่วยสอนไม่มีความ สมบูรณ์แบบเหมือนระบบที่เป็นแอปพลิเคชันที่ใช้งานกับสมาร์ต โฟนโดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบของหน้าจอ เช่น แถบที่อยู่ และแถบเลื่อนของเว็บเบราว์เซอร์ เป็นผลทำให้ไม่สามารถ ใช้พื้นที่ของหน้าจอได้ทั้งหมด จึงควรวางวิธีในการซ่อนแถบที่

อยู่และแถบเลื่อนของเว็บเบราว์เซอร์ จะสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช้งาน และทำให้จอภาพมีพื้นที่ในการแสดงผลเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้เล็งเห็นประโยชน์ของงานวิจัย และเป็นผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ประภัสรา โคตะขุน. เว็บช่วยสอน (Web - Based Instruction : WBI). สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/prapasara/a1>. 16 สิงหาคม 2559.
2. SiamHTML. Responsive.online: Web Design.สืบค้นจาก<http://www.siamhtml.com/responsive-web-design>. 16 สิงหาคม 2559.
3. Enjoyday.net .CSS คืออะไร. สืบค้นจากhttp://www.enjoyday.net/webtutorial/css/css_chapter01.html. 16 สิงหาคม 2559.
4. Deanna Klein and AleksandarGubic.Deanna Klein. Responsive website design for higher education utilizing mobile centric features". Online Journal of Applied Knowledge Management A Publication of the International Institute for Applied Knowledge Management. Volume 2, Issue 1, 2014.
5. NatašaSubić, Tanja Krunić ,BiljanaGemović. Responsive web design – Are we ready for the new age?. Online Journal of Applied Knowledge Management A Publication of the International Institute for Applied Knowledge Management. Volume 2, Issue 1, 2014.
6. C. Curry, G. Stinton, J.Sullivan. What's the Context? Responsive Web Design in Real Estate.The Center for REALTOR® Technology. February 2014.
7. Houcine Hassan, Juan-Miguel Martínez-Rubio, Angel Perles, Juan-Vicente Capella, Carlos Domínguez, and José Albaladejo. Smartphone-Based Industrial Informatics Projects and Laboratories. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS. Volume 9, NO. 1, February 2013.
8. พิทย์พิมล ชูรอด. การพัฒนาเว็บไซต์สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับการรองรับหน้าจอหลายขนาด. PULINET Journal Vol. 1, No. 3, September-December 2014 : 102-106.

9. สุชาภา โชติวีระวุฒิกุล. ระบบสารสนเทศเพื่อการลงทะเบียนฝึกอบรม.PULINET Journal Vol. 4, No. 3, September-December 2017 : 273-282
10. สิทธิพงษ์ ฉิมไทย. ระบบสารสนเทศสำหรับอาจารย์ โดยใช้พิมพ์เขียวการบริการ. The Eleventh National Conference on Computing and Information Technology . 2015.
11. หฤทัย อาษากิจ. การพัฒนาโปรแกรมบนอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อแนะนำ เส้นทางออกนิเทศงานสหกิจศึกษาและการประเมินผลการฝึกสหกิจศึกษา. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ. ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2558.
12. ภาณุวัฒน์ วรพิทย์เบญจา. การพัฒนาแอปพลิเคชันการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนเสมือนจริงบนอุปกรณ์เคลื่อนที่. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2558 – ธันวาคม 2558.
13. สุพจน์ บัวเลิง. การพัฒนาระบบสารสนเทศฝึกประสบการณ์วิชาชีพนักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและการบัญชีมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 1. นวัตกรรมสร้างสรรค์ศาสตร์พระราชาสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ไทยแลนด์ 4.0 ; 2017 : 372 - 381.

ไอเอ็มอาร์พีแอล : โพรโตคอลอาร์พีแอลแบบปรับปรุงสำหรับโหนดเคลื่อนที่บนเครือข่ายซิกโลแพน

ImRPL: Improved RPL protocol for Mobility Node on 6LoWPAN

ภาคย์ สธนเสาวภาคย์¹, ชัชชัย คุณบัว²

Pak Satanaasawapak¹, Chatchai Khunboa²

Received: 7 July 2017 ; Accepted: 28 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงโพรโตคอลอาร์พีแอลให้สามารถสนับสนุนการทำงานในกรณีที่มีโหนดเคลื่อนที่บนเครือข่ายซิกโลแพน โดยผู้วิจัยเรียกโพรโตคอลที่ถูกปรับปรุงว่าโพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอล วิธีการที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้คือ การปรับปรุงกระบวนการเลือกโหนดแม่และการปรับปรุงกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโพรโตคอลอาร์พีแอลกับโพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลโดยใช้โปรแกรม Cooja Simulator ผลการทดลองพบว่า ในสถานการณ์แรก ที่ความเร็วของโหนด 1 เมตรต่อวินาที โพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลมีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จสูงถึง 88.92 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โพรโตคอลอาร์พีแอลมีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ 68.54 เปอร์เซ็นต์ ในสถานการณ์ที่สองโพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง โพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและโพรโตคอลอาร์พีแอลมีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จสูงเท่ากับ 70.89 เปอร์เซ็นต์, 58.84 เปอร์เซ็นต์ และ 38.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นโพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองสามารถเลือกโหนดแม่ได้ถูกต้องคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โพรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและโพรโตคอลอาร์พีแอลมีเปอร์เซ็นต์ในการเลือกโหนดแม่ที่ต้องถูกเท่ากับ 77.5 เปอร์เซ็นต์และ 47.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครือข่ายที่มีโหนดเคลื่อนที่ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เครือข่ายซิกโลแพน โพรโตคอลค้นหาเส้นทาง

Abstract

This research aimed to improve RPL protocol for support mobility node on 6LoWPAN. We propose an improved protocol called imRPL protocol that enhances the parent selection phase and the mobile detection phase. This research compared performance between RPL protocol and imRPL protocol using Cooja simulator. The results showed that in the first scenario where the speed of node is 1 m/s, the imRPL protocol had a packet delivery ratio at 88.92%, whereas with the RPL protocol it was 68.54%. In the second scenario, imRPLv2, imRPLv1 and RPL protocol had packet delivery ratios of 70.89%, 58.84%, and 38.98% respectively. Moreover, the imRPLv2 protocol can choose a correct new parent at 100% while imRPLv1 and RPL protocol have the correct ratio of 77.5% and 47.5% respectively.

Keywords: Mobility Network, Wireless Sensor Network, Internet of Things, 6LoWPAN, Routing Protocol

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ²อาจารย์, สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

¹ Doctoral degree student ²Lecturer, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Mittraphap Road, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen, 40002, Thailand.

บทนำ

ซิกโลแพน (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks : 6LoWPAN)¹ คือเครือข่ายส่วนบุคคลที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลไร้สายแบบประหยัดพลังงาน มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ทำงานอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งจะทำให้โหนดที่อยู่ในเครือข่ายสามารถสื่อสารกันผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ สำหรับการใช้งานของเซ็นเซอร์ไร้สายนั้นโดยทั่วไปจะเป็นการตรวจวัดค่าจากสภาพแวดล้อมหรือสิ่งที่สนใจโดยเซ็นเซอร์โหนดที่ใช้ในการตรวจวัดจะไม่เคลื่อนที่ การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายกับโหนดที่เคลื่อนที่จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากจะทำให้เกิดแอปพลิเคชันที่เป็นประโยชน์และตอบโจทย์เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้ดี ยกตัวอย่างเช่น การเก็บข้อมูลผู้ป่วยที่เคลื่อนที่ในโรงพยาบาล การเก็บข้อมูลการจราจรจากยานพาหนะ การสื่อสารระหว่างรถกับสัญญาณไฟจราจรหรือรถต่อรถ การใช้หุ่นยนต์หรือเครื่องบินขนาดเล็กเพื่อสำรวจในพื้นที่ที่ยากจะเข้าถึง เป็นต้น แต่เนื่องจากการส่งข้อมูลขณะที่มีโหนดเคลื่อนที่จะมีปัญหาในเรื่องของการสร้างเส้นทางใหม่หรือปรับปรุงเส้นทางใหม่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การสื่อสารขาดความต่อเนื่องและมีข้อมูลสูญหายมากขึ้น ดังนั้นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องปรับปรุงที่โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของมาตรฐานนี้

โปรโตคอลอาร์พีแอล (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks : RPL)² เป็นโปรโตคอลค้นหาเส้นทางที่อยู่บนเครือข่าย ซิกโลแพนซึ่งโปรโตคอลอาร์พีแอลสร้างเครือข่ายโดยใช้ Direction-Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG) และถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการทำงานสำหรับโหนดที่ไม่เคลื่อนที่ ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าโปรโตคอลอาร์พีแอลสามารถปรับปรุงให้สามารถรองรับการทำงานแบบโหนดที่เคลื่อนที่ได้ การปรับปรุงโปรโตคอลนั้นจะมีสองส่วนที่สำคัญ คือกระบวนการเลือกโหนดแม่ (Parent Selection) และกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ (Mobile Detection) ซึ่งปัญหาหลักของการสร้างเส้นทางสำหรับโหนดที่เคลื่อนที่คือการตัดสินใจว่าจะเชื่อมต่อหรือเลือกโหนดใดเป็นโหนดแม่ในส่วนของการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่จะเป็นการเริ่มต้นร้องขอเส้นทางใหม่เมื่อโหนดกำลังเคลื่อนที่ออกจากกระแสนำส่งข้อมูล นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงโปรโตคอลให้รองรับการเคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น Trickle Algorithm³ และกำหนดช่วงเวลาการส่งข้อความดีไอเอสเป็นคาบเวลา เป็นต้น

สำหรับปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ที่มีโหนดเคลื่อนที่คือ โหนดเคลื่อนที่ไม่สามารถติดต่อกับโหนดแม่เดิมได้เมื่อออกจากกระแสนำส่งข้อมูลและไม่สามารถเลือกโหนดแม่ตัวใหม่ได้อย่างถูกต้อง สำหรับโปรโตคอลอาร์พีแอลจะมีการ

กำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อความควบคุม (Control Message) เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาปรับปรุงเส้นทางและเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุด โจทย์วิจัยที่น่าสนใจของปัญหานี้คือ โหนดเคลื่อนที่จะรู้ได้อย่างไรว่ากำลังจะเคลื่อนที่ออกจากกระแสนำส่งข้อมูลจากโหนดแม่ตัวนั้นและจะเลือกโหนดแม่ได้รวดเร็วและถูกต้องได้อย่างไร

ปัจจุบันมีโปรแกรมจำลองที่รองรับการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายอยู่จำนวนมาก⁴ จากการศึกษาและสังเกตการทำงานของโหนดเคลื่อนที่ในโปรแกรมจำลอง ผู้วิจัยพบว่าตารางเก็บที่อยู่ของโหนดข้างเคียง (Neighbor Table) ของโหนดที่เคลื่อนที่จะมีข้อมูลโหนดข้างเคียงเดิมในแคช (Neighbor Cache)⁵ เพิ่มขึ้นในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านโหนดข้างเคียง ซึ่งบางครั้งในขณะที่กำลังจะเลือกโหนดแม่ที่โหนดเคลื่อนที่จะนำค่าลำดับชั้น (Rank) ของโหนดข้างเคียงที่เคยผ่านมาแล้ว (โหนดข้างเคียงที่อยู่ก่อนกระแสนำส่งข้อมูล) มาคำนวณด้วยซึ่งอาจจะเกิดกรณีที่แย่ที่สุดคือ ค่าลำดับชั้นของโหนดข้างเคียงดังกล่าวมีค่าที่ดีกว่าโหนดข้างเคียงที่อยู่ในระยะ ทำให้โหนดเคลื่อนที่เลือกโหนดข้างเคียงที่ไม่ได้อยู่ในระยะเป็นโหนดแม่ สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหานี้ผู้วิจัยจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ กระบวนการเลือกโหนดแม่และกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของโหนดในซิกโลแพน

การปรับปรุงโปรโตคอลอาร์พีแอลให้สนับสนุนการทำงานในกรณีที่มีโหนดเคลื่อนที่นั้นมีส่วนประกอบที่นิยมคือ กระบวนการเลือกโหนดแม่และกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่

สำหรับกระบวนการเลือกโหนดแม่ นั้น ความรวดเร็วและความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับพิจารณาข้อมูลของข้อความดีไอเอส (DIO Message) ที่ได้รับจากโหนดข้างเคียง ซึ่งตามมาตรฐานของโปรโตคอลอาร์พีแอลนั้นการเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับ Objective Function (OF) ซึ่งถ้าใช้ Objective Function Zero (OF0)⁶ แล้วโหนดข้างเคียงที่มีค่าลำดับชั้น Rank with Hysteresis Objective Function (MRHOF)⁷ จะพิจารณาโหนดแม่จากจำนวนการส่งข้อมูลที่คาดหวัง (Expected Transmission Count : ETX) ที่ดีที่สุด ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้เสนอวิธีการปรับปรุงกระบวนการนี้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้ค่าลำดับชั้นและค่าคุณภาพการเชื่อมต่อ (Link Quality Indication : LQI) จากข้อความดีไอเอสของโหนดข้างเคียงในการพิจารณาเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุด⁸, การใช้จำนวนการส่งข้อมูลที่คาดหวังในการพิจารณาโหนดแม่ตัวใหม่ กำหนดเวลาในการส่งข้อความดีไอเอสและดีไอเอสขึ้นมาใหม่หลัง

จากที่เลือกโหนดแม่ได้แล้ว⁹, การใช้ค่าลำดับชั้นระหว่างโหนดซึ่งจะให้ความสำคัญของโหนดที่อยู่หนึ่งกำหนดให้เป็นโหนดแม่เสมอแต่ถ้าไม่มีโหนดที่อยู่หนึ่งหรือมีโหนดที่อยู่หนึ่งทั้งคู่จะทำการเลือกโหนดแม่จากค่าลำดับชั้นที่มีค่าต่ำสุด¹⁰, การสร้างตัวเปรียบเทียบใหม่คือค่าโครนา (Corona) ซึ่งกำหนดให้แต่ละโหนดสามารถอยู่ได้เพียงหนึ่งโครนาเท่านั้น โหนดรากเป็นเพียงโหนดเดียวที่มีค่า C_ID เป็น 0 ได้ และโหนดเคลื่อนที่จะตรวจสอบค่า C_ID ในตารางเก็บที่อยู่เพื่อเลือกโหนดข้างเคียงที่มีค่า C_ID น้อยที่สุดเป็นโหนดแม่และจะเพิ่มค่า C_ID ของตัวเองเพิ่มอีกหนึ่งลำดับ¹¹, การกำหนดโปรโตคอลอาร์พีแอลให้เป็นโหนดไม่เก็บข้อมูล (Non-storing mode) และใช้จำนวนการส่งข้อมูลที่คาดหวังในการเลือกโหนดแม่¹², การกำหนดให้โหนดเคลื่อนที่ทำการเลือกโหนดแม่อีกครั้งโดยดูจากค่าความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่น้อยเกินกว่าที่กำหนด¹³ และสุดท้ายเป็นการใช้ตัวประมาณค่าฟัชซี (Fuzzy Estimator) เพื่อคำนวณคุณภาพการเชื่อมต่อโดยประมวลผลจากจำนวนการส่งข้อมูลที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณและความเปลี่ยนแปลงของอัตราความผิดพลาดในการตัดสินใจสัญลักษณ์ (Symbol Error Rate : SER) ของการเชื่อมต่อ จากนั้นจะนำค่าที่ได้จากตัวประมาณค่าฟัชซีมาพิจารณาคุณภาพการเชื่อมต่อในขณะนั้น¹⁴

ในกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่นั้น จะเป็นการกระบวนการที่ระบุว่าโหนดใดเคลื่อนที่อยู่ หากตรวจพบการเคลื่อนที่ที่จะเริ่มกระบวนการเลือกโหนดแม่ สำหรับตัวแปรที่นิยมใช้ในการตัดสินใจ คือ ค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ซึ่งถ้าเกินกว่าค่าที่กำหนดจะถือว่าโหนดนั้นกำลังเคลื่อนที่ออกจากโหนดแม่ ปัจจุบัน นอกจากนี้นักวิจัยจำนวนมากได้เสนอวิธีการอื่นเพื่อปรับปรุงกระบวนการนี้ เช่น การกำหนดให้มีโหนดพี่น้อง (Sibling Node) เพื่อรับข้อมูลแทนโหนดแม่ที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึง⁸, การกำหนดให้โหนดที่เคลื่อนที่ไม่สามารถเลือกโหนดที่เคยเป็นโหนดลูกเป็นโหนดแม่ได้ เพื่อป้องกันการเกิดวนซ้ำบนเส้นทาง ซึ่งใช้วิธีการตรวจสอบค่าไอดีของโหนดแม่ (Parent ID) ในข้อความดีไอโอว่ามีค่าตรงกับไอดีของโหนดมันหรือไม่⁹, การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการส่งข้อความดีไอเอสจากความถี่ในการเลือกโหนดแม่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงบ่อยในช่วงเวลาที่กำหนดจะทำให้อัตราการส่งข้อความดีไอเอสจะลดลง ในทางกลับกันถ้าใช้โหนดแม่ตัวเดิมบ่อยจะทำให้อัตราการส่งข้อความดีไอเอสเพิ่มมากขึ้น¹⁰, การกำหนดให้เราเตอร์เคลื่อนที่ (Mobile Router) ทำการกระจายข้อความดีไอเอสไปยังโหนดข้างเคียงจนกว่าจะได้รับค่าข้อความดีไอโอหรือจนกระทั่งหมดเวลาในการส่งข้อความดีไอเอส¹¹, การกำหนดให้

โหนดรับรู้ว่ามีโหนดเคลื่อนที่จากการติดป้ายการเคลื่อนที่ (Mobility Flag) ในข้อความดีไอโอ (DAO Message) ที่ได้รับ ซึ่งจะเปลี่ยนเวลาในการส่งข้อความดีไอโอให้ใช้ Trickle Algorithm แบบย้อนกลับเพื่อให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีการเคลื่อนที่ สำหรับโหนดที่ไม่ใช่โหนดเคลื่อนที่จะใช้ Trickle Algorithm ตามมาตรฐานของโปรโตคอลอาร์พีแอล¹², การกำหนดให้โหนดเคลื่อนที่ส่งข้อความดีไอเอสตามช่วงเวลาที่กำหนดไปยังโหนดข้างเคียงซึ่งโหนดข้างเคียงจะอ่านค่าความแรงของสัญญาณและนับจำนวนของแพ็คเก็ตดีไอเอสเพื่อใช้ในการคำนวณเวลาตอบกลับและจะส่งข้อความดีไอโอพร้อมกับค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณไปยังโหนดเคลื่อนที่¹³, การกำหนดให้เมื่อตรวจสอบพบเส้นทางเสียหายและมีความต้องการที่จะซ่อมแซมเส้นทางแล้ว จะส่งข้อความออกไปยังโหนดข้างเคียงและเมื่อโหนดข้างเคียงได้รับข้อความนี้ส่งข้อความที่ประกอบไปด้วยจำนวนการส่งข้อมูลที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ และความเปลี่ยนแปลงของอัตราความผิดพลาดในการตัดสินใจสัญลักษณ์ไปยังโหนดเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการพิจารณาการเลือกโหนดแม่¹⁴

วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อพัฒนาโปรโตคอลให้สามารถรับรู้ถึงการเคลื่อนที่ของโหนด
- (2) เพื่อพัฒนาโปรโตคอลให้สามารถเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น
- (3) เพื่อเพิ่มอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลในขณะที่โหนดมีการเคลื่อนที่โดยเปรียบเทียบกับโปรโตคอลอาร์พีแอล

วิธีดำเนินการวิจัย

การปรับปรุงโปรโตคอล

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงโปรโตคอลอาร์พีแอลและได้เรียกโปรโตคอลที่ถูกปรับปรุงใหม่ว่าโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอล (Improve mobility for RPL: imRPL) โดยในสถานการณ์ที่ทดลองจะมีโหนด 3 ประเภท คือ โหนดราก (Root Node), โหนดเราเตอร์ (Router Node) และโหนดเคลื่อนที่ (Mobile Node) ซึ่งโหนดรากนั้นทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลตอบรับ (Acknowledgement: ACK) กลับไปยังต้นทาง โหนดเราเตอร์ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางและส่งต่อข้อมูลจากโหนดเคลื่อนที่ไปยังโหนดรากและสุดท้ายโหนดเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังโหนดราก

โปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลจะมีกระบวนการเลือกโหนดแม่และกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ สำหรับรายละเอียดของแต่ละกระบวนการผู้วิจัยได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

กระบวนการเลือกโหนดแม่

การเลือกโหนดแม่ของโปรโตคอลอาร์พีแอลนั้นจะพิจารณาจากค่าลำดับชั้น (Rank) จากข้อความดีไอโอที่ได้รับ จากนั้นจะเปรียบเทียบกับค่าลำดับชั้นของโหนดข้างเคียงที่มีในแคชของตารางเก็บที่อยู่ของโหนดข้างเคียงเพื่อพิจารณาว่าจะใช้โหนดแม่ตัวเดิมหรือเปลี่ยนโหนดแม่ตัวใหม่ โดยจะเลือกโหนดข้างเคียงที่มีค่าลำดับชั้นที่ดีที่สุดเป็นโหนดแม่ เมื่อได้โหนดแม่แล้วโหนดจะเปลี่ยนเส้นทางจากโหนดแม่เดิมไปยังโหนดแม่ตัวใหม่ จากวิธีการดังกล่าวเมื่อโหนดได้เคลื่อนที่ไปในเครือข่ายในระยะหนึ่งแล้วผู้วิจัยพบว่า รายการโหนดข้างเคียงที่อยู่ในแคชของโหนดเคลื่อนที่นั้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโหนด

ข้างเคียงบางโหนดอาจจะไม่อยู่ในระยะการส่งข้อมูลอีกแล้ว ยิ่งไปกว่านั้นในบางกรณีค่าลำดับชั้นของโหนดข้างเคียงที่ไม่ได้อยู่ในระยะการส่งข้อมูลนั้นมีค่าลำดับชั้นที่ดีกว่าโหนดข้างเคียงที่สามารถติดต่อได้ จะส่งผลให้โหนดเคลื่อนที่เลือกโหนดข้างเคียงดังกล่าวเป็นโหนดแม่และส่งผลให้เกิดการสูญเสียข้อมูลจำนวนมาก จาก (Figure 1) แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลในแคชของโหนดเคลื่อนที่ระหว่างโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลและอาร์พีแอลในระหว่างที่โหนดมีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเห็นว่าอาร์พีแอลจะบันทึกข้อมูลโหนดข้างเคียงของโหนดเดิมที่เคยผ่านไว้

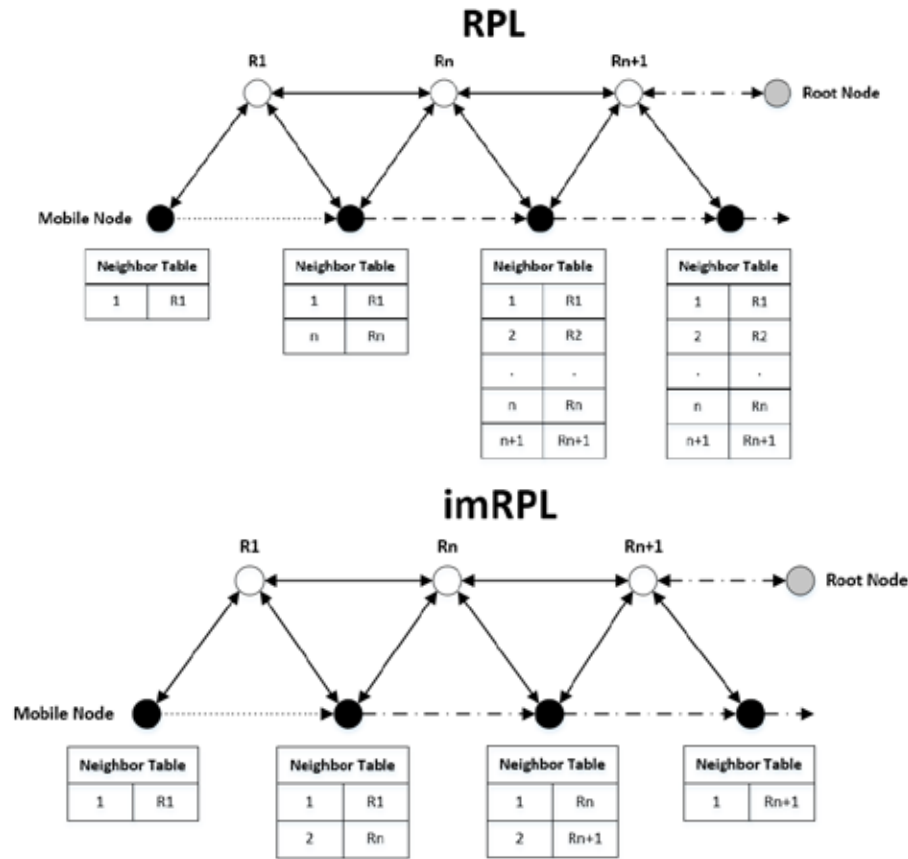


Figure 1 Neighbor table of RPL and imRPL

ในตารางเก็บที่อยู่ของโหนดข้างเคียงซึ่งในส่วนนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณหาโหนดแม่ที่ดีที่สุดในช่วงที่มีการเคลื่อนที่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการนี้ โดยกำหนดให้โหนดเคลื่อนที่ทำการขจัดแคชทุกครั้งเมื่อเริ่มกระบวนการเลือกโหนดแม่ เพื่อป้องกันการคำนวณที่ผิดพลาดและลดการใช้หน่วยความจำ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบข้อความดีไอโอที่ได้รับว่ามีค่าความแรงของสัญญาณ (RS-

SI_{DIO}) น้อยกว่าค่าความแรงของสัญญาณที่กำหนดไว้ ($RS-SI_{Threshold}$) หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้จะทำการทิ้งข้อความดีไอโออันนั้นและไม่นำมาพิจารณา ผู้วิจัยได้กำหนดให้ค่า $RS-SI_{Threshold}$ เท่ากับ -85 dBm ซึ่งเป็นค่าจากการทดลองแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในส่วนนี้จะมีการนับจำนวนการทิ้งข้อความดีไอโอซึ่งถ้ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้จะยอมให้ใช้ข้อความดีไอโอที่มีค่าความแรงของสัญญาณต่ำได้ หลังจากนั้นจะนำข้อความดีไอโอที่ได้รับจากโหนดข้างเคียงมาพิจารณาโหนดแม่ที่ดีที่สุด

ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงเวลา timer_{DIS Threshold} เพื่อกำหนดช่วงเวลาในการรอข้อความดีไอโอหลังจากที่ส่งข้อความดีไอเอสออกไป ผู้วิจัยได้กำหนดค่า timer_{DIS Threshold} เท่ากับ 5 วินาที โดยได้มาจากการทดลองวัดเวลาเฉลี่ยตั้งแต่ส่งข้อความดีไอเอสจนกระทั่งได้รับข้อความดีไอโอ ซึ่งได้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 3.3446 วินาทีและเวลาที่มากที่สุดเท่ากับ 4.235 วินาที

Algorithm 1. Parent Selection

```

Begin
  Remove Neighbor Cache;
  Broadcast DIS Message;
  timerDIS = 0;
  While timerDIS < timerDIS threshold
    If RSSIDIO >= RSSIThreshold or DropDIO > 2
      Calculate Best Parent;
      DropDIO = 0;
    Else If RSSIDIO < RSSIThreshold
      Drop DIO Message;
      DropDIO++;
      Parent Selection;
    End
  End
End
    
```

Figure 2 Algorithm 1: Parent Selection

สำหรับกระบวนการดังกล่าวที่แสดงใน (Figure 2) ผู้วิจัยได้ปรับปรุงโปรโตคอลเป็นสองเวอร์ชัน คือ ไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่ง (imRPLv1) ที่เป็นโปรโตคอลที่ไม่มีการจัดแคชและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง (imRPLv2) ที่เป็นโปรโตคอลที่มีการจัดแคชในกระบวนการเลือกโหนดแม่เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการจัดแคชและไม่จัดแคช

กระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่

กระบวนการนี้จะกำหนดเวลาเพื่อรอรับค่าข้อมูลตอบกลับจากโหนดรากซึ่งถ้าหากไม่ได้ข้อมูลตอบกลับมาตามระยะเวลาที่กำหนด (Timer_{Threshold}) โหนดจะเข้าสู่กระบวนการเลือกโหนดแม่อีกครั้ง โดยจะคำนวณค่า Threshold จากสูตร

$$Threshold = 0.616h^2 - 1.4183h + 0.9292$$

ซึ่งได้มาจากการทดลองวัดค่าความล่าช้า (Delay) ที่สัมพันธ์กับฮอป (Hop) จำนวน 1 ถึง 5 ฮอปจะได้กราฟที่มีลักษณะคล้ายสมการพหุนามกำลังสองแล้วคำนวณเป็นสูตรตั้งสมการข้างต้น จากสูตรกำหนดให้ *h* คือ จำนวนฮอปของเส้นทางที่ใช้ในการสื่อสารปัจจุบัน การคำนวณค่าฮอปนั้นสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$h = \left(\frac{Rank}{256}\right) - 1$$

สำหรับค่าลำดับชั้นจะอยู่ในข้อความดีไอโอซึ่งสามารถถอดแพ็คเก็ตแล้วนำมาใช้ประโยชน์ได้และ Threshold คือค่าเวลาความล่าช้าของแพ็คเก็ตโดยมีความสัมพันธ์กับจำนวนฮอปซึ่งค่า Timer_{Threshold} ของแต่ละฮอปจะขึ้นอยู่กับค่า Threshold ที่คำนวณได้โดยพิเศษขึ้นเป็นจำนวนเต็มดัง Table 1

Table 1 Relation between hop and Timer_{Threshold}

Hop	Average Delay	Threshold	Timer _{Threshold}
1	0.2173	0.1269	1
2	0.478	0.5566	1
3	1.9109	2.2183	3
4	5.5995	5.112	6
5	9.0441	9.2377	10

เมื่อโหนดตรวจสอบค่าความแรงของสัญญาณของข้อความที่ตอบกลับ (RSSI_{ACK}) แล้วพบว่ามีความเกินกว่าค่าความแรงของสัญญาณที่กำหนด (RSSI_{Threshold}) หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าค่าที่กำหนดจะเริ่มกระบวนการเลือกโหนดแม่และรีเซ็ตเวลา Timer_{ACK} ใหม่ จากนั้นจะรอรับข้อความดีไอโอเพื่อนำมาคำนวณหาโหนดแม่ที่ดีที่สุดในการกระบวนการเลือกโหนดแม่ต่อไป กระบวนการดังกล่าวที่แสดงใน Figure 3

Algorithm 2. Mobile Detection

```

Begin
  If TimerACK < TimerThreshold then
    If RSSIACK < RSSIThreshold then
      Parent Selection;
      Reset TimerACK;
    Else
      Send Data;
    End
  Else
    Parent Selection;
    Reset TimerACK;
  End
End
    
```

Figure 3 Algorithm 2: Mobile Detection

เกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของโปรโตคอล คือ 1) ผลการวัดจำนวนข้อความควบคุม

2) ผลการวัดอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล 3) ผลการวัดความเร็วและความถูกต้องในกระบวนการเลือกโหนดแม่ สำหรับการประเมินประสิทธิภาพผู้วิจัยจะทดสอบบนโปรแกรมจำลองโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นกับโปรโตคอลอาร์พีแอล

วิธีการจำลองและสถานการณ์ในการจำลอง

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Cooja Simulator¹⁵ บนระบบปฏิบัติการ Contiki 3.0¹⁶ ในการทดสอบประสิทธิภาพและได้ใช้ปลั๊กอินการเคลื่อนที่¹⁷ ในการทำให้โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ การทดลองแบ่งออกเป็นสองสถานการณ์ โดยสถานการณ์ที่หนึ่ง กำหนดให้โหนดเราเตอร์และโหนดรากวางเรียงกันเป็นเส้นตรงและกำหนดให้โหนดเคลื่อนที่วนรอบโหนดดังกล่าวเป็นจำนวน 10 รอบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเพิ่มโหนดเราเตอร์ขึ้นทีละ 1 โหนดจนกระทั่งถึง 5 โหนดโดยที่โหนดเราเตอร์แต่ละตัวนั้นวางห่างกัน 40 เมตร (ระยะห่างที่มากที่สุดที่โหนดไม่สามารถสื่อสารกันได้คือ 50 เมตร) สำหรับตำแหน่งการวางโหนดในสถานการณ์ที่หนึ่งและสองดังแสดงใน Figure 4 และ Figure 5 ตามลำดับ

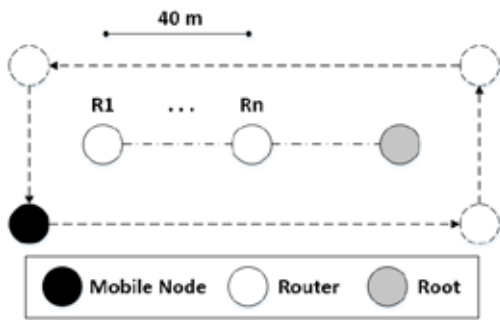


Figure 4 Scenario one

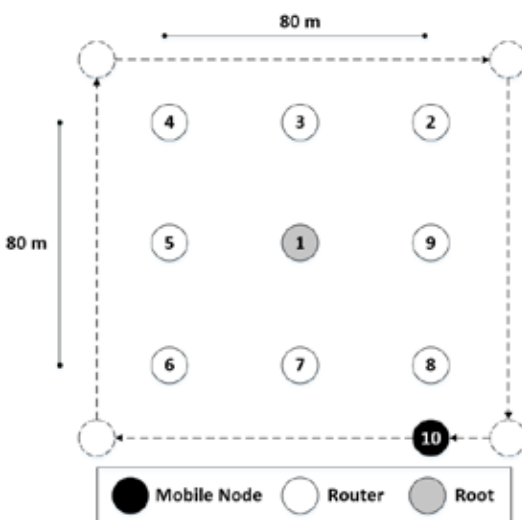


Figure 5 Scenario two

การกำหนดตัวแปรบนโปรแกรมจำลอง

ผู้วิจัยได้กำหนดให้ในสถานการณ์ที่หนึ่งและสถานการณ์ที่สองมีตัวแปรดัง Table 2 และ Table 3 ตามลำดับ โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอลอาร์พีแอลกับโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลซึ่งเป็นการวัดจำนวนของข้อความควบคุมและวัดอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล โหนดเคลื่อนที่จะเดินทางด้วยความเร็วคงที่ซึ่งกำหนดให้มีความเร็ว 1 เมตรต่อวินาทีถึง 5 เมตรต่อวินาที ในขณะที่เดินทางโหนดเคลื่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดรากด้วยอัตรา 1 แพ็คเก็ตต่อวินาทีสำหรับในสถานการณ์ที่สองผู้วิจัยได้ทำการวัดเวลาและความถูกต้องในการเลือกโหนดแม่ ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอลอาร์พีแอล ไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง

Table 2 Parameter of scenario one

Parameters	Detail
Network Simulator	Cooja Simulator (Contiki OS 3.0)
Protocol	RPL, imRPLv2
Performance Measure	Number of Control Message, Packet Delivery Ratio
Number of Node	1 Root Node, 1-5 Router Node, 1 Mobile Node
Number of Round	10 Laps
Emulated Nodes	Zolertia (Z1)
Packet Rate	1 Packet / Second
Speed of Mobile Node	1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5m/s

Table 3 Parameter of scenario two

Parameters	Detail
Network Simulator	Cooja Simulator (Contiki OS 3.0)
Protocol	RPL, imRPLv1, imRPLv2
Performance Measure	Number of Control Message, Packet Delivery Ratio, Parent Selection Time, Correct Parent Selection
Number of Node	1 Root Node, 8 Router Node, 1 Mobile Node
Number of Round	5 Laps
Emulated Nodes	Zolertia (Z1)
Packet Rate	1 Packet / Seconds
Speed of Mobile Node	1 m/s

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวัดจำนวนของข้อความควบคุม

DODAG จะใช้ข้อความควบคุมเพื่อสร้างและปรับปรุงเส้นทางของเครือข่าย ซึ่งถ้าหากเป็นสถานการณ์ที่มีโหนดเคลื่อนที่จะทำให้เกิดข้อความควบคุมเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสร้างและปรับปรุงเส้นทางใหม่อยู่เสมอ ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมการส่งข้อความควบคุมให้เหมาะสมจะทำให้จำนวนของข้อความควบคุมในเครือข่ายมีจำนวนน้อยลง ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบจำนวนข้อความควบคุมของข้อความดีไอเอส ดีไอโอและดีไอโอระหว่างโปรโตคอลอาร์พีแอลและไอเอ็มอาร์พีแอล ผลการทดลองเป็นดังนี้

จาก Figure 6 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนข้อความดีไอเอสของโปรโตคอลอาร์พีแอลและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง สำหรับสถานการณ์ที่หนึ่งผู้วิจัยพบว่าโปรโตคอลอาร์พีแอลมีจำนวนของข้อความดีไอเอสน้อยกว่าโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง เนื่องจากโปรโตคอลอาร์พีแอลใช้ Trickle Algorithm ในการควบคุมการส่งข้อความควบคุมซึ่งอัลกอริทึมนี้ไม่เหมาะกับสถานการณ์ที่มีโหนดเคลื่อนที่ เนื่องจากช่วงเวลาในการสร้างหรือปรับปรุงเส้นทางใหม่อาจจะไม่อยู่ในช่วงเวลาของ Trickle Algorithm ดังนั้นจึงมีโอกาสที่แพ็คเก็ตจะส่งไปไม่ถึงปลายทาง ในส่วนของโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอล

เวอร์ชันสองมีจำนวนของข้อความดีไอเอสสูงตามความเร็วของโหนดเคลื่อนที่เนื่องจากโหนดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะมีโอกาสในการเปลี่ยนโหนดแม่บ่อยมากขึ้นในสถานการณ์ที่สองแสดงให้เห็นถึงจำนวนของข้อความดีไอเอสที่มีมากขึ้นในแต่ละรอบสำหรับโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสอง ซึ่งในส่วนของโปรโตคอลอาร์พีแอลจะมีจำนวนข้อความดังกล่าวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จำนวนของข้อความดีไอเอสที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการร้องขอข้อมูลเพื่อเลือกโหนดแม่ เมื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่จาก Figure 7 จำนวนของข้อความดีไอโอที่มีมากสำหรับโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองเป็นผลมาจากการร้องขอเส้นทางใหม่จากข้อความดีไอเอส

ซึ่งถ้าหากกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบ่อยจะส่งผลให้จำนวนของข้อความดีไอโอส่งขึ้นตามไปด้วยจาก Figure 8 เป็นผลจากการปรับปรุงเส้นทางใหม่ ซึ่งโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่ง และไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองจะมีจำนวนของข้อความดีไอโอส่งกว่าโปรโตคอลอาร์พีแอลเนื่องจากโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลมีการปรับปรุงเส้นทางมากกว่าโปรโตคอลอาร์พีแอล

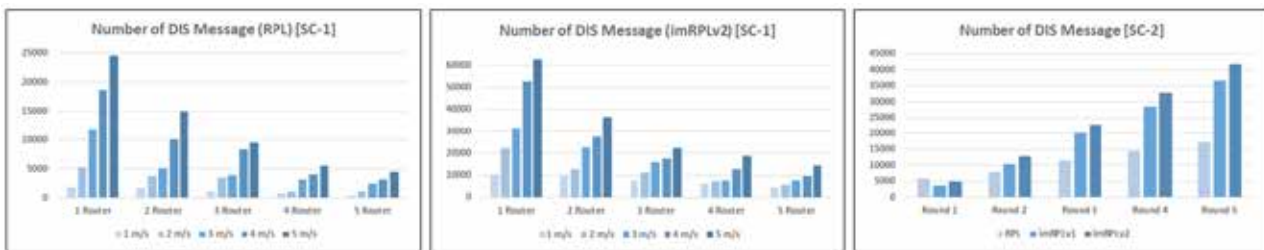


Figure 6 Scenario one and two: number of DIS message (RPL and imRPL)



Figure 7 Scenario one and two: number of DIO message (RPL and imRPL)

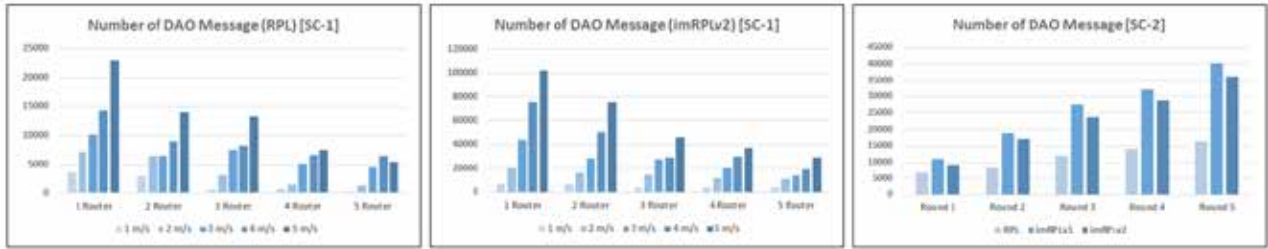


Figure 8 Scenario one and two: number of DAO message (RPL and imRPL)



Figure 9 Scenario one and two: packet delivery ratio (RPL and imRPL)

ผลการวัดอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล

ความต่อเนื่องในการเชื่อมต่อเครือข่ายในขณะที่เคลื่อนที่มีผลกระทบต่ออัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก ซึ่งถ้าหากไม่สามารถเลือกโหนดแม่ได้จะส่งผลให้ข้อมูลไม่สามารถส่งไปถึงปลายทาง ยิ่งไปกว่านั้นความเร็วในการเลือกโหนดแม่ ยังส่งผลกระทบต่อความต่อเนื่องในการส่งข้อมูลด้วยเช่นกัน ดังนั้นการเลือกโหนดแม่ที่รวดเร็วและถูกต้องที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการปรับปรุงโปรโตคอล ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลอาร์พีแอลและโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลได้ผลดังนี้

จาก Figure 9 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลอาร์พีแอลและโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลจากสถานการณ์ที่หนึ่ง แสดงให้เห็นถึงจำนวนโหนดเราเตอร์และความเร็วของการเคลื่อนที่ของโหนดที่มีมากขึ้นส่งผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง ในสถานการณ์ที่สองแสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบที่มากขึ้นทำให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลงเล็กน้อยซึ่งจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโปรโตคอลอาร์พีแอล, ไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองในทั้งสองการทดลองพบว่าโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมากกว่าโปรโตคอลอาร์พีแอลโดยโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมากที่สุด

ผลการวัดความเร็วและความถูกต้องในกระบวนการเลือกโหนดแม่

ความเร็วในการเลือกโหนดแม่นั้นเกิดจากโหนดคำนวณค่าลำดับชั้นของฟังก์ชันจุดประสงค์ที่อยู่ในโปรโตคอล

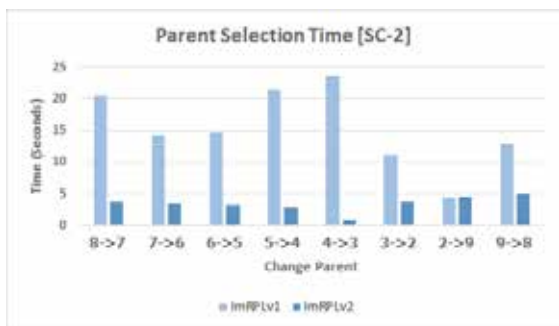
อาร์พีแอลซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าลำดับชั้น ในตารางเก็บที่อยู่ของโหนดข้างเคียงสำหรับโหนดที่เคลื่อนที่นั้นเมื่อมีการเดินทางผ่านโหนดข้างเคียงไปแล้วจะตารางเก็บที่อยู่ของโหนดข้างเคียงยังคงเก็บรายการโหนดข้างเคียงเดิมที่เคยผ่านมาและนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณาเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุด ซึ่งการขจัดแคชทุกครั้งก่อนที่จะมีการเลือกโหนดแม่ตัวใหม่จะทำให้โหนดแม่ที่ต้องพิจารณามีน้อยลงอีกทั้งยังเป็นโหนดข้างเคียงล่าสุดที่โหนดเคลื่อนที่สามารถติดต่อได้ จึงส่งผลให้การหาค่าโหนดแม่ที่ดีที่สุดทำได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบความเร็วและความถูกต้องในการเลือกโหนดแม่ระหว่างโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งกับ ไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองโดยกำหนดให้วิธีการเลือกโหนดแม่และการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ยังคงเดิม

ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการเลือกโหนดแม่หลังจากกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ ในสถานการณ์ที่สองนั้นโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองใช้เวลาในกระบวนการเลือกโหนดแม่เฉลี่ย 3.46 วินาที โดยใช้เวลาน้อยที่สุดเท่ากับ 0.79 วินาที และได้ใช้เวลาที่มากที่สุดเท่ากับ 4.99 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 15.39 วินาที โดยใช้เวลาน้อยที่สุดเท่ากับ 4.36 วินาที และใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 23.72 วินาที ผลการทดลองแสดงดัง Figure 10

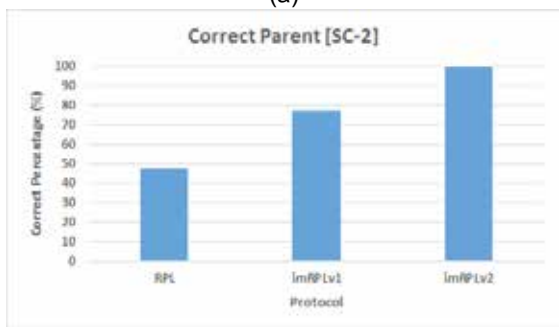
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบความถูกต้องในการเลือกโหนดแม่ที่โหนดเคลื่อนที่ได้เดินทางผ่านโดยในการทดลองนี้ได้นำโปรโตคอลอาร์พีแอลมาเปรียบเทียบกับซึ่งการทดลองจะทดลองในสถานการณ์ที่สองผลการทดลองพบว่าโปรโตคอลอาร์พีแอล, ไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและไอเอ็มอาร์

พีแอลเวอร์ชันสอง สามารถเลือกโหนดแม่ได้ถูกต้องเท่ากับ 47.5 เปอร์เซ็นต์, 77.5 เปอร์เซ็นต์และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองทั้งสองการทดลองแสดงให้เห็นว่าการขจัดแคชทำให้โหนดมีความเร็วในการเลือกโหนดแม่มากขึ้น เนื่องจากการลดจำนวนโหนดที่ต้องนำมาพิจารณาและโหนดที่พิจารณานั้นเป็นโหนดที่สามารถเชื่อมต่อได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังส่งผลให้สามารถเชื่อมต่อโหนดแม่ได้ทุกครั้งจึงทำให้โอกาสที่ส่งข้อมูลได้ต่อเนื่องมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองมีค่าสูงกว่าโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและโปรโตคอลอาร์พีแอล



(a)



(b)

Figure 10 Scenario two: (a) Time of Parent Selection (b) Correct Parent Selection

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เสนอโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลที่เป็นการปรับปรุงโปรโตคอลอาร์พีแอลของเครือข่ายแบบซิกโลแพนเพื่อสนับสนุนการทำงานในกรณีที่มีโหนดเคลื่อนที่ในเครือข่าย งานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงสองกระบวนการคือ กระบวนการเลือกโหนดแม่และกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่ ซึ่งในกระบวนการเลือกโหนดแม่นั้นจะทำให้โหนดเคลื่อนที่สามารถเลือกโหนดแม่ที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง สำหรับกระบวนการตรวจจับโหนดเคลื่อนที่นั้นจะทำให้โหนดสามารถรับรู้ได้ว่าจะต้องส่งข้อความร้องขอไปยังโหนดแม่ตัวใหม่เมื่อใดและจะรับรู้

ว่าควรจะต้องเลือกข้อมูลจากโหนดข้างเคียงใดที่ใช้ในการพิจารณาโหนดแม่ตัวใหม่

ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของโปรโตคอลโดยการใช้โปรแกรม Cooja Simulator โดยทดสอบกับสองสถานการณ์ที่จำลองขึ้นมา ผลการทดลองพบว่าในสถานการณ์ที่หนึ่งนั้นที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของโหนด 1 เมตรต่อวินาทีและจำนวนเราเตอร์โหนดตั้งแต่ 1 ถึง 5 โหนดนั้นโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 88.92 เปอร์เซ็นต์, 82.30 เปอร์เซ็นต์ 75.52 เปอร์เซ็นต์, 66.20 เปอร์เซ็นต์และ 60.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโปรโตคอลอาร์พีแอลมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 68.54 เปอร์เซ็นต์, 52.54 เปอร์เซ็นต์, 46.78 เปอร์เซ็นต์, 42.27 เปอร์เซ็นต์และ 25.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งในสถานการณ์ที่มีโหนดเคลื่อนที่ทำให้โปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลมีจำนวนของข้อความควบคุมมากกว่าโปรโตคอลอาร์พีแอลซึ่งการทดลองในสถานการณ์ที่สองนั้นที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของโหนด 1 เมตรต่อวินาทีโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 70.89 เปอร์เซ็นต์ โปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 58.84 เปอร์เซ็นต์ และอาร์พีแอลมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 38.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจำนวนของข้อความควบคุมนั้นโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองและไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งยังมีมากกว่าโปรโตคอลอาร์พีแอล

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบเวลาในกระบวนการเลือกโหนดแม่ซึ่งพบว่าความเร็วในการเลือกโหนดแม่ตัวใหม่ระหว่างโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองกับไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่ง เฉลี่ยเท่ากับ 3.46 วินาที และ 15.39 วินาทีตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นโปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันสองยังมีเปอร์เซ็นต์การเลือกโหนดแม่ที่ถูกต้องถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โปรโตคอลไอเอ็มอาร์พีแอลเวอร์ชันหนึ่งและโปรโตคอลอาร์พีแอลมีเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 77.5 เปอร์เซ็นต์ และ 47.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการเลือกโหนดแม่ที่ถูกต้องและมีความรวดเร็วส่งผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. G. Mulligan. The 6loWPAN architecture. Proceedings of the 4th Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets); 2007 June 25-26; Cork, Ireland: ACM; 2007. p. 78-82.
2. T. Winter, P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, and R. Kelsey. RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and

- Lossy Networks; IETF Request for Comments 6550; March 2012.
3. P. Levis, T. Clausen, J. Hui, O. Gnawali, and J. Ko. The Trickle Algorithm; IETF Request for Comments 6206; March 2011.
 4. Leila Ben Saad, Cedric Chauvenet, Bernard Tourancheau. Simulation of the RPL Routing Protocol for IPv6 Sensor Networks: two cases studies. International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM); 2011, Sep 2011, Nice, France. IARIA, 2011.
 5. Z. Shelby, S. Chakrabarti, E. Nordmark. Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs); IETF Request for Comments 6775; November 2012.
 6. P. Thubert. RPL Objective Function 0; IETF Request for Comments 6552; March 2012.
 7. O. Gnawali and P. Levis. The Minimum Rank with Hysteresis Objective Function; IETF Request for Comment 6719; September 2012.
 8. Ki-Sup Hong and Lynn Choi. DAG-based multipath routing for mobile sensor networks. *International Conference on ICT Convergence (ICTC)*; 2011, Sep 28-30; Seoul, Korea: IEEE; 2011. p. 261-6.
 9. K. Lee, R. Sudhaakar, L. Dai, S. Addepalli, M. Gerla. RPL under mobility. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC); 2012 Jan 14-17; Las Vegas, NV, USA; IEEE; 2012. p. 300-4.
 10. In`es El Korbi, Mohamed Ben Brahim, Cedric Adjihy and Leila Azouz Saidane. Mobility Enhanced RPL for Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 3rd International Conference on the Network of the Future (NOF); 2012 Nov 21-23; Tunis, Tunisia; IEEE; 2012. p. 1-8.
 11. Olfa Gaddour, Anis Koubaa, Raghuraman Rangarajan, Omar Cheikhrouhou, Eduardo Tovar, Mohamed Abid. Co-RPL: RPL Routing for Mobile Low Power Wireless Sensor Networks using Corona Mechanism. Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES), 2014 June 18-24; Pisa, Italy; IEEE; 2014. P. 200-9.
 12. C. Cobarzan, J. Montavont, T. Noel. Analysis and performance evaluation of rpl under mobility. IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), 2014 June 23-26; Funchal, Madeira, Portugal: IEEE; 2014. p. 1-6.
 13. Hossein Fotouhi, Daniel Moreira, Mário Alves. mRPL: Boosting mobility in the Internet of Things. *Journal on Ad Hoc Networks* 2015; 26:17-35.
 14. JeongGil Ko and Marcus Chang. MoMoRo: Providing Mobility Support for Low-Power Wireless Applications. *IEEE Systems Journals* 2015; 9(2):585-94.
 15. anrg.usc.edu [Internet]. Cooja Simulator. [cited 16 March 2016]. Available from: http://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Cooja_Simulator
 16. contiki-os.org [Internet]. Get Started with Contiki [cited 14 March 2016]. Available from: <http://www.contikios.org>
 17. anrg.usc.edu [Internet]. Mobility of Nodes in Cooja. [cited 23 April 2016]. Available from: http://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Mobility_of_Nodes_in_Cooja

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมือง เมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

Smrtphone Application Development for Tourist Destinations in Muang Kaen Pattana Municipality, Mae Tang District, Chiang Mai Province

พิมพ์ชนก สุวรรณศรี,¹ ศศิณิศา พัชรธนโรจน์²

Pimchanok Suwannasri,¹ Sasinipa Patcharatanaroach²

Received: 25 July 2017 ; Accepted: 1 December 2017

บทคัดย่อ

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพของแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา และ 2) เพื่อวิเคราะห์ผลความพึงพอใจของแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา โดยกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้คือ บุคคลทั่วไปและนักท่องเที่ยวคนไทย ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 45 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา 2) แบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้ 1) ได้แอปพลิเคชันนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาสำหรับใช้งานบนสมาร์ตโฟนด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งมีกระบวนการพัฒนา 7 ขั้นตอน มีการแบ่งเป็นหมวด คือ วัด สถานที่ท่องเที่ยว ที่พักและโฮมสเตย์ รวมทั้งมีการนำเสนอเส้นทางจากจุดที่ผู้ใช้แอปพลิเคชันอยู่ไปยังสถานที่ที่เลือกนั้น 2) คุณภาพของแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา โดยทำการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งทำการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านเนื้อหา และ ประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านการพัฒนา พบว่า แอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และ แอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านการพัฒนาอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 3) ความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา ได้ผลความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันในระดับความพึงพอใจมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21

คำสำคัญ: การพัฒนาแอปพลิเคชัน การส่งเสริมการท่องเที่ยว เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา

Abstract

This study of a smartphone application development for tourist destinations in Muang Kaen Pattana Municipality, Mae Tang District, Chiang Mai Province aimed.- 1) to develop and analyze the quality of the application, and 2) to analyze satisfaction with the application in a sample of 45 local people and Thai tourists. Research instruments were.- 1) the application for tourist destinations 2) a quality assessment form on the quality of the application for tourist destinations and 3) satisfaction assessment form on the application for tourist destinations. The results were as follows.- 1) Development of the smartphone application was a 7 step development process. Major pages in the

^{1,2} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300
Email: pimchanok_tham@cmru.ac.th

^{1,2} Assistant professor, Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Chiang mai Rajabhat University, Muang District, Chiang mai 50300. Email: pimchanok_tham@cmru.ac.th

application are categorized as 'temple', 'tourist attraction', 'accommodation', and 'homestay'. It also provides a route from where the user is to the selected location. 2) Quality of the application was assessed in term of content and development by 3 experts. Quality of the application (in terms of the content) was at the very good level with a mean of 4.67 whereas quality of the application (in terms of the development) was at the good level with a mean of 4.20. 3) Satisfaction with the application was at the high level with the mean of 4.21.

Keywords: Smartphone Application Development, Tourism Promotion, Muang Kaen Pattana Municipality

บทนำ

เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา มีประวัติศาสตร์อันยาวนานจากหลักฐานการค้นพบโบราณวัตถุเครื่องถ้วยชามอันเป็นหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์สำคัญของประเทศไทย ตามเอกสารการขุดค้นศึกษาทางโบราณคดีมีอายุในสมัยล้านนาประมาณ 500-600 ปี แสดงถึงความเป็นชุมชนอันเก่าแก่ มีแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ที่แสดงถึงความเป็นชุมชนของชาวเมืองแก่นพัฒนา เช่น แหล่งเตาอิทธิพลเมืองแก่น สถานที่เชิงประวัติศาสตร์ ตั้งอยู่หมู่ที่ 11 บ้านสันป่าตอง ต.อิทธิพล อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ ซึ่งเดิมเมืองแก่นมีประวัติศาสตร์ความเป็นมาที่ยาวนานหลายร้อยปี เป็นชุมชนโบราณก่อตั้งมาตั้งแต่สมัยอาณาจักรล้านนา (พ.ศ.1801-พ.ศ.1854) ผู้คนสมัยนั้นได้สร้างสรรค์วัฒนธรรม อารยธรรม วัฒนาอาราม กำแพงเมืองโบราณ สิ่งก่อสร้างต่างๆ คิดค้นเทคโนโลยี ผลิตศิลปกรรม วรรณกรรม และหัตถกรรมต่างๆ ทั้งไว้เป็นหลักหลักฐานทางโบราณคดี และประวัติศาสตร์อันเป็นมรดก นอกจากนี้ยังมีวัดที่มีชื่อเสียง และมีประวัติอันยาวนานของเมืองแก่นพัฒนา คือ วัดบ้านเด่นสะหลีศรีเมืองแก่น เดิมชื่อวัด "หริบุญเรือง" สร้างเมื่อปี พ.ศ.2437 ที่ตั้งของวัดมีลักษณะเป็นเนินเขาเตี้ยๆ ซึ่งเป็นที่สูงกว่าหมู่บ้าน ภายในเนินเขามีถ้ำศักดิ์สิทธิ์ วัดบ้านเด่นสะหลีศรีเมืองแก่นนั้นอยู่ไม่ไกลจากตัวเมืองเชียงใหม่ มีเอกลักษณ์โดดเด่นในเรื่องความสวยงามของสิ่งปลูกสร้างทุกชิ้นที่ปรากฏอยู่ในวัดแห่งนี้ด้วยความวิจิตรงดงาม ตามแบบศิลปะล้านนาประยุกต์ นอกจากนี้ยังมีวัดที่มีชื่ออีกแห่งหนึ่งในเมืองแก่นพัฒนา คือ วัดอรุณญวิเวก มีเนื้อที่ประมาณ 102 ไร่เศษ เป็นป่าโปร่งมีต้นไม้ปกคลุมร่มรื่นเหมาะแก่การทำวิปัสณาเจริญสมณธรรมของผู้ใฝ่ความสงบทางกายและใจ แต่เดิมนั้นวัดนี้มีฐานะเป็นสำนักสงฆ์ ชื่อ "สำนักสงฆ์อรุณญวิเวกบ้านปง" ซึ่งเป็นชื่อที่หลวงปู่มั่น ภูริทัตตเถระ ได้ตั้งให้เมื่อคราวที่ท่านรับนิมนต์มาพำนักเพื่อปฏิบัติธรรมและอบรมคณะศรัทธาญาติโยมในแถบนี้เมื่อ พ.ศ. 2470

นอกจากสถานที่ต่างๆ ที่มีประวัติอันยาวนานของชุมชนเมืองแก่นพัฒนา ยังมีสถานที่ที่สำคัญอีกแห่งหนึ่งที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงชีวิตเกษตรกรรมชาวเมืองแก่น และพื้นที่ใกล้เคียงคือ เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ซึ่งเป็นเขื่อนดินขนาดใหญ่ ที่มี

ความงามทางธรรมชาติที่สวยงามเกินกว่าคำบรรยาย เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีเนื้อที่ประมาณ 20 ตารางกิโลเมตร ได้รับการยอมรับว่าเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีชื่อเสียงที่สุดของจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติศรีลานนา เขื่อนนี้เดิมชื่อ เขื่อนแม่งัด พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานนามเขื่อนว่า "เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล" เมื่อวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2529 และเสด็จพระราชดำเนินทรงประกอบพิธีเปิดเขื่อนเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 เริ่มก่อสร้างเมื่อปี 2520 โดยกรมชลประทาน ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2527¹

ตามที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา มีสถานที่ต่างๆ ที่มีความน่าสนใจ มีประวัติศาสตร์อันดีงามที่ยาวนานและน่าจดจำ อีกทั้งยังควรอนุรักษ์ไว้แก่คนรุ่นหลังในชุมชน และบุคคลอื่นที่สนใจ โดยที่อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวนับเป็นธุรกิจการท่องเที่ยวที่สร้างรายได้เป็นเงินตราให้กับผู้ประกอบการและกระจายเข้าไปในท้องถิ่นที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว เพื่อเป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา ดังนั้นหากมีกระบวนการใดที่จะช่วยในการส่งเสริมการท่องเที่ยวและยังช่วยอนุรักษ์สถานที่ท่องเที่ยวเหล่านั้น รวมทั้งประวัติศาสตร์ความเป็นมาของแหล่งท่องเที่ยวเหล่านั้น เป็นสิ่งบอกถึงความเป็มาของชุมชนเมืองแก่นพัฒนาให้บุคคลรุ่นหลังหรือผู้ที่ยังไม่รู้ได้รู้จัก ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในการอนุรักษ์ไว้และเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่สถานที่ท่องเที่ยวในเมืองแก่นพัฒนา

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการส่งเสริมการท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีการนำเสนอในรูปแบบของสื่อแอปพลิเคชันซึ่งเป็นสื่อที่บุคคลทุกรุ่นทุกวัยในสมัยนี้สามารถเข้าถึงได้ สอดคล้องกับเทคโนโลยีผสมกลมกลืนกับชีวิตประจำวันของผู้บริโภคอย่างต่อเนื่อง เนื่องด้วยการพัฒนาต่างๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน และ แท็บเล็ตที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ ดังนั้น ดูเหมือนว่าเทคโนโลยีมีบทบาทในอนาคตอย่างมากในการยกระดับประสบการณ์ด้านการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวเนื่องด้วยบริการบอกตำแหน่งสถานที่ (Location-based services) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยผู้จัดหาสินค้าและบริการการท่องเที่ยวและ

จุดหมายปลายทางต่างๆ มีความสามารถในการติดตาม โต้ตอบกับนักท่องเที่ยวได้ดีกว่า ทำให้พวกเขาได้รับข้อมูลที่ชัดเจนและแม่นยำกว่า ซึ่งเป็นการทำให้ความพอใจของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น โลกปัจจุบันที่อยู่ในช่วงรอยต่อของการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่ ตัวอย่างเช่น ไอแพดได้เปลี่ยนแปลงการนั่งใช้คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะให้มาอยู่ในมือของผู้บริโภคแทน² โดยในแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา มีการนำเสนอข้อมูล ประวัติที่เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ตำแหน่งสถานที่ท่องเที่ยว เส้นทางเดินทางมายังสถานที่ท่องเที่ยว รวมทั้งข้อมูลในการนำทางจากตำแหน่งของนักท่องเที่ยวมายังสถานที่ท่องเที่ยว นั้น ซึ่งแอปพลิเคชันนั้นเป็นเสมือนตัวกลางในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ สำหรับบุคคลทุกเพศทุกวัยที่มีความสนใจการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ หรือศึกษาเกี่ยวกับประวัติความเป็นมาของชุมชนเมืองแกนพัฒนา รวมทั้งเป็นการสร้างเครือข่ายในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพของแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่
2. เพื่อวิเคราะห์ผลความพึงพอใจของแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

เครื่องมือในการวิจัย

แอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและแอปพลิเคชัน ในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา สำหรับผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแอปพลิเคชัน เพื่อให้แอปพลิเคชันมีคุณภาพน่าเชื่อถือ³ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ มีการแบ่งระดับคุณภาพ ดังนี้

- 5 หมายถึง คุณภาพดีมาก
- 4 หมายถึง คุณภาพดี
- 3 หมายถึง คุณภาพปานกลาง
- 2 หมายถึง คุณภาพน้อย
- 1 หมายถึง คุณภาพน้อยที่สุด

การแปรผลจากการตอบแบบประเมิน สามารถแปรผลได้ ดังนี้

5.00 – 4.50 หมายถึง คุณภาพดีมาก
 4.49 – 3.50 หมายถึง คุณภาพดี
 3.49 – 2.50 หมายถึง คุณภาพปานกลาง
 2.49 – 1.50 หมายถึง คุณภาพน้อย
 1.49 – 0.00 หมายถึง คุณภาพน้อยที่สุด

แบบประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา เป็นการประเมินความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชัน โดยแบบประเมินความพึงพอใจ เป็นแบบสำรวจระดับเรียงอันดับชนิดมาตราประมาณค่า 5 ระดับ⁴ มีการแบ่งระดับความพึงพอใจ ทั้ง 5 ระดับ ดังนี้

- 5 หมายถึง พอใจมากที่สุด
- 4 หมายถึง พอใจมาก
- 3 หมายถึง พอใจปานกลาง
- 2 หมายถึง พอใจน้อย
- 1 หมายถึง พอใจน้อยที่สุด

การแปรผลจากการตอบแบบประเมิน สามารถแปรผลได้ ดังนี้

- 5.00 – 4.50 หมายถึง พอใจมากที่สุด
- 4.49 – 3.50 หมายถึง พอใจมาก
- 3.49 – 2.50 หมายถึง พอใจปานกลาง
- 2.49 – 1.50 หมายถึง พอใจน้อย
- 1.49 – 0.00 หมายถึง พอใจน้อยที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาพัฒนาแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาแก่บุคคลทั่วไป และผู้ที่สนใจเพื่อให้อำเภอเมืองและสามารถเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาได้ ดังนั้นประชากรคือ บุคคลทั่วไป บุคคลที่สนใจ รวมทั้งนักท่องเที่ยวคนไทย ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ บุคคลทั่วไป บุคคลที่สนใจ รวมทั้งนักท่องเที่ยวคนไทย ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 45 คน

2. พัฒนาแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาทำการพัฒนาแอปพลิเคชันในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาด้วย กระบวนการพัฒนาทั้งหมด 7 ขั้นตอน⁵ ดังนี้

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ในพื้นที่เทศบาลเมือง

เมืองแก่นพัฒนา จากเว็บไซต์เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนา และสอบถามจากชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ รวมทั้งศึกษาข้อมูล คุณลักษณะของการพัฒนาแอปพลิเคชันจากเอกสารงานวิจัยและเว็บไซต์ต่างๆ

2.2 วิเคราะห์และกำหนดขอบเขต หลังจากทำการรวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว และวิธีการในการพัฒนาแอปพลิเคชันแล้ว ต่อไปจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้โดยเน้นในด้านการนำเสนอข้อมูลต่างๆ ของสถานที่ท่องเที่ยวและการแนะนำเส้นทางการเดินทางไปยังสถานที่นั้น โดยมีการนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวในสถานที่ ดังนี้ วัดอรุณญวิเวก วัดบ้านเด่นสะหรีศรีเมืองแก่น วัดซ้อแล พระงาม พิพิธภัณฑสถานอินทขิล เขื่อนแม่ต๋ำสมบูรณ์ชล ภูสันฟ้า บ้านสวนกลางนาโฮมสเตย์ บ้านพระยาล้านนาริมน้ำ ซึ่งภายในแอปพลิเคชันสามารถแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ต่างๆ รวมทั้งนำทางไปยังสถานที่นั้นๆ ได้จากตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้

2.3 การออกแบบ กระบวนการออกแบบแอปพลิเคชันมีฟังก์ชันการทำงานหลัก ดังนี้ 1. ประวัติเมืองแก่นพัฒนา 2. แนะนำสถานที่ท่องเที่ยว แบ่งเป็น วัด, สถานที่ท่องเที่ยว, ที่พัก 3. แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่แต่ละแห่งรวมทั้งแสดงเส้นทางไปยังสถานที่นั้นๆ

2.4 การพัฒนาแอปพลิเคชัน สำหรับงานวิจัยนี้สร้างระบบงานของแอปพลิเคชันโดยการเขียนโปรแกรมภาษาจาวา ผ่านโปรแกรมแอนดรอยด์ สตูดิโอ และชุดเครื่องมือการพัฒนาพร้อมทั้งมีการใช้กูเกิลเอพีไอสำหรับการค้นหาเส้นทางไปยังสถานที่ต่างๆ

2.5 การทดสอบแอปพลิเคชัน เป็นกระบวนการทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชัน โดยเริ่มจากผู้วิจัยทำการทดสอบการเข้าถึงข้อมูล การใช้ฟังก์ชัน การค้นหาสถานที่ รวมทั้งการแนะนำเส้นทางไปยังสถานที่นั้นๆ และเพื่อให้การพัฒนาแอปพลิเคชันมีความสมบูรณ์มากขึ้น ผู้วิจัยจึงนำแอปพลิเคชันดังกล่าวไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบในด้านเนื้อหาและด้านการพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อเป็นการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและการพัฒนาแอปพลิเคชัน และตอบแบบประเมินคุณภาพ

2.6 การทดลองใช้งานแอปพลิเคชัน หลังจากทำการทดสอบและประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำแอปพลิเคชันไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมาย และให้ผู้ใช้ออกแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชัน

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล หลังจากนำแอปพลิเคชันไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมายและมีการตอบแบบประเมินความพึงพอใจแล้ว ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

Table 1 Content Application Quality Assessment Result

Content	\bar{X}	SD	Level
1. Presentation of core city history information is clear	4.67	0.47	Excellent
2. Presentation of tourist information is clear	4.33	0.47	Good
3. Presentation of temple information is clear	4.67	0.47	Good
4. Location presentation is accurate	5.00	0.00	Excellent
5. Route guidance is accurate	4.67	0.47	Excellent
Average	4.67	0.35	Excellent

จาก Table 1 แสดงผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ มีผลการประเมิน

เฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.35 ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก

Table 2 Application Development Quality Assessment Result

Content	\bar{X}	SD	Level
1. Picture presentation is appropriate	4.00	0.00	Good
2. Vdo presentation is appropriate	3.67	0.47	Good
3. Presenting text messages is clear	4.33	0.47	Good
4. Application deployment is convenient, easy to use	4.33	0.47	Good
5. Benefit of using the application	4.67	0.47	Excellent
Average	4.20	0.38	Good

จาก Table 2 แสดงผลการประเมินคุณภาพ แอปพลิเคชันด้านการพัฒนาจากผู้เชี่ยวชาญ มีผลการประเมิน

เฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดี

Table 3 Results of the Application Satisfaction Assessment

Content	\bar{X}	SD	Level
1. Presentation of core city history information is clear	3.96	0.52	Very satisfied
2. Presentation of tourist information is clear	4.18	0.61	Very satisfied
3. Presentation of temple information is clear	3.84	0.56	Very satisfied
4. Presentation pictures are interesting	3.96	0.56	Very satisfied
5. Presentation VDO are interesting	3.98	0.69	Very satisfied
6. Location presentation is accurate	4.69	0.47	Most satisfied
7. Route guidance is accurate	4.80	0.40	Most satisfied
8. The speed of the processing of the application	4.36	0.53	Very satisfied
9. The application is unique	4.47	0.50	Most satisfied
10. Facilitated within the application	4.44	0.76	Most satisfied
11. The beauty of the application	3.93	0.65	Very satisfied
12. Benefit of using the application	4.71	0.46	Most satisfied
13. Application deployment is convenient, easy to use	4.09	0.36	Very satisfied
14. Application has been properly applied	3.89	0.49	Very satisfied
15. Overall suitability of the application	3.93	0.58	Very satisfied
Average	4.21	0.54	Very satisfied

จาก Table 3 แสดงผลการตอบแบบประเมิน ความพึงพอใจแอปพลิเคชันจากผู้ใช้งาน มีผลการประเมินเฉลี่ย เท่ากับ 4.21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 ซึ่งมีความ พึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน



Figure 1 Application Architecture

จากการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยกระบวนการพัฒนา 7 ขั้นตอน ทำให้ได้แอปพลิเคชันนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวใน พื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแก่นพัฒนาสำหรับใช้งานบนสมาร์ต

โฟนด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งมีการนำเสนอข้อมูล และรูปภาพของแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ โดยแบ่งเป็นหมวด คือ วัด สถานที่ท่องเที่ยว ที่พักและโฮมสเตย์ รวมทั้งมีการนำเสนอ เส้นทางจากจุดที่ผู้ใช้แอปพลิเคชันอยู่ไปยังสถานที่ที่เลือกนั้น โดยมีสถาปัตยกรรมของแอปพลิเคชันดังนี้ ผู้ใช้เรียกใช้ แอปพลิเคชันผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งมีการนำ เสนอข้อมูลต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชันโดยมีการเรียกข้อมูลจาก ฐานข้อมูลด้วยเอสคิวแอลไลท์ (SQLite) และมีการนำเสนอเส้น ทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ด้วยกูเกิลแมพ ผ่านการเรียก ใช้งานจาก กูเกิลเอพีไอ (Figure 1)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแอปพลิเคชันโดย ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน

จาก Table 1 ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชัน ด้านเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ ในการตอบแบบประเมิน มาตรฐานส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 5 ประเด็น พบว่า แอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านเนื้อหาโดยรวมแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก เมื่อพิจารณารายประเด็น พบว่าประเด็นที่ 4 คือ การนำเสนอตำแหน่งที่ตั้งมีความถูกต้อง มีคุณภาพมากที่สุดในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00

จาก Table 2 ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านการพัฒนาจากผู้เชี่ยวชาญ ในการตอบแบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 5 ประเด็น พบว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านการพัฒนาโดยรวมแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดี เมื่อพิจารณารายประเด็น พบว่าประเด็นที่ 5 การใช้ประโยชน์จากแอปพลิเคชันมีคุณภาพมากที่สุดในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชัน

จาก Table 3 ผลการตอบแบบประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชันจากผู้ใช้งาน ในการตอบแบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 15 ประเด็น พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันโดยรวมแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก เมื่อพิจารณารายประเด็น พบว่าประเด็นที่ 7 การแนะนำเส้นทางมีความถูกต้อง มีความพึงพอใจสูงที่สุด รองลงมา คือ ประเด็นที่ 12 ประโยชน์จากการใช้แอปพลิเคชัน โดยทั้งสองประเด็นมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุดโดยเฉลี่ยคือ 4.80 และ 4.71ตามลำดับ

อภิปรายผล

จากการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ มีสาระสำคัญในการอภิปรายผล ดังนี้

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา เป็นแอปพลิเคชันที่พัฒนาสำหรับใช้งานบนสมาร์ตโฟนด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วยกระบวนการพัฒนา 7 ขั้นตอน สอดคล้องกับการพัฒนาแอปพลิเคชันสมุนไพรดุแลสุขภาพบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วยกระบวนการพัฒนา 7 ขั้นตอน ทำให้ได้ผลความพึงพอใจต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันในด้านความสวยงามและการออกแบบ ด้านข้อมูลสมุนไพรรวมทั้งการใช้งานระบบและประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีทั้งหมด⁵ นอกจากนี้ภายในแอปพลิเคชันแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนามีการนำเสนอข้อมูลรวมทั้งรูปภาพของสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา สอดคล้องกับ ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญในเรื่องของการใช้ภาพเพื่อการสื่อสารและการประชาสัมพันธ์สถานที่ท่องเที่ยวต่างๆของจังหวัดเพชรบุรี เนื่องจากการใช้ภาพนั้นจะเป็นจุดสร้างความสนใจให้กับนักท่องเที่ยว โดยเฉพาะภาพของสถานที่จริงเนื่องจากภาพนั้นๆ จะแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดต่างๆ บรรยากาศของสถานที่จริง ทำให้สามารถโน้มน้าวใจให้นักท่องเที่ยวเดินทางไปที่นั่นได้ โดยในตัวแอปพลิเคชันมีการแบ่งเป็นหมวด คือ วัด สถานที่ท่องเที่ยว ที่พักและโฮมสเตย์ รวมทั้งมีการเสนอ

เส้นทางจากจุดที่ผู้ใช้แอปพลิเคชันอยู่ไปยังสถานที่ที่เลือกนั้นด้วยคุณสมบัติของกูเกิลแมพ เอพีไอ (Google Map API) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้ นักท่องเที่ยวและผู้สนใจสามารถไปยังสถานที่นั้นได้ถูกต้อง และง่ายต่อการเดินทาง สอดคล้องกับ หลายๆ เว็บไซต์ที่มีการนำกูเกิลแมพ ไปใช้จะช่วยให้ผู้ใช้ที่เข้ามาใช้งานของระบบมีความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น การแนะนำร้านอาหาร โรงแรม หรือสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ก็สามารถที่จะทำให้ผู้ใช้งานทราบถึงสถานที่นั้นๆ แล้วเดินทางไปได้ถูกต้อง⁷

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา โดยทำการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งทำการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านเนื้อหา และ ประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้านการพัฒนา พบว่า แอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และ แอปพลิเคชันมีคุณภาพด้านการพัฒนาอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 45 คน ได้ผลความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันในระดับความพึงพอใจมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 โดยประเด็นที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ การแนะนำเส้นทางมีความถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 รองลงมา คือ ประโยชน์จากการใช้แอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 แสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานจริง ซึ่งภายในแอปพลิเคชันมีการนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา รวมทั้งเสนอเส้นทางในการเดินทางไปยังสถานที่นั้นๆ เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมการท่องเที่ยวสอดคล้องกับผลการวิจัยที่กล่าวว่าควรมีแนวทางการพัฒนาด้านบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกโดยการให้ข้อมูลด้านการท่องเที่ยวกับนักท่องเที่ยว ควบคู่กับการให้ความรู้ด้านการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ รวมทั้งการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเนื่องจากแหล่งท่องเที่ยวบางแห่งมีความซับซ้อนในการเดินทางและไม่มีรถโดยสารเข้าถึง ทำให้เดินทางลำบากและไม่ได้รับความสะดวก ทำให้แหล่งท่องเที่ยวบางแห่ง มีผู้เดินทางไปท่องเที่ยวน้อยมาก⁸

การนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาด้วยแอปพลิเคชันถือเป็นการส่งเสริมและประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวได้อีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับ นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่พบข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดเพชรบุรีผ่านสื่อประชาสัมพันธ์ประเภทสื่ออินเทอร์เน็ตมากที่สุด ทั้งนี้

เนื่องจากในยุคปัจจุบันสื่ออินเทอร์เน็ตถือเป็นสื่อที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง และเป็นสื่อที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และเป็นสื่อที่สามารถส่งข้อมูลข่าวสารไปยังกลุ่มเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะ

แอปพลิเคชันที่พัฒนาในครั้งนี้นี้สำหรับใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมกับอุปกรณ์สมาร์ตโฟนในปัจจุบัน ควรมีการพัฒนาสำหรับระบบปฏิบัติการ IOS ด้วย

ข้อมูลที่แสดงในแอปพลิเคชันมีแต่ภาษาไทย ซึ่งทำให้การนำเสนอข้อมูลยังมีข้อจำกัดสำหรับนักท่องเที่ยวหรือบุคคลที่สนใจที่เป็นชาวต่างชาติ ดังนั้นหากมีการพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของภาษาอังกฤษ หรือ ภาษาจีน จะทำให้ได้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือ

เอกสารอ้างอิง

1. เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา. แหล่งท่องเที่ยว. Available: http://www.muangkaen.go.th/index.php?_mod=dHJhdmVs&no=4 10 June 2016; 2556.
2. สยมล วิทยานรัตนานา. อนาคตของเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมท่องเที่ยว (ตอนที่ 1). e-TAT Tourism Journal, 2011(4), 5-11. Available: <http://www.tatreviewmagazine.com/web/menu-read-web-etatjournal/menu2011/menu-2011-oct-dec/362-42554-technology-tourism> 12 December 2016; 2554
3. ศิริวรรณ วาสุกกรี. การพัฒนาบทเรียนทบทวนมัลติมีเดียเรื่อง อนุพันธ์. วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต 2558; 9(2): 95 – 106.
4. ศิริวรรณ วาสุกกรี. การศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาพื้นฐานคณิตศาสตร์ โดยใช้เทคนิคการประเมินผลในชั้นเรียน. วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต 2553; 4(2): 24 – 37
5. สิรินคร จิยาศักดิ์ และ ขวัญชนก อ้อมมรชัยการ. แอปพลิเคชันสมุนไพรดุแลสุขภาพบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

(NCIT) ครั้งที่ 7; 29-30 ตุลาคม 2558. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2558; 153-158.

6. เมธาวิณ สาระยาน. ประสิทธิภาพของสื่อประชาสัมพันธ์ด้านการท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบุรี พ.ศ. 2557. การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 6; 9 กรกฎาคม 2559. เพชรบุรี: คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี; 2559.
7. อภิรักษ์ บุตรละ. การประยุกต์ใช้ Google Map ในการพัฒนาระบบการคำนวณค่ารถ Taxi ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การศึกษาเฉพาะบุคคล วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ; 2552.
8. พรทิพย์ กิจเจริญไพศาล. การศึกษาทรัพยากรท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของชุมชนชาวมอญเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในจังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.

การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

The Application of Geographic Information Systems to Develop an Application for Finding an Optimal Route for Tourist Attractions in Hua Hin, Prachuap Khiri Khan Province

อังคณา จัตตามาศ¹, อัชฌาพร กว่างสวัสดิ์¹

Aungkana Jattamart¹, Achaporn Kwangsawad¹

Received: 15 September 2017 ; Accepted: 20 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ด้วยการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และสามารถใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชันของโปรแกรม ArcGIS Online ร่วมกับ AppStudio for ArcGIS มีการวิเคราะห์ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน นำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของสถิติพื้นฐาน ผลการศึกษาพบว่า 1) แอปพลิเคชันการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอ หัวหิน สามารถดำเนินการตรงตามขอบเขต 2) ผลการประเมินแบบสอบถามต่อการพัฒนาระบบ แบ่งเป็นสำหรับใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ส่วนของผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินสูงสุดด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.65 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก และส่วนของผู้ใช้งานมีผลการประเมินสูงสุดด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ยที่ 4.57 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก และผลการประเมินแบบสอบถามต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการท่องเที่ยวประเภทอื่นได้ 100%

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ แหล่งท่องเที่ยวชุมชน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

Abstract

This research aimed to.- 1) develop applications by applying geographic information systems to find suitable routes for tourist community attractions in Hua Hin, 2) to evaluate users' satisfaction with application development through the geographic application information system by developing the applications on the Android operating system (Android) and using the ArcGIS Online web application with AppStudio for ArcGIS. The application development analytics were analyzed with a survey of the satisfaction of 400 people and the results shown in the form of basic statistics. The study found that.- 1) the application of geographic information systems to find suitable routes for community attractions in Hua Hin can be implemented to an extent, 2) the results of questionnaire evaluation revealed that the Android system has the highest rating in terms of usage, with an average of 4.65 which was in the very good quality level. The average design score of 4.57 was in a very good level. The results of the questionnaire evaluation on application development of geographic information systems to find the right path for community attractions in Hua Hin can be used as a guideline to apply to the development for other types of tourism 100%.

Keywords: Geographic Information Systems, Tourist attraction, Android operating system

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 อีเมล: aungkana.jat@rmutr.ac.th,

¹ Lecturer, Department of Business Information Technology, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Hua-Hin District, Prachuapkhirkhan, 77110, Thailand. E-mail: aungkana.jat@rmutr.ac.th

บทนำ

จากสถิตินักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2558 ข้อมูลจำนวนนักท่องเที่ยวเข้าที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 4 ของโลก และพบว่าจังหวัดกรุงเทพมหานครเป็นเมืองท่องเที่ยวอันดับสองที่นักท่องเที่ยวทั่วโลกเดินทางมาท่องเที่ยวมากที่สุดของประเทศไทย' และในปี 2559 มีจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย 32,573,545 คน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.86 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2558 ที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.65 และ 10.56 ตามลำดับ และคาดการณ์ว่าปี 2560 จะมีจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติเดินทางเข้ามาทั้งหมดกว่า 35 ล้านคน ด้านรายได้จากการท่องเที่ยว ปี 2559 ประเทศไทยได้รับรายได้จากนักท่องเที่ยวต่างชาติทั้งสิ้น 1,637,832 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.40 เมื่อเทียบกับปี 2558² ประเทศไทยยังได้เข้าเป็นสมาชิกประชาคมอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) ถือได้ว่าเป็นการส่งเสริมและร่วมมือกันระหว่างประเทศสมาชิกในการสร้างความแข็งแกร่งและเข้มแข็งทางเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม ทำให้ผู้ประกอบการหรือสถานประกอบการต่างๆ ในประเทศ พยายามพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของการบริการด้วยการนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในการสร้างสรรค์สินค้าและบริการใหม่ๆ เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวและผู้สนใจ นำมาสู่การสร้างรายได้ที่ดีขึ้น ทำให้ส่งผลดีไปถึงผู้รับบริการในการเข้าถึงบริการต่างๆ ได้สะดวกและได้รับสินค้าที่มีคุณภาพมากขึ้น

อำเภอหัวหินตั้งอยู่ทางตอนเหนือสุดของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีชื่อเสียงจากการเป็นสถานที่ตากอากาศที่สามารถเที่ยวได้ใน 1 วัน ปัจจุบันหัวหินเป็นที่รู้จักและได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเป็นจำนวนมาก มีสถานที่ท่องเที่ยวสวยงามที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวมากมาย อีกทั้งยังมีโรงแรมหรูระดับ 5 ดาวหลายแห่ง ซึ่งตั้งอยู่ใจกลางเมืองหัวหินพร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกครบครันไว้คอยต้อนรับนักท่องเที่ยว ให้เข้ามาสัมผัสแหล่งอารยธรรมประเพณีของไทยที่มีตลอดทั้งปี ซึ่งจากสถิติการท่องเที่ยวพบว่า มีจำนวนนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเดินทางมาท่องเที่ยวที่อำเภอหัวหินในปี พ.ศ. 2556 จำนวน 2,372 คน ในปี พ.ศ. 2557 จำนวน 2,420 คน และในปี พ.ศ. 2558 จำนวน 2,569 คน³ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนนักท่องเที่ยวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเวลาในการเดินทางท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวบางกลุ่มต้องการใช้เวลาในการเที่ยวชมแหล่งท่องเที่ยวให้คุ้มค่าที่สุด เพราะฉะนั้นการประเมินหาเส้นทางเดินทางที่สั้นที่สุดจึงเป็นสิ่งที่เข้ามาช่วยในการจัดสรรเวลาในการเดินทางจากที่พักไปยังแหล่งท่องเที่ยวให้เหมาะสม

และใช้เวลาให้น้อยที่สุด ซึ่งระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถวางแผนการเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวได้ในระยะเวลาและระยะทางที่สั้นที่สุดได้

จากปัญหาข้างต้นจึงเป็นสาเหตุจูงใจให้ผู้จัดทำมีแนวคิดในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และยังเป็นการเพิ่มช่องทางในการเข้าถึงข้อมูลของแหล่งท่องเที่ยวได้สะดวกมากขึ้น โดยแอปพลิเคชันมีคุณสมบัติคือ สามารถแสดงผลเส้นทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์จากระยะเวลาการเดินทางที่สั้นที่สุดร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มีการแนะนำเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนในแต่ละประเภทที่นักท่องเที่ยวสนใจ รวมไปถึงจุดเด่นในการแสดงผลข้อมูลและรูปภาพของแหล่งท่องเที่ยวในแต่ละตำแหน่งซึ่งผู้ใช้งานแอปพลิเคชันสามารถเรียกดูข้อมูลและเส้นทางท่องเที่ยวได้พร้อมกันผ่านการแสดงผลบนหน้าจอของแพล็ทฟอร์มออนไลน์

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรม ArcGIS Online ใช้สำหรับพัฒนาแพล็ทฟอร์มออนไลน์ ของบริษัท อีเอสอาร์ไอ (ESRI) มีฟังก์ชันที่สนับสนุนการใช้งานแพล็ทฟอร์มออนไลน์อย่างครบถ้วน และมีระบบป้องกันข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน แพล็ทฟอร์มนี้เลือกใช้ ArcGIS Online ประเภท Personal Use⁴ สำหรับรวบรวมข้อมูลและแพล็ทฟอร์มภูมิศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการหาตำแหน่งข้อมูลพิกัด ละติจูด และลองจิจูด คือ 1) เว็บไซต์ <http://maps.google.co.th> 2) ArcGIS Online ในส่วนของเมนู Measure Area and Distance 3) แอปพลิเคชัน Handy GPS บนระบบปฏิบัติการ IOS ที่ใช้ในการหาข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ AppStudio for ArcGIS เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่แปลงแผนที่ให้เป็นแอปพลิเคชันบนมือถือ

วิธีการดำเนินการวิจัย

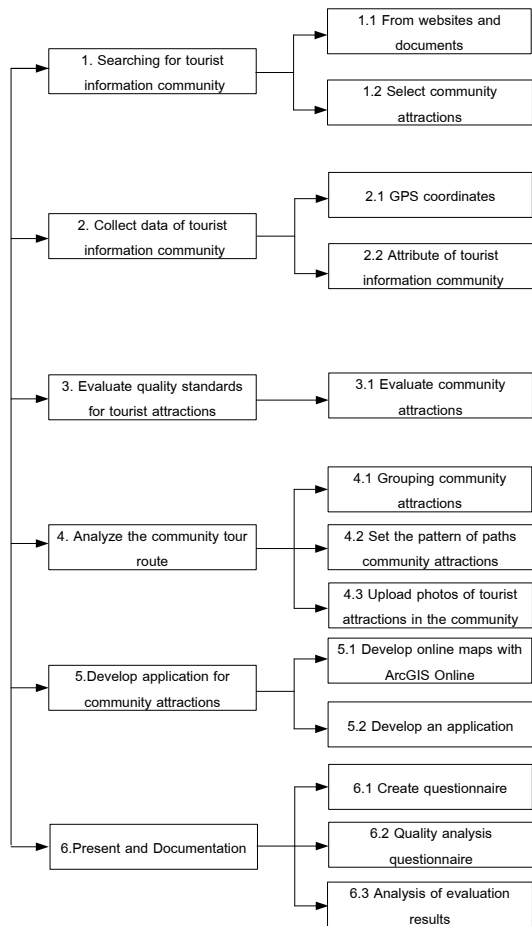


Figure 1 The research process

จาก Figure 1 วิธีการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวชุมชน

1.1 จากเว็บไซต์และเอกสารต่างๆ:

Kapook travel, tripadvisor, Gplace, suvarnabhumiairport

1.2 คัดเลือกแหล่งท่องเที่ยวชุมชน: ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง แหล่งท่องเที่ยวชุมชนเป็นที่นิยมในอำเภอหัวหินจำนวน 24 แห่ง ได้แก่ หาดหัวหิน, หาดเขาตะเกียบ, หาดสวนสนประดิพัทธ์, หาดเขาเต่า, หาดทรายน้อย, เพลินวาน, ตลาดโต้รุ่ง, Cicada Market , ตลาดน้ำสามพันนาม, ไร่องุ่น หัวหินฮิลล์ วินยาร์ด, สวนสาธารณะเอนกิงเพชร, ถ้ำดาว วัดหนองพลับ, สำนักสงฆ์ ถ้ำลับแลหัวหิน, ถ้ำไก่หล่น, หมูบ้านช้าง, น้ำตกป่าละอู, อุทยานราชภักดิ์, อ่างเก็บน้ำเขาเต่า, พลับพลา สถานีรถไฟหัวหิน, จุดชมวิวเขาหินเหล็กไฟ, วัดหัวหิน, วัดถ้ำเขาเต่า, วัดเขาตะเกียบ, วัดห้วยมงคล เป็นต้น

2. เก็บข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวชุมชน

2.1 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยๆ ได้ดังนี้

ข้อมูลค่าพิกัด GPS: ข้อมูลพิกัด ینگจาก Google map และเพื่อความถูกต้องของข้อมูลพิกัด ได้ทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลพิกัด โดยเก็บข้อมูลพิกัดผ่าน แอปพลิเคชัน Handy GPS บนระบบปฏิบัติการ Android และ IOS ที่ใช้ในการหาข้อมูล ตำแหน่งละติจูด และ ตำแหน่งลองติจูด บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ นำข้อมูลพิกัดทั้งหมดจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ .CSV หรือ .TXT



Figure 2 Application Handy GPS

จาก Figure 2 แสดงแอปพลิเคชัน Handy GPS สำหรับระบุตำแหน่งพิกัดสถานที่บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

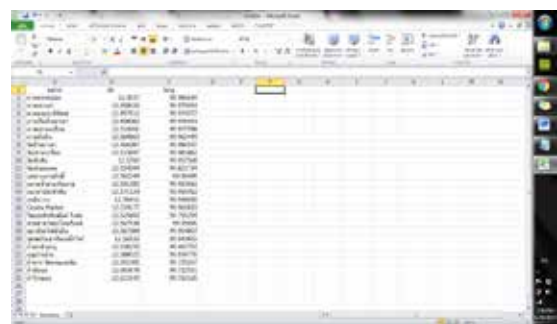


Figure 3 File format .CSV

จาก Figure 3 แสดงข้อมูลชื่อสถานที่ท่องเที่ยว ตำแหน่งละติจูด และ ตำแหน่งลองติจูด ในอำเภอ หัวหินในรูปแบบไฟล์สกุล .CSV



Figure 4 File format .TXT

จาก Figure 4 แสดงข้อมูลชื่อสถานที่ท่องเที่ยว ตำแหน่งละติจูด และ ตำแหน่งลองจิจูด ในอำเภอ หัวหินในรูปแบบไฟล์สกุล .TXT

ข้อมูลคุณลักษณะของแหล่งท่องเที่ยวชุมชน: องค์ประกอบของแหล่งท่องเที่ยวจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลายๆ ส่วนได้แก่ สิ่งดึงดูดในการท่องเที่ยว ทรัพยากรหรือสินมรดกทางการท่องเที่ยว เช่นธรรมชาติ ประวัติศาสตร์ ศิลปวัฒนธรรม หรือสิ่งเลียนแบบธรรมชาติที่มนุษย์สร้างขึ้น การคมนาคม ที่พัก ความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถดึงดูดใจ และสร้างแรงจูงใจให้นักท่องเที่ยวได้ โดยที่แรงจูงใจนั้นเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยว รวมทั้งยังเป็นความต้องการในการเติมเต็มทางด้านกายภาพ เช่น ความต้องการพักผ่อนทางร่างกาย หรือ ความต้องการในลักษณะอื่นๆ ที่ตอบสนองต่อความต้องการทางร่างกายเช่น เพื่อให้ได้ กินอาหารอร่อย เพื่อได้รับอากาศบริสุทธิ์ นอกจากนั้นการเกิดจินตนาการความรู้สึกอิสระซึ่งมีความคาดหวังที่สำคัญยิ่งของผู้ที่ตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวเพื่อการพักผ่อนนั้นได้รับจากความแตกต่างของสถานที่ท่องเที่ยวจากรูปแบบปกติในการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นปัจจัยตั้งต้นของความรู้สึก ผ่อนคลาย ความรู้สึกว่าได้พักผ่อน (McIntosh & Goeldner, 1986)⁵ องค์ประกอบในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งท่องเที่ยวจะแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ โดยการให้คะแนนจะให้ความสำคัญกับองค์ประกอบด้านศักยภาพในการดึงดูดใจด้านการท่องเที่ยวมากที่สุด เนื่องจากเป็นแรงดึงดูดใจสำคัญสำหรับให้นักท่องเที่ยวเข้าไปเที่ยวชมแหล่งท่องเที่ยว ส่วนองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการมีความสำคัญของคะแนนรองลงมา และองค์ประกอบด้านศักยภาพในการรองรับด้านการท่องเที่ยว มีความสำคัญ ของคะแนนน้อยที่สุด⁶

3. ประเมินแหล่งท่องเที่ยวชุมชน

ในการกำหนดระดับมาตรฐานคุณภาพแหล่งท่องเที่ยว นั้น จะนำคะแนนที่ได้เทียบกับระดับมาตรฐานที่

กำหนดไว้ ซึ่งระดับมาตรฐานแหล่งท่องเที่ยวจะแบ่งเป็นค่าคะแนน 81 ขึ้นไป อยู่ในระดับมาตรฐานดีเยี่ยม ค่าคะแนน 71-80 อยู่ในระดับมาตรฐานดีมาก ค่าคะแนน 61-70 อยู่ในระดับมาตรฐานดี ค่าคะแนน 51-60 อยู่ในระดับมาตรฐานปานกลาง และค่าคะแนน 50 หรือน้อยกว่า อยู่ในระดับมาตรฐานต่ำ⁵

4. จัดเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน

4.1 จัดกลุ่มแหล่งท่องเที่ยวชุมชน: จัดแบ่งแหล่งท่องเที่ยวชุมชนออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยวประเภทชายหาด, แหล่งท่องเที่ยวเพื่อันทนาการ, แหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก, แหล่งท่องเที่ยวประเภทถ้ำ, แหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์, แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม และแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

4.2 แบ่งรูปแบบของเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน:

จัดแบ่งรูปแบบของเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนออกเป็น 5 เส้นทางดังนี้

เส้นทางที่ 1 : เส้นทางท่องเที่ยวชายหาด

[Route 1: Beach Tourism Route]

เส้นทางที่ 2 : เส้นทางท่องเที่ยวเพื่อันทนาการและเชิงนิเวศ

[Route 2: Recreation and Ecology Tourism Route]

เส้นทางที่ 3 : เส้นทางท่องเที่ยวประเภทถ้ำและน้ำตก

[Route 3: Caves and Waterfalls Tourism Route]

เส้นทางที่ 4 : เส้นทางท่องเที่ยวประวัติศาสตร์

[Route 4: History Tourism Route]

เส้นทางที่ 5 : เส้นทางท่องเที่ยววัฒนธรรม

[Route 5: Cultural Tourism Route]

3.3 อัปโหลดภาพถ่ายสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชนที่เว็บไซต์ imgur.com

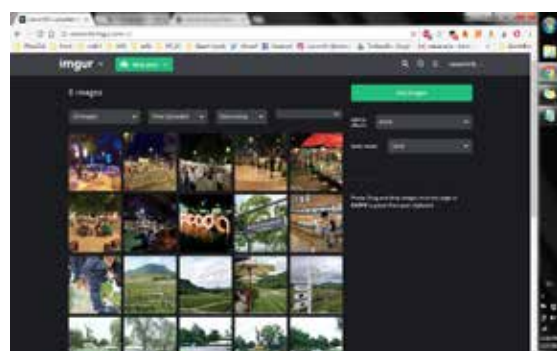


Figure 5 Upload Photo

จาก Figure 5 แสดงการอัปโหลดภาพถ่ายสถานที่ท่องเที่ยวสำหรับใช้งานร่วมกับแผนที่แหล่งท่องเที่ยวชุมชนใน

อำเภอหัวหิน

4. จัดทำแอปพลิเคชัน

นำเข้าข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในรูปแบบไฟล์ .CSV หรือ ไฟล์ .TXT ลงในโปรแกรม ArcGIS Online เพื่อระบุตำแหน่งและจัดทำแผนที่ ขึ้นต่อมาลงรายละเอียดกำหนดสัญลักษณ์ในการแสดงชั้นข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละประเภทที่ได้จัดกลุ่มแหล่งท่องเที่ยวในแผนที่ กำหนดชั้นข้อมูลในการแสดงข้อมูลตำแหน่งสถานที่และภาพถ่ายสถานที่ท่องเที่ยวชุมชนแต่ละแหล่ง ในอำเภอหัวหิน และใช้เป็นแผนที่ฐาน OpenStreetMap

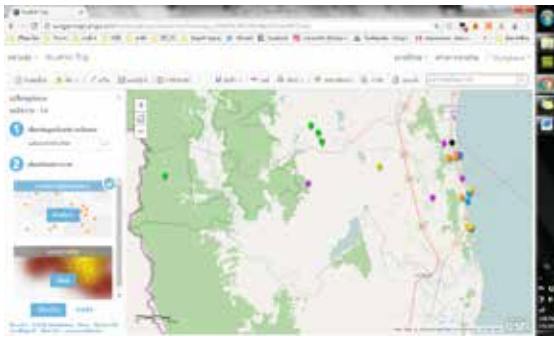


Figure 6 Import data into ArcGIS Online

จาก Figure 6 แสดงการนำเข้าและออกแบบแผนที่แหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหินทำการกำหนดสัญลักษณ์ในการแสดงผลข้อมูล

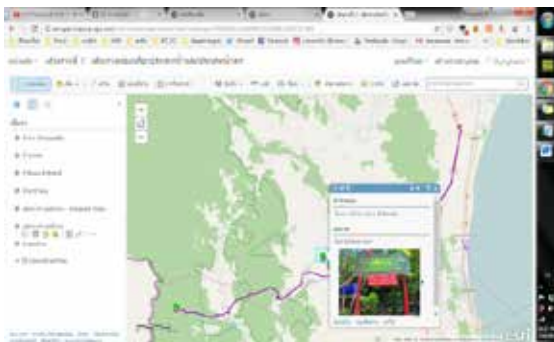


Figure 7 Plan a route

จาก Figure 7 แสดงการออกแบบแผนที่โดยแบ่งตามรูปแบบเส้นทางแหล่งท่องเที่ยวชุมชน ประเภทต่างๆ เพื่อทำการคำนวณระยะทางในการเดินทางและจัดลำดับสถานที่ที่เหมาะสมกับการเดินทางในเส้นทางแหล่งท่องเที่ยวประเภทนั้น

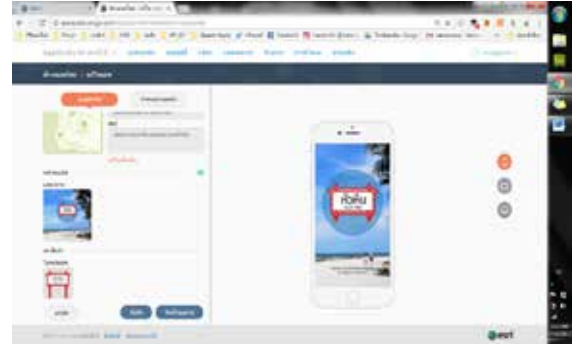


Figure 8 Design mobile application

จาก Figure 8 แสดงการพัฒนาแอปพลิเคชันแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน สำหรับใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Andriod)

6. ประเมินผลการใช้งานแอปพลิเคชัน (Evaluate the Application)

6.1 สร้างแบบประเมิน: กำหนดเกณฑ์ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเพื่อควบคุมการตอบแบบเรตติ้ง สเกล (Rating Scale) 5 Scales โดยแบบประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดที่ 1 แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ และชุดที่ 2 แบบประเมินสำหรับผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

6.2 วิเคราะห์คุณภาพแบบประเมิน: วัดความน่าเชื่อถือของแบบประเมิน โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟา (alpha-coefficient) ของครอนบาค (Cronbach)

6.3 ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 400 คน: ใช้วิธีการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง นักเรียน นักศึกษา ครู อาจารย์ พนักงานบริษัท เจ้าหน้าที่หน่วยงาน จำนวน 400 คน

6.4 วิเคราะห์ผลการประเมิน: กำหนดมาตราส่วนการประมาณค่าแบบ Likert 5 ระดับ⁷ และวิเคราะห์แบบประเมินด้วยโปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences)

ผลการวิจัย

การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แสดงผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการออกแบบแอปพลิเคชัน: แอปพลิเคชันแหล่งท่องเที่ยวในหัวหิน



Figure 9 Travel application in Hua Hin

จาก Figure 9 แสดงการเข้าใช้งานแอปพลิเคชันแหล่งท่องเที่ยวในหัวหินสำหรับใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Andriod)

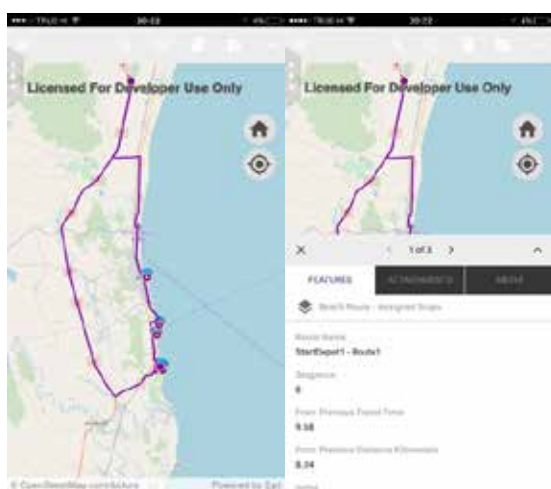


Figure 10 Travel route on the beach

จาก Figure 10 แสดงผลหน้าเส้นทางท่องเที่ยวประเภทชายหาด ประกอบไปด้วยชายหาด 5 แห่ง คือ หาดหัวหิน หาดเขาตะเกียบ หาดสวนสน หาดเขาเต่า และ หาดทรายน้อย โดยผ่านการวิเคราะห์เส้นทางเพื่อจัดลำดับการเดินทางไปแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ เมื่อคลิกเลือกสถานที่ที่ต้องการจะแสดงข้อมูลลำดับสถานที่ เวลา และระยะทาง ที่ใช้ในการเดินทางจากจุดก่อนหน้ามายังสถานที่ที่เลือก ใช้เวลากี่นาที ระยะทางกี่กิโลเมตร

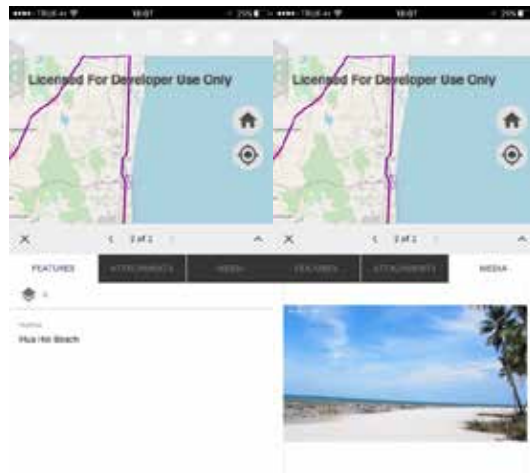


Figure 11 Route description

จาก Figure 11 แสดงผลหน้าเส้นทางท่องเที่ยวประเภทชายหาด แสดงรายละเอียดระยะเวลา และ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางไปแหล่งท่องเที่ยวประเภทชายหาด ใช้ระยะเวลาทั้งหมดกี่นาที มีระยะทางทั้งหมดกี่กิโลเมตร และแสดงภาพบรรยากาศแหล่งท่องเที่ยววนั้นๆ

2. ผลการประเมินการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม มีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนของผู้เชี่ยวชาญ: สรุปค่าเฉลี่ยด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.65 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ซึ่งรายการประเมินการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาต่อการใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.80 สรุปค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยที่ 4.63 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ซึ่งรายการประเมินสีพื้นหลังและสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่านมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.80 สรุปผลการประเมินด้านด้านความปลอดภัยของระบบของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยที่ 4.63 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ซึ่งรายการประเมินการตรวจสอบสิทธิ์ก่อนการใช้งานของผู้ใช้ระบบในระดับต่างๆ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.70 และผลการประเมินด้านประโยชน์ของการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้ 100% (สัดส่วน 10:0)

- ส่วนของผู้ใช้งาน: สรุปค่าเฉลี่ยด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.57 อยู่ในระดับคุณภาพดี ซึ่งรายการประเมินการเรียกรายงานสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.60 สรุปค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบของผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.60 อยู่ในระดับคุณภาพดี ซึ่งรายการประเมินสีพื้นหลังและสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่านมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.71 และผลการประเมินด้านประโยชน์ของการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้ 100% (สัดส่วน 400:0)

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สามารถดำเนินการแล้วเสร็จตรงตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

สรุปผลการวิจัย

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการท่องเที่ยว ทำให้การใช้งานด้านการท่องเที่ยวเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยคุณสมบัติของระบบ GIS ที่สามารถรวบรวมวิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดี ระบุถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงอยู่บนพื้นผิวโลก ได้แม่นยำและรวดเร็ว ทำให้ระบบการท่องเที่ยวเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถระบุตำแหน่งการเดินทาง ค้นหาสถานที่บอกเส้นทางไปยังจุดหมายที่ต้องการได้ ช่วยวางแผนการเดินทางในการเดินทาง กำหนดระยะเวลาเดินทาง รวมไปถึงการแบ่งปันภาพการเดินทางผ่าน ช่องทางออนไลน์ต่างๆ และยังสามารถพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์นี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ดังนี้

- เพื่อสำรวจแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในพื้นที่ และประเมินแหล่งท่องเที่ยวชุมชนตามเกณฑ์การประเมินของกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา ทำให้ทราบถึงคุณลักษณะเชิงพื้นที่ของแหล่งท่องเที่ยวเหล่านั้น เพื่อนำข้อมูลเชิงพื้นที่ไปใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างและวางแผนการบริหารจัดการการท่องเที่ยวแบบบูรณาการต่อไป⁹ และยังสามารถจัดเส้นทางท่องเที่ยวแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหินโดยการวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทาง ทำให้ผู้ใช้งานค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวชุมชนโดยใช้ระยะเวลาและระยะเวลาสั้นที่สุด และรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจัดการการท่องเที่ยวชุมชนในจังหวัดชลบุรี¹⁰ ที่สามารถนำเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปแหล่งท่องเที่ยวชุมชน

- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาข้อมูลและที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยวชุมชนด้วยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวชุมชนได้อย่างสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาในการเสียเวลากับการเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวชุมชนต่างๆ ในอำเภอหัวหิน ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านั้นพบว่า มีการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อพัฒนาการให้บริการสารสนเทศท้องถิ่นด้วยการแสดงข้อมูลสารสนเทศท้องถิ่น พัฒนาแผนที่สารสนเทศเพื่อแสดงจุดที่ตั้ง ภาพและคำบรรยายแบบย่อของสถานที่¹⁰ การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การเข้าถึงแหล่งผลิตภัณฑ์โอท็อปและการเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวสำคัญในอำเภอเมืองและอำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี¹¹ การนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาใช้ในการระบุตำแหน่งของสถานที่ และประเมินความเหมาะสมของชั้นข้อมูลในพื้นที่ตามเกณฑ์การประเมิน เพื่อใช้ค้นหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาและส่งเสริมให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์¹² แต่ยังคงพบว่าการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวโดยวิเคราะห์จากระยะทางและระยะเวลา มีข้อจำกัดในการแสดงผลแบบออนไลน์และการแสดงผลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่

- เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์สำหรับค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมของแหล่งท่องเที่ยวชุมชนในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลหรือรูปภาพของแหล่งท่องเที่ยว และเส้นทางท่องเที่ยวในแต่ละตำแหน่งพร้อมกันผ่านการแสดงผลบนหน้าจอของแผนที่ออนไลน์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการท่องเที่ยวประเภทอื่นได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- LIU, Yaping; LI, Yinchang; PARKPIAN, Parnpree. Inbound tourism in Thailand: Market form and scale differentiation in ASEAN source countries. *Tourism Management*, 2018, 64: 22-36.
- ทริสต์เพื่อการลงทุนในอสังหาริมทรัพย์ แกรนด์ โฮสพิทาลิตี้. ภาพรวมของภาวะอุตสาหกรรมของธุรกิจการจัดหาผลประโยชน์จากอสังหาริมทรัพย์ที่ลงทุน. [ออนไลน์] เข้า

- ถึงได้จาก: <http://market.sec.or.th/public/ipos/IPOSGet-File.aspx>. 31 กรกฎาคม 2560.
4. กลุ่มวิจัยและแผนเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา. รายงานภาวะเศรษฐกิจการท่องเที่ยว. กลุ่มวิจัยและแผนเศรษฐกิจการท่องเที่ยว. กองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. 2559; 6: ตุลาคม - ธันวาคม.
 5. Christian Fox .The Value of Story Mapping for Coastal Managers An Introduction to the Story Map Journal Rhode Island's Ocean SAMP. UNIVERSITY OF RHODE ISLAND, 2016, pp:1-9.
 6. ชิตวร ประดิษฐ์รอด. ปัจจัยองค์ประกอบของแหล่งท่องเที่ยว และปัจจัยแรงจูงใจในการท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกท่องเที่ยวปริมณฑลของคนวัยทำงานในเขตกรุงเทพมหานคร. การค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ; 2559.
 7. กรมการท่องเที่ยว. มาตรฐานแหล่งท่องเที่ยว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://newdot2.samartmultimedia.com/home/listcontent/11/7/83>. 12 มิถุนายน 2560.
 8. Likert, Rensis. The Method of Constructing and Attitude Scale. Reading in Attitude Theory and Measurement. Fishbein, Martin, Ed. New York: Wiley & Son. 1967; p: 90-95.
 9. LEE, Sang-Hyun, et al. Evaluating spatial centrality for integrated tourism management in rural areas using GIS and network analysis. *Tourism Management*, 2013, 34: 14-24.
 10. ณรงค์ พลธิ์รักษ์. ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อการจัดการการท่องเที่ยวชุมชนในจังหวัดชลบุรี. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 2560; 36(2): เมษายน – มิถุนายน: 235-248.
 11. ชนิษฐา ทุมมากรณ์. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อพัฒนาการให้บริการสารสนเทศท้องถิ่น. *PULINET Journal*. 2560; 3(1): มกราคม – เมษายน: 1-8.
 12. พุฒพัฒน์ ค้าวชิระพิทักษ์, ทรงพลธนฤทธิ์ มฤครัฐอินแปลง, มนูญญา ค้าวชิระพิทักษ์. การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการพัฒนาเครือข่าย OTOP และ แหล่งท่องเที่ยวในเขตริมหน้า อำเภอเมืองและอำเภอสสามโคก จังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิจัยและพัฒนา ไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 2559; 11(2): พฤษภาคม – สิงหาคม: 1-11.

การหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่สำหรับการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร

Local Descriptors Approach for Pornographic Image Classification

โอฬาริก สุรินตะ¹

Olarik Surinta¹

Received: 7 October 2017 ; Accepted: 7 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่เพื่อใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร โดยคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ใช้เพื่อคำนวณหาข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ ประกอบด้วย วิธี Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) และ Histogram of Oriented Gradients (HOG) โดยข้อมูลเอกลักษณ์ที่ผ่านการคำนวณจะถูกส่งไปยังขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตำแหน่ง (KNN) และวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) เพื่อใช้สำหรับจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลชุด TI-UNRAM เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีทั้งหมด จากการทดลองพบว่า วิธี HOG และวิธี SIFT เมื่อใช้งานร่วมกับวิธี SVM ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เมื่อนำไปเทียบกับวิธี KNN และวิธีการประมวลผลภาพ ดังนั้น วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับวิธี SVM สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร

คำสำคัญ: รูปภาพลามกอนาจาร การจัดหมวดหมู่รูปภาพ ขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด k ตำแหน่ง ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน คุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่

Abstract

In this paper, we propose a local descriptors approach to classify pornographic images. Two local descriptors including the scale-invariant feature transform (SIFT) and the histogram of oriented gradients (HOG) are computed feature vectors from pornographic images. The extracted features are supplied to the K-Nearest Neighbor Algorithm and Support Vector Machine for pornographic image classification. We have evaluated all different methods on the TI-UNRAM dataset. The results show that the HOG and the SIFT combined with the SVM significantly outperform the other methods, including KNN algorithm and image processing technique. Thus, the local descriptors approach can be combined with the SVM for pornographic image classification in order to obtain the effective classification performance.

Keywords: Ponographic Image, Image Classification, k-Nearest Neighbors Algorithm, Support Vector Machine, Local Descriptor

บทนำ

การพัฒนาทางด้านสื่อดิจิทัล (Digital Media) ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดข้อมูลประเภทข้อความ (Textual Information) และข้อมูลที่เป็นเสียง ภาพ และวิดีโอ (Non-Textual Information) จำนวนมาก ซึ่งข้อมูลอาจถูกเผยแพร่ผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยอาจไม่ผ่านการคัดกรอง เป็นผลทำให้เกิดการ

เผยแพร่ข้อมูลอันเป็นเท็จ หรือการเผยแพร่สื่อลามกอนาจาร เป็นต้น ซึ่งหากเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ Non-Textual Information อาจยากต่อการคัดกรอง อาจก่อให้เกิดปัญหาทางสังคมตามมา โดยเฉพาะต่อเยาวชนไทย¹

หลายประเทศให้ความสำคัญต่อการป้องกันการกระทำที่ผิดกฎหมาย เช่น ประเทศไทยได้ให้กระทรวงดิจิทัลเพื่อ

¹ กลุ่มระบบอิสระอัจฉริยะ (IAS) ห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนต์, ระบบอัจฉริยะและการจำลองสถานการณ์ (MISL), คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Intelligent Autonomous Systems (IAS) group, Multi-agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL),

Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: olarik.s@msu.ac.th

เศรษฐกิจและสังคมทำหน้าที่คัดกรองและป้องกันเว็บไซต์ที่เผยแพร่สื่อดิจิทัลที่มีปัญหา เช่นเว็บไซต์ลามกอนาจาร เว็บไซต์ที่ขายของผิดกฎหมาย และเว็บไซต์ที่มีเรื่องของการพนันเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นต้น ซึ่งเป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้เยาวชนสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ผิดกฎหมาย ซึ่งทางกระทรวงฯ ได้จัดทำระบบเพื่อป้องกันการเข้าถึงเว็บไซต์ที่มีปัญหา แต่ทั้งนี้ยังเกิดช่องโหว่ให้แฮกเกอร์สามารถเจาะเข้าระบบ หรือแก้ไขทำให้สามารถเข้าถึงเว็บไซต์ที่มีปัญหาเหล่านั้น นักวิจัยได้ค้นคว้าวิธีการป้องกันการเข้าถึงเว็บไซต์ที่ผิดกฎหมาย ประกอบด้วย การตรวจสอบเนื้อหาลามกอนาจารที่อยู่ในรูปแบบของข้อความ^{2,3} และการตรวจสอบเนื้อหาลามกอนาจารที่อยู่ในรูปแบบของรูปภาพหรือวิดีโอ^{4,5}

การตรวจสอบเนื้อหาที่ปรากฏอยู่ในเว็บไซต์เป็นการตรวจสอบข้อมูลประเภทข้อความเป็นหลัก เช่น วิธีการคัดกรองเว็บไซต์อนาจารที่นำเสนอในงานวิจัย⁶ ได้นำเนื้อหาที่เป็นข้อความ (Content-Based) ที่ปรากฏอยู่ในเว็บไซต์มาใช้เป็นข้อมูลเพื่อช่วยในการจัดหมวดหมู่ (Classification) ของเว็บไซต์ โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ประกอบด้วย วิธี Support Vector Machine (SVM) และวิธี Naive Bayes เข้ามาช่วยในการจัดหมวดหมู่ของเว็บไซต์ โดยเว็บไซต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบประกอบด้วยเว็บไซต์ที่แสดงเนื้อหาภาษาไทย และเว็บไซต์ต่างประเทศที่แสดงเนื้อหาภาษาอังกฤษ จากการทดลองพบว่า ข้อมูลที่มีเนื้อหาภาษาไทยมีอัตราการรู้จำมากกว่า %95 และข้อมูลที่เป็นภาษาอังกฤษมีอัตราการรู้จำมากกว่า %98

การตรวจสอบเนื้อหาของเว็บไซต์โดยการให้คะแนน (Rating)⁷ และวิเคราะห์โครงสร้างของเว็บไซต์โดยให้ความสำคัญกับแท็ก (Tag) ของโปรแกรมภาษา HTML เช่น Tag ในส่วนของ Title, Body และ Link โดยนำข้อมูลที่อยู่ใน HTML Tags มาวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายที่มีความหมาย (Semantic Network) มาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ ดังนั้น คำที่มีความหมายที่ไปในทิศทางเดียวกัน เช่น คำศัพท์ «ศึกษา» จะถูกนำมา สร้างเป็น Semantic Network ซึ่งโครงข่ายสามารถเชื่อมโยงคำศัพท์ที่อยู่ภายใต้โครงข่ายเดียวกันเข้าด้วยกัน เช่น เรียน ดิว ค้นคว้า สืบค้น และเล่าเรียน เป็นต้น เมื่อนำข้อมูล HTML Tags ไปวิเคราะห์ ระบบจะกำหนด Rating ให้กับเว็บไซต์ ผลการวิจัยได้กำหนด Rating ของเว็บไซต์ออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย เว็บไซต์อนาจาร เว็บไซต์ที่ไม่อนาจาร และเว็บไซต์ที่มีคำอนาจารแต่ไม่ใช่เว็บอนาจาร โดยมีผลการวัดประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) ร้อยละ 97

บางเว็บไซต์อาจเป็นเว็บไซต์ที่ไม่ได้นั้นเนื้อหาที่เป็นข้อความ แต่อาจเน้นที่นำเสนอแต่เพียงรูปภาพ เท่านั้น ดังนั้น

ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะใช้วิธีการประมวลผล (Image Processing) ภาพร่วมกับวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักร เพื่อช่วยในการตรวจสอบรูปภาพที่เป็นรูปลามกอนาจาร

การตรวจหารูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

การตรวจหาภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการ Image Processing สามารถทำได้โดยการหาพื้นที่ที่ให้ความสนใจ (Region of Interest: ROI) ที่เป็นสีผิวของมนุษย์ (Skin Region)⁸ โดยใช้ค่าสีที่แตกต่างกันออกไปเช่น RGB, YcbCr และ HSV⁹ เป็นต้น เมื่อกำหนดหาพื้นที่ ROI ที่ต้องการ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ไปคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ ROI และพื้นที่เฉพาะในส่วนที่เป็นพื้นผิวที่อยู่ภายในพื้นที่ ROI ที่นำมาพิจารณา หากอัตราส่วนที่คำนวณได้มากกว่าค่าที่ต้องการ (ROI Acceptable Rate) ภาพนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นภาพลามกอนาจาร (Pornographic Image)

งานวิจัยของ Marcial-Basilio et al.¹⁰ นำเสนอวิธีการตรวจจับ (Detect) ภาพลามกอนาจาร โดยการแปลงค่าสีจาก RGB ให้เป็นค่าสี YCbCr หรือ HSV เพื่อค้นหา Skin Region เมื่อค้นพบจึงนำพื้นที่นั้นไปคำนวณหาปริมาณของพิกเซลที่ปรากฏ โดยคำนวณจากจำนวนของพิกเซลที่เป็นสีผิวและจำนวนพิกเซลทั้งหมดของรูปภาพ หากผลลัพธ์ที่ได้มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ภาพนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นภาพลามกอนาจาร จากการทดสอบพบว่าค่าสี YCbCr ให้ผลลัพธ์ดีกว่าค่าสี HSV เพียงเล็กน้อย โดยค่าสี YCbCr และ HSV มีอัตราการรู้จำอยู่ที่ %68.87 และ %68.25 ตามลำดับ

Rattanee & Chiracharit¹¹ นำเสนอวิธีการตรวจหาภาพเปลือยโดยไม่ใช้วิธีการรู้จำ (Recognition) ซึ่งเริ่มจากการค้นหาใบหน้าของมนุษย์ (Face Detection) โดยใช้วิธีการของ Viola & Jones¹² จากนั้นจึงหาพื้นที่ ROI ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นส่วนของร่างกาย (Body) ขั้นตอนนี้เรียกว่า การค้นหาพื้นที่ที่เป็นสีผิวของมนุษย์ (Skin Detection) โดยสังเกตจากสีผิวของมนุษย์ (Human Skin) เป็นหลัก ดังนั้น ภาพที่ใช้จึงถูกเปลี่ยนค่าสีจาก RGB ให้เป็นค่าสี HSV ที่ประกอบไปด้วยค่าความเข้ม/จางของสี (Hue) ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) และค่าความสว่าง (Brightness)

เมื่อเปลี่ยนค่าสีให้อยู่ในค่าสีแบบ HSV ทำให้สามารถกำหนดค่าสีที่เหมาะสมกับสีผิวของมนุษย์ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ไปผ่านกระบวนการ Morphological ด้วยวิธีการ Dilation และ Erosion เพื่อระบุขอบเขตของพื้นที่ ROI ให้ชัดเจน จากนั้นจึงนำพื้นที่ ROI ไปสร้างเป็นฮิสโตแกรม (Histogram) เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของค่าสีค่า (สีค่าถูกกำหนดให้เป็นบริเวณ

ที่ไม่เป็นสีผิวของมนุษย์) หากพื้นที่ ROI ที่นำมาพิจารณานั้น มีค่าความหนาแน่นของค่าสีต่ำมาก แสดงว่าภาพนั้นไม่ได้เป็น ภาพลามก รูปภาพที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปแบบของ JPG และ PNG โดยรูปภาพจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาด 200x200 พิกเซล ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 40 รูปภาพ ซึ่งเป็นรูปภาพลามกอนาจาร 30 รูปภาพ และรูปลามกอนาจาร 10 รูปภาพ จากการทดลอง ปรากฏว่ามีอัตราความถูกต้อง 96.22% ทั้งนี้ ในการทดสอบจะต้องปรากฏใบหน้าอยู่ใน รูปภาพเท่านั้น

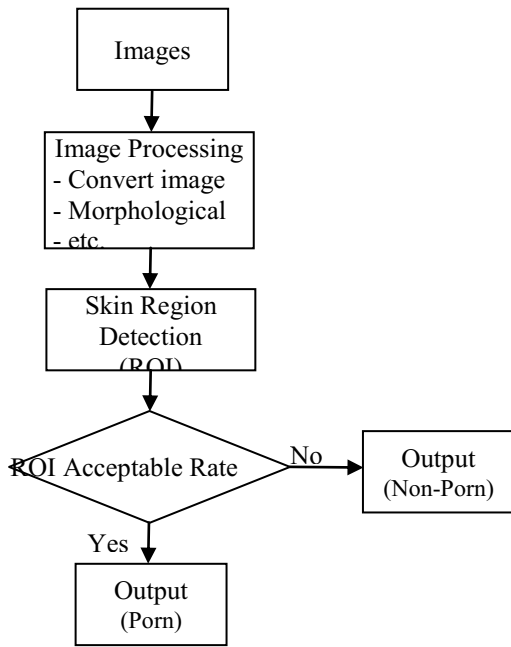


Figure 1 The illustration of the pornographic image classification in image processing scheme

ขั้นตอนโดยสังเขปของการตรวจหาภาพลามกอนาจารด้วยวิธี Image Processing แสดงดัง Figure 1 การจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักร

การจัดหมวดหมู่ภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร

สามารถทำได้หลายวิธี เช่น กรณีภาพที่นำมาวิเคราะห์ไม่ได้มีเพียงภาพบุคคลเพียงอย่างเดียว อาจประกอบไปด้วยทิวทัศน์ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้น วิธีนี้จึงต้องหาพื้นที่ ROI ที่ใช้เป็นตัวแทนของมนุษย์โดยพิจารณาจากสีผิวเป็นหลัก และหากเป็นกรณีที่ภาพนั้นเป็นภาพบุคคลเพียงอย่างเดียว วิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องหาพื้นที่ ROI แต่สามารถนำภาพทั้งภาพเป็นตัวแทนของพื้นที่ ROI

เมื่อได้พื้นที่ ROI จากนั้นจึงคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษ (Feature Extraction) ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันออกไป เช่น วิธี PCA¹³, Bag of Visual Words (BOW)¹⁴, Gray Level Co-Matrix (GLCM)⁸ และ Local Descriptor (เช่น Scale-Invariant Feature Transform: SIFT และ Speeded UP Robust Features: SURF)¹⁵ เป็นต้น เพื่อคำนวณหาข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ (Feature Vector) โดยข้อมูลนั้นจะถูกนำไปประมวลผลด้วยวิธี Machine Learning เช่น KNN¹⁵, Multi-layer Perceptron (MLP) และ SVM^{17,18} เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับใช้ในการพยากรณ์ (Predict) หรือจัดหมวดหมู่รูปภาพที่เป็นภาพลามกอนาจาร ภาพรวมของวิธีการประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร แสดงดัง Figure 2

งานวิจัยของ Karavarsamis et al.¹⁹ ได้นำเสนอการรู้จำรูปภาพลามกอนาจาร ซึ่งเริ่มต้นด้วยการหาพื้นที่ผิวมนุษย์ซึ่งเรียกว่าพื้นที่ ROI จากนั้นจึงนำพื้นที่ ROI ไปจัดหมวดหมู่ด้วยวิธี Random Forest Classification ผลลัพธ์จากการจัดหมวดหมู่ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มลามก (Porn) และกลุ่มไม่ลามก (Benign) งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ 1) กลุ่ม Porn และ กลุ่ม Benign 2) กลุ่ม Porn-Scene และกลุ่ม Bikini และ 3) กลุ่ม Skin และกลุ่ม Non-Skin โดยใช้ Correct Classification Rate (CCR) ในการวัดความถูกต้อง ซึ่งมีผลลัพธ์ที่สูงกว่า %87 เมื่อเทียบกับวิธี POESIA ซึ่งเป็น Open-Source Project ให้ผลลัพธ์ %82.4

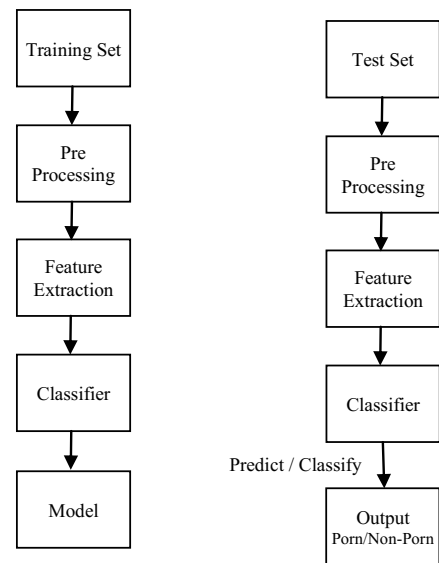


Figure 2 The combination of image processing and machine learning technique in the pornographic image classification

Wijaya et al.¹³ นำเสนอวิธีการหาความน่าจะเป็นของสีผิวมนุษย์ (Skin Probability) โดยใช้วิธีการ Histogram Equalization บนค่าสีแบบ YCbCr เพื่อใช้สำหรับตรวจหาพื้นที่ ROI ที่เป็นสีผิวมนุษย์ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ที่เป็นสีผิวมนุษย์ไปผ่านกระบวนการ Principal Component Analysis (PCA) เพื่อสร้างคุณลักษณะพิเศษสำหรับนำไปใช้ในการรู้จำ โดยใช้วิธี KNN ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร มีความถูกต้อง %90.13

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอวิธีการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารโดยใช้วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ (Local Descriptor) เนื่องจากอัลกอริทึมของวิธี Local Descriptor นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้คำนวณหาทิศทาง (Orientation) ของ Gradient ที่เกิดขึ้นภายในรูปภาพ โดยใช้วิธีการเช่น Gaussian Filter หรือ Convolution Kernel ในการคำนวณหาขอบภาพ จากนั้นภาพจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน (Block) ตามต้องการเพื่อนำไปหาค่า Orientation ต่อไป จากนั้นนำคุณลักษณะพิเศษและป้ายกำกับ (Label) ทั้งหมดจากข้อมูลชุดเรียนรู้ไปคำนวณด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM)²⁰ และวิธี K-Nearest neighbor (KNN)²¹ เพื่อสร้าง Model สำหรับนำไปใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพ

นอกจากนี้วิธี Local Descriptor ประกอบด้วยวิธี Scale-Invariant Features Transform (SIFT)²² และวิธี Histogram of Oriented Gradients (HOG)²³ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ถูกใช้เพื่อสร้างคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพและนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธี SVM โดยใช้ Kernel แบบ Radial Basis Function (RBF) และวิธี KNN โดยใช้การวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance)²⁴ ซึ่งใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM¹³ ในการทดสอบประสิทธิภาพ

วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่

คุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย

Scale-Invariant Features Transform

วิธี Scale-Invariant Features Transform (SIFT) ถูกนำเสนอโดย Lowe²² ซึ่งวิธีการของ SIFT นั้นจะคำนวณหาจุดสำคัญ (Keypoint) จากรูปภาพทั้งภาพ จากนั้นจึงนำจุด Keypoint แต่ละจุดมาคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษ โดยคุณลักษณะพิเศษที่ได้จากวิธี SIFT จะมีทั้งสิ้น 128 จำนวน ซึ่งคำนวณได้จากการนำพื้นที่บริเวณรอบ ๆ จุด Keypoint มาแบ่งออกเป็น 4x4 พื้นที่ (Block) เท่า ๆ กัน และจึงนำแต่ละ Block ไปคำนวณหาค่า Gradient Magnitude และค่า Gradient

Orientation จากนั้นค่า Gradient Orientation จะถูกจัดเก็บลงใน Orientation Bin ที่กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 8 ช่อง (Bin) คุณลักษณะพิเศษที่คำนวณได้จาก Keypoint จำนวน 1 จุด จะมี (4x4x8) 128 จำนวน ดังนั้น หากรูปภาพหนึ่งรูปมีจำนวน Keypoint ทั้งหมด 4 จุด คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณจะมีทั้งสิ้น 512 จำนวน

ทั้งนี้ เนื่องจากการคำนวณหาจุด Keypoint ในแต่ละรูปภาพนั้นอาจปรากฏจำนวนของ Keypoint ไม่เท่ากัน งานวิจัยฉบับนี้จึงได้แบ่งรูปภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย (Sub-region) ซึ่งเรียกว่า Block ที่มีขนาด $(n \times n)$ และนำแต่ละ Block ไปคำนวณเพื่อหาค่าคุณลักษณะพิเศษ ในการคำนวณรูปภาพจะถูกนำมา Convolution โดยใช้ Gaussian Kernel ในการคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \quad (1)$$

โดย $I(x, y)$ คือ ค่าความสว่าง (Intensity) ของแต่ละพิกเซล ณ ตำแหน่ง x, y ของรูปภาพ

$G(x, y, \sigma)$ คือ Gaussian kernel โดย

กำหนดให้ σ เป็นขนาดความ

กว้างของ Gaussian Kernel

คำนวณค่า G_x และ G_y ดังสมการต่อไปนี้

$$G_x = L(x + 1, y, \sigma) - f(x - 1, y, \sigma) \quad (2)$$

$$G_y = L(x, y + 1, \sigma) - f(x, y - 1, \sigma) \quad (3)$$

คำนวณค่า Gradient Magnitude $M(x, y)$

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

คำนวณค่า Gradient Orientation $\theta(x, y)$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_y} \quad (5)$$

จากนั้นจึงสร้าง Histogram โดยคำนวณจากความถี่ของค่า Gradient Orientation β

Histogram of Oriented Gradients

Dalal & Triggs²³ ได้นำเสนอวิธีการการหาคุณลักษณะพิเศษที่ชื่อ Histogram of Oriented Gradients (HOG) เพื่อนำไปใช้ในการตรวจจับภาพบุคคล (Human Detection) โดย HOG เป็นวิธีการในการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษจาก

รูปภาพ จากนั้นคุณลักษณะพิเศษจะถูกส่งไปคำนวณด้วยวิธี SVM แบบLiner Kernel ในการสร้าง Model และถูกนำไปใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่ของบุคคล (Person / Non-person Classification) การคำนวณด้วยวิธี HOG นั้น รูปภาพจะถูกแบ่งออกเป็น Block ขนาด $n \times n$ จากนั้นคำนวณเพื่อหาค่า Gradient ในแนวนอน G_x และแนวตั้ง G_y โดยคำนวณในทุกตำแหน่ง (x, y) ของรูปภาพ การแปลงภาพให้เป็นรูปภาพแบบ Gradient (Image Gradient) สามารถใช้วิธี เช่น Sobel และ Prewitt ในการคำนวณ ดังสมการที่ 6-7

$$G_x = f(x + 1, y) - f(x - 1, y) \tag{6}$$

$$G_y = f(x, y + 1) - f(x, y - 1) \tag{7}$$

โดย $f(x, y)$ คือค่าความสว่าง (Intensity) ณ

ตำแหน่ง (x, y)

จากนั้นคำนวณเพื่อหาค่า Gradient Magnitude และ Orientation (ดังสมการที่ 4 และ 5) จากนั้นจึงสร้าง Histogram โดยคำนวณจากค่าของค่า Gradient Orientation ที่ปรากฏในแต่ละ Block โดยค่า Gradient Orientation จะถูกจัดเก็บลงไป Orientation bin^Bตามขนาดที่ได้กำหนดไว้

คุณลักษณะพิเศษที่ได้จะถูกนำไป Normalized โดยใช้วิธีการ L2 Block Normalization²⁵ ดังสมการที่ 8

$$V_k = \frac{V_k}{\sqrt{\|V_k\|^2 + \epsilon}} \tag{8}$$

โดย V_k คือ Histogram ที่ได้จาก Block ทั้งหมด

ϵ คือ ค่าที่ใกล้จำนวน 0

V_k คือ ค่าคุณลักษณะพิเศษของ HOG ที่ผ่านการ Normalized

วิธีการที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร

การจัดหมวดหมู่ของรูปภาพที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้มีทั้งสิ้น 2 วิธี ประกอบด้วย

K-Nearest Neighbors Algorithm

วิธี K-Nearest neighbors (KNN) หรือวิธีสำหรับการค้นหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุด^{13,21} เป็นเทคนิคหนึ่งของ Machine Learning ที่ไม่ต้องสร้าง Model เพื่อนำมาใช้สำหรับจัดหมวดหมู่ข้อมูล แต่ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาคำนวณหาค่าระยะทาง (Distance Value) เพื่อเปรียบเทียบระยะทางระหว่างข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ y และข้อมูลทั้งหมด x_i ดังนั้นข้อมูลที่มี Distance Value ที่น้อยที่สุดจำนวน k ข้อมูล จึงถูก

นำมาพิจารณา และในข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน k ข้อมูลนั้น หากมีสมาชิกของกลุ่ม C_i ใดมากที่สุด ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ y จะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มนั้น

หากกำหนดให้ $k = 3$ ดังนั้น Distance Value ที่น้อยที่สุดทั้งสิ้น 3 ค่าจะถูกนำมาพิจารณา หากข้อมูลที่มี Distance Value ทั้งสิ้น 3 จำนวนอยู่ในกลุ่ม ดังต่อไปนี้ $d = \{C_1, C_1, C_2\}$ ดังนั้น ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่จะถูกกำหนดให้เป็น C_1 เนื่องจากมีจำนวนที่ปรากฏมากที่สุด

การคำนวณ Distance Value ด้วยการหาระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 9

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \tag{9}$$

โดยที่ N คือ จำนวนของคุณลักษณะพิเศษ (Dimensions) ของข้อมูล

x, y คือ ข้อมูลที่อยู่ใน Training Set และ y

คือ ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่

จากนั้นนำ Distance Value $d(x, y)$ ที่ได้ทั้งหมดไปเพื่อ Majority Vote ดังนั้นกลุ่ม C_k ของข้อมูลที่ปรากฏบ่อยที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของ KNN ดังสมการที่ 10

$$y(d_i) = \operatorname{argmax}_k \sum_{x_j \in KNN} S(d_i, x_j) y(x_j, c_k) \tag{10}$$

โดยที่ d_i คือ ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่

x_j คือ ข้อมูลที่อยู่ใน Training set ลำดับที่ j

$S(d_i, x_j)$ คือ ฟังก์ชันที่ใช้หาค่าความ

ใกล้เคียง (Similarity Function)

ระหว่าง d_i และ x_j

Support Vector Machine

Vapnik²⁰ ได้คิดค้นวิธี Support Vector Machine (SVM) ในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งเป็นวิธีการจัดหมวดหมู่ที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องแม่นยำ นักวิจัยจึงนำไปช่วยแก้ไขปัญหาทางด้าน Classification ได้แก่ Dalal & Triggs²³ ได้นำ linear SVM ไปใช้เพื่อตรวจหาบุคคล (Human Detection) จากวิดีโอ และงานวิจัยของ Kermorvant & Louradour ได้นำไปใช้เพื่อจัดหมวดหมู่ของข้อความในจดหมาย (Text Classification)²⁶ เป็นต้น

อัลกอริทึมของ SVM ทำหน้าที่ในการหาเส้นแบ่ง (Hyperplane) ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ที่มีระยะห่าง (Margin) ระหว่างข้อมูล (Training Points) กับ Hyperplane มากที่สุด

โดยที่ Training Points ที่เข้าใกล้เส้น Hyperplane จะถูกเรียกว่า Support Vectors แรกเริ่ม SVM ถูกออกแบบมาเพื่อใช้จัดหมวดหมู่ข้อมูลเฉพาะที่เป็น 2 กลุ่ม (two-class Classification) โดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Model) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยฟังก์ชันที่ใช้สำหรับตัดสินใจในการแบ่งข้อมูลคุณลักษณะพิเศษ (Feature Vector) x คือ

$$f(x) = \text{sign}(w^T x + b) \tag{11}$$

โดย w คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Weight Vector)

b คือ ค่าไบแอส (Bias)

ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ w และ b นั้น SVM จะคำนวณเพื่อหาค่า Cost Function ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการต่อไปนี้

$$J(w, \xi) = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^n \xi_i \tag{12}$$

ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัด

$$w^T x_i + b \geq 1 - \xi_i \text{ ในกรณี } y_i = +1$$

และ

$$w^T x_i + b \leq 1 + \xi_i \text{ ในกรณี } y_i = -1$$

โดย C คือ ค่าคงที่ที่ใช้สำหรับกำหนดค่าความผิดพลาดในการแบ่งกลุ่มข้อมูล

ξ คือ Slack Variable ที่ใช้วัดค่าความผิดพลาดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่เหมาะสม²⁷

ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเส้น Hyperplane สามารถกำหนดได้โดย $w^T x + b = 0$ ซึ่งจะทำหน้าที่แบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างเส้น Hyperplane มากที่สุด โดยกำหนดกลุ่ม Positive ได้จาก $w^T x + b = +1$ และกลุ่ม Negative จาก $w^T x + b = -1$ และใช้สมการเส้นตรง (Linear Kernel Function) เพื่อคำนวณแบ่งกลุ่มของข้อมูล

นอกจากนั้นยังสามารถใช้ Kernel ตัวอื่น ในการคำนวณเพื่อหาเส้นแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Non-linear ได้แก่ Radial Basis Function (rbf) โดยคำนวณจากสมการที่

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \tag{13}$$

โดย γ คือ พารามิเตอร์ของ RBF kernel

ดังนั้น หาก γ มีค่ามากอาจส่งผลให้มีจำนวนของ Support Vectors จำนวนมากขึ้นตามไปด้วย และส่งผลให้ข้อมูลเกิดการ Overfitting ซึ่งหมายความว่าอัลกอริทึมจะสร้าง Model ที่พยายามแยกข้อมูลชุดทดสอบให้มีความถูกต้องมากที่สุด แต่เมื่อนำไปใช้งานจริงกลับได้ค่าความถูกต้องต่ำ ทำให้การจัดกลุ่มทำได้ไม่ถูกต้อง

ชุดข้อมูลรูปภาพลามกอนาจาร

ในการทดลองได้ใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM¹³ ซึ่งประกอบด้วย 2 กลุ่มข้อมูล คือกลุ่มรูปภาพทั่วไปที่ไม่ลามกอนาจาร (Negative) และกลุ่มรูปภาพลามกอนาจาร (Positive) โดยข้อมูลกลุ่ม Negative ประกอบด้วยรูปภาพจำนวน 715 รูปภาพ และกลุ่ม Positive มีจำนวน 685 รูปภาพ รวมทั้งสิ้น 1,400 รูปภาพ ซึ่งขนาดของรูปภาพที่จัดเก็บอยู่ในชุดข้อมูลนั้นมีขนาด (Resolution) ที่แตกต่างกัน แสดงดัง Figure 3

จากการตรวจสอบรูปภาพจากชุดข้อมูล TI-UNRAM พบว่างานวิจัย¹³ อาจมีมุมมองในการจัดหมวดหมู่ของภาพลามกอนาจารที่มีความแตกต่างกัน จึงทำให้รูปภาพบางรูปที่ไม่เป็นรูปลามกอนาจารถูกจัดให้อยู่ในหมวด Negative แสดงดัง Figure 4 และในหมวด Positive ยังมีรูปภาพที่ไม่ได้เป็นรูปภาพบุคคล (Figure 5) อีกด้วย ทั้งนี้ งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ปรับเปลี่ยนหมวดหมู่ของรูปภาพในชุดข้อมูล TI-UNRAM แต่อย่างใด



Figure 3 Sample images of (a) the positive images and (b) the negative images from the TI-UNRAM dataset.



Figure 4 Sample of positive images are found in the negative category.



Figure 5 The positive examples of non-human image from the TI-UNRAM dataset.

จากงานวิจัย¹¹ เริ่มต้นด้วยการค้นหาใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพ ทั้งนี้ รูปภาพที่ปรากฏในชุดข้อมูล TI-UNRAM บางส่วน (แสดงดัง Figure 5) ไม่ได้เป็นภาพบุคคล ดังนั้น การทดลองในส่วนของการประมวลผลภาพจึงไม่ได้นำวิธีการค้นหาใบหน้าเข้าไปด้วย

วิธีการประเมินผลทดลอง

ในงานวิจัยฉบับนี้ การตรวจหารูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการ Image Processing ใช้สมการในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพ (Image Classification) ที่นำเสนอโดย Marcial-Basilio et al. 10 คำนวนจากสมการที่ 9

$$SKC = \frac{\sum(Roi)}{\sum(P(x,y))} \tag{9}$$

โดย ROI คือ พื้นที่ของรูปภาพที่คิดว่าเป็นสีผิวของมนุษย์

$P(x,y)$ คือ พิกเซลทั้งหมดของรูปภาพที่ทำการจัดหมวดหมู่

จากสมการที่ 9 หากค่า SKC มีค่ามาก หมายถึงมีจำนวนของพื้นที่สีผิวของมนุษย์เป็นจำนวนมาก และหาก SKC มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าในภาพนั้นไม่มีภาพพื้นที่ที่เป็นสีผิวของมนุษย์เลย โดยต้องใช้ค่าเทรตโซลด์ T เป็นตัวกำหนดค่าความลามกอนาจาร โดยค่า T ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังนั้น หากค่า $SKC \geq T$ แสดงว่าภาพนั้นเป็นภาพลามกอนาจาร และ $SKC < T$ แสดงว่าภาพนั้นเป็นภาพที่ไม่ลามกอนาจาร

ดังนั้น หากใช้สมการที่ 9 ในการคำนวณรูปภาพที่นำมาคำนวณจะต้องเป็นรูปที่มีเพียงบุคคลปรากฏอยู่ในภาพเท่านั้น หากในรูปภาพประกอบไปด้วยทิวทัศน์ หรือองค์ประกอบอื่น ถึงแม้ว่าในรูปภาพนั้นจะมีบุคคลที่อยู่ในลักษณะเปลือยก็ตาม จะส่งผลให้ค่า SKC ที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดพลาด

งานวิจัยฉบับนี้ ใช้วิธี k -fold cross validation เพื่อประเมินผลการทดลอง โดยกำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งหมายถึงการสุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน¹³ ดังนั้น ข้อมูลจำนวน 700 รูปภาพ จากข้อมูลทั้งหมด 1,400 รูปภาพจึงถูกแบ่งเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้เพื่อนำมา สร้าง Model และข้อมูลที่เหลืออีก 700 รูปภาพจึงถูกแบ่งเป็นข้อมูลชุดทดสอบเพื่อใช้ในการพยากรณ์ (Predict) ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าความถูกต้อง (Accuracy)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM เพื่อทำการทดลองจัดหมวดหมู่รูปภาพ โดยข้อมูลจะจัดเก็บเป็นรูปภาพลามกอนาจารที่มีขนาดของพิกเซลไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องปรับเปลี่ยนขนาดของรูปภาพให้มีขนาด 90x90 พิกเซล

สำหรับการทดลองด้วยวิธีการประมวลผลภาพ รูปภาพทั้งหมดจะถูกแปลงจากค่าสี RGB ให้เป็น HSV ซึ่งค่าสี HSV จะถูกนำไปคำนวณหาพื้นที่ ROI ที่คาดว่า เป็นสีผิวของมนุษย์ โดยต้องกำหนดช่วงของสีที่ต้องการ โดยการกำหนดค่าต่ำสุดของค่าสี HSV เป็น [10, 100, 100] และค่าสูงสุด [22, 255, 255] ดังนั้น ค่าสี HSV ที่ไม่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีดำ และค่าสีที่อยู่ในช่วงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีขาว

สำหรับการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี HOG จำนวนของเซลล์ในแต่ละบล็อก (Cell per Block) ถูกกำหนดให้มีขนาด 2x2 เซลล์ โดยในแต่ละเซลล์มีจำนวนพิกเซล (Pixels per Cell) 30x30 พิกเซล และจำนวนที่ใช้เก็บค่า Orientation Bin กำหนดให้เป็น 18 bin และพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธี SIFT ประกอบด้วยขนาดของบล็อก หรือเรียกว่า Patch กำหนดให้มีขนาด 15x15 การเคลื่อนที่ของบล็อก (Grid Spacing) ครั้งละ 5 พิกเซล

สำหรับการทดลองด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือวิธี KNN ทำการทดสอบโดยกำหนดค่า K ให้มีค่าตั้งแต่ $K = 1,3,4,5,9$ และวิธี SVM โดยใช้ RBF Kernel โดยใช้วิธีการ Cross Validation เพื่อปรับแต่งค่า C และ γ

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร ประกอบด้วย 5 การทดลอง คือ 1) วิธี Image Processing (IMGP) และ SKC 2) วิธี HOG และ KNN 3) วิธี SIFT และ KNN 4) วิธี HOG และ SVM และ 5) วิธี SIFT และ SVM โดยความถูกต้องของการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารแสดงดัง Table 1

Table 1 Average pornographic image classification results on TI-UNTAM dataset.

Method	Classification Parameters	Accuracy (%)
IMGP+SKC	T = 0.5	64.0 ± 0.007
HOG+KNN	K = 7	70.0 ± 0.014
SIFT+KNN	K = 7	66.4 ± 0.028
HOG+SVM	C = 2 ⁰ , gamma = 2 ⁻⁵	78.0 ± 0.014
SIFT+SVM	C = 2 ² , gamma = 2 ⁻⁵	78.0 ± 0.007

เริ่มต้นการทดลองด้วยวิธี IMGP+SKC โดยกำหนดให้มีค่า $T = 0.5$ ปรากฏว่ามีความถูกต้องในการจัดหมวดหมู่ต่ำที่สุดที่ 64% ทั้งนี้เนื่องจากรูปภาพที่อยู่ในชุดข้อมูล TI-UNTAM ประกอบไปด้วยรูปภาพที่มีหลากหลายลักษณะ เช่น รูปภาพไข่ และรูปภาพดอกกุหลาบสีเหลือง เป็นต้น ดังนั้น เมื่อนำมาทดลองปรากฏว่ามีผลลัพธ์เป็น Negative จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้วิธี IMGP+SKC มีอัตราความถูกต้องต่ำที่สุด

ต่อจากนั้น ทดลองด้วยวิธี KNN ซึ่งกำหนดให้พารามิเตอร์ $k = 7$ โดยคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ด้วยวิธี HOG และวิธี SIFT จากการทดลองปรากฏว่า KNN+HOG มีอัตราการจัดหมวดหมู่สูงกว่าวิธี KNN+SIFT โดยมีความถูกต้องที่ 70% และ 66.4% ตามลำดับ

การทดลองสุดท้าย ทดสอบด้วยวิธี SVM ร่วมกับวิธี HOG และวิธี SIFT ปรากฏว่าทั้งวิธี HOG+SVM และ SIFT+SVM มีอัตราการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจารเท่ากันที่ 78% ซึ่งมากกว่าวิธี HOG+KNN อยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง SIFT+SVM และการทดลองในงานวิจัย¹³ ปรากฏว่าผลการทดลองในงานวิจัย¹³ ให้ผลการทดลองที่สูงกว่าประมาณ 12.13% ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธี Bag of Visual Words (BOW) เพื่อช่วยในการเรียนรู้ข้อมูลที่มีอยู่จำนวนจำกัด

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการทางด้านการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร โดยใช้ชุดข้อมูล TI-UNTAM ที่มีรูปภาพทั้งสิ้นจำนวน 1,400 รูปภาพ โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยวิธีการ Cross Validation ดังนั้นข้อมูลในชุดเรียนรู้จึงมีเพียง 700 รูปภาพเท่านั้น ส่งผลต่อการคำนวณด้วยวิธี SVM เนื่องจากวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการสร้าง Model

งานวิจัยได้เปรียบเทียบวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี HOG และวิธี SIFT เพื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธี KNN โดยคำนวณค่าระยะห่างด้วยวิธี Euclidean และ วิธี SVM โดยใช้ RBF Kernel จากการทดสอบปรากฏว่าวิธี HOG+SVM และ SIFT+SVM มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นที่ทดสอบ

ในอนาคต ผู้วิจัยได้วางแผนในการใช้วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธีที่อื่นที่แตกต่างกันไป เช่น SURF, DAISY และ ORB เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถใช้วิธีการ Bag of Visual Words (BOW) เข้ามาช่วยในการเรียนรู้ข้อมูลที่มีจำนวนเพียง 700 รูปภาพ อาจส่งผลให้มีอัตราความถูกต้องเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559 จากคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. วีรพงษ์ พวงเล็ก. สื่อลามกบนอินเทอร์เน็ต: อันตรายที่พึงระวังและแนวทางแก้ปัญหาต่อเยาวชนไทย. *Exec J.* 2011;223–33.
2. Gao Z, Lu G, Dong H, Wang S, Wang H, Wei X. Applying a novel combined classifier for hypertext classification in pornographic web filtering. In: *International Conference on Internet Computing in Science and Engineering (ICICSE)*. 2008. p. 513–7.
3. Dinh T-A, Ngo T-B, Vu D-L. A Model for Automatically Detecting and Blocking Pornographic Websites. In: *IEEE International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*. 2015. p. 244–9.
4. Wang C, Zhang J, Zhuo L, Liu X. Incremental Learning for Compressed Pornographic Image Recognition.

- In: IEEE International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). 2015. p. 176–9.
5. Zhou K, Zhuo L, Geng Z, Zhang J, Li XG. Convolutional Neural Networks Based Pornographic Image Classification. In: IEEE Second International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). 2016. p. 206–9.
 6. Polpinij J, Chotthanom A, Sibunruang C, Chamchong R, Puangpronpitag S. Content-Based Text Classifiers for Pornographic Web Filtering. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). 2006. p. 1481–5.
 7. เกียรติภมรด คำมา และจักรกฤษณ์ เสน่ห์ นมะหุต. ขั้นตอนวิธีการสำหรับการให้ค่าเรตติ้งและการวิเคราะห์เว็บไซต์ออนไลน์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2556;23(2):353–62.
 8. Zhu H, Zhou S, Wang J, Yin Z. An algorithm of pornographic image detection. In: the 4th International Conference on Image and Graphics (ICIG). 2007. p. 801–4.
 9. Tello Flores PI, Colmenares Guillén LE, Niño Prieto OA. Approach of RSOR Algorithm Using HSV Color Model for Nude Detection in Digital Images. *Comput Inf Sci.* 2011;4(4):29–45.
 10. Marcial-Basilio JA, Aguilar-Torres G, Sánchez-Pérez G, Toscano-Medina LK, Pérez-Meana HM. Detection of Pornographic Digital Images. *Int J Comput.* 2011;5(2):298–305.
 11. Rattanee S, Chiracharit W. Nudity Detection Based on Face Color and Body Morphology. In: International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT). 2016. p. 1–4.
 12. Viola P, Jones MJ. Robust Real-Time Face Detection. *Int J Comput Vis.* 2004;57(2):137–54.
 13. Wijaya IGPS, Widiartha I, Arjarwani SE. Pornographic Image Recognition Based on Skin Probability and Eigenporn of Skin ROIs Images. *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput Electron Control.* 2015;13(3):985.
 14. Lv L, Zhao C, Lv H, Shang J, Yang Y, Wang J. Pornographic images detection using high-level semantic features. In: 7th International Conference on Natural Computation (ICNC). 2011. p. 1015–8.
 15. Lopes APB, De Avila SEF, Peixoto ANA, Oliveira RS, De A. Araújo A. A bag-of-features approach based on Hue-SIFT descriptor for nude detection. In: 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). 2009. p. 1552–6.
 16. Liu B, Su J, Lu Z, Zhen L. Pornographic images detection based on CBIR and skin analysis. In: the 4th International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid (SKG). 2008. p. 487–8.
 17. Dong K, Guo L, Fu Q. An Adult Image Detection Algorithm Based on Bag-of-Visual-Words and Text Information. In: 10th International Conference on Natural Computation (ICNC). 2014. p. 556–60.
 18. Caetano C, Avila S, Guimarães S, Araújo AD a. Representing Local Binary Descriptors with Bossa-Nova for Visual Recognition. In: The 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC). 2014. p. 49–54.
 19. Karavarsamis S, Ntarmos N, Blekas K, Pitas I. Detecting pornographic images by localizing skin ROIs. *Int J Digit Crime Forensics.* 2013;5(1):39–53.
 20. Vapnik VN. *Statistical Learning Theory.* Wiley; 1998. I-XXIV, 1-736.
 21. Sharma PK. Multiple Classifiers for Unconstrained Offline Handwritten Numeral Recognition. In: International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, (ICCIMA). 2007. p. 344–8.
 22. Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int J Comput Vis.* 2004;60(2):91–110.
 23. Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Computer Society Conference on. 2005. p. 886–93.
 24. Kumar M, Jindal MK, Sarma RK. k-Nearest Neighbor Based Offline Handwritten Gurmukhi Character Recognition. In: International Conference on Image Information Processing (ICIIP). 2011. p. 1–4.
 25. Lee SE, Min K, Suh T. Accelerating Histograms of Oriented Gradients descriptor extraction for pedes-

- trian recognition. *Comput Electr Eng.* 2013 May;39(4):1043–8.
26. Kermorvant C, Louradour J. Handwritten Mail Classification Experiments with the Rimes Database. In: *International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)*. 2010. p. 241–6.
27. ภรณ์ยา อัมฤตรัตน์ และพยุ่ง มีสัจ. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดมิติข้อมูลและจำแนกข้อมูลโดยวิธีการทางเครือข่ายประสาทเทียม. ในการประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11. 2553. หน้า 58–65.

ระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้าง
ความสามารถในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน

Enterprise Resources Planning for Rubber Replanting Aid Fund Cooperative on Web Application in Order to Enhance the Competitiveness in Gearing Toward ASEAN Community

จตุพร จิรันดร,¹ มนต์ทนา คงแก้ว²

Jatuporn Jirundorn,¹ Monthana Kongkaew²

Received: 28 October 2017 ; Accepted: 7 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง ระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการการดำเนินงานกิจกรรมและระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยาง จังหวัดสงขลา โดยต้องการพัฒนาระบบสารสนเทศในการบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เกิดการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพอย่างบูรณาการเพื่อรองรับสู่ประชาคมอาเซียน โดยมีสหกรณ์กองทุนสวนยางตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระเส็นรุ้ง จังหวัดสงขลา เป็นสหกรณ์ต้นแบบในการรวบรวมข้อมูลและพัฒนาโปรแกรม โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษา เริ่มตั้งแต่กระบวนการเก็บและรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ระบบ ออกแบบระบบ พัฒนาระบบ ทดสอบระบบ ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และจัดการอบรมเชิงปฏิบัติเพื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้และสรุปแนวทางการประยุกต์ใช้งาน เพื่อสร้างความพร้อมในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน เนื่องจากในหลายประเทศมีการขยายตัวในการทำเกษตรกรรมด้านสวนยางเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งงานวิจัยเรื่องนี้สามารถพัฒนาโปรแกรมแล้วนำไปใช้งานได้จริง ทำให้เข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่สัมพันธ์กับกระบวนการทำงานของสหกรณ์กองทุนสวนยาง และใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ปฏิบัติงานในสหกรณ์กองทุนสวนยาง อีกทั้งยังมีการเพิ่มช่องทางในการประยุกต์ใช้ระบบบริหารทรัพยากรขององค์กรของเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ด้านออกแบบระบบ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.75 ระดับความพึงพอใจมากที่สุด ด้านเสถียรภาพระบบ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 ระดับความพึงพอใจมากที่สุด ด้านประโยชน์ของระบบต่อการปฏิบัติงาน มีคะแนนเท่ากับ 4.87 ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

คำสำคัญ: ระบบบริหารทรัพยากรองค์กร สหกรณ์กองทุนสวนยางประชาคมอาเซียน

Abstract

This research studied a web-based resource management system for the Rubber Replanting Aid Fund Cooperative in order to enhance the competitiveness in gearing within the ASEAN community. The objectives of this research were to 1) investigate the operating process and the organization resource management system, 2) develop the information system for efficiently managing the organization resources and 3) enable the relevant agencies to cooperatively and effectively share and use resources in order to serve the ASEAN Community. The Rubber Replanting Aid Fund Cooperative of Ko Yai sub-district in Krasa-sin district, Songkhla province was the prototype organization in collecting data and developing the program. The program employed data collection, system analysis and design, system

¹ อาจารย์, ²อาจารย์, คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000.

¹ Lecturer, ²Lecturer, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of technology Srivijaya Muang district, Songkhla 90000, Thailand.

development and testing, and users' satisfaction assessment. Consequently, the researcher provided hands-on training and summarized the application guidelines which could raise competitiveness in the ASEAN Community and increase of rubber plantation in other countries . The findings of this research showed that this program could actually be used in real situations as well as offering various associated factors of the organization of working processes. The findings could also meet the needs of organization staff. Moreover, this could deliver more channels in applying the resource management system of the organization. The result was a system with a system design average score of satisfaction at the high level of 4.75; System stability average score of satisfaction at a high level of 4.79 and the benefits of the system to the operation average score of satisfaction at a high level of 4.87.

Keywords: Enterprise Resources Planning (ERP), Rubber Replanting Aid Fund, ASEAN Economic Community

บทนำ

จุดมุ่งหมายหลักของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน คือ การเป็นตลาดและฐานการผลิตเดียวซึ่งเปิดให้มีการเคลื่อนย้ายสินค้า บริการ การลงทุน และแรงงานฝีมืออย่างเสรี และจากผลสถิติพบว่า ประเทศในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนโดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางพาราสำคัญของโลกดูได้จาก ผลการรวบรวมข้อมูลการผลิตยางพาราของโลกและประเทศผู้ผลิตสำคัญตั้งแต่ปี 2545 ถึงปี 2551 พบว่า ประเทศผู้ผลิตสำคัญได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย อินเดีย และเวียดนาม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการผลิตยางพาราของประเทศเหล่านี้ในปี 2551 พบว่า ประเทศไทยมีสัดส่วนการผลิตยางร้อยละ 31 อินโดนีเซียร้อยละ 28 มาเลเซียร้อยละ 11 อินเดียร้อยละ 9 เวียดนามร้อยละ 7 และประเทศอื่น ๆ รวมกันร้อยละ 14 โดยผลผลิตยางพาราของโลกในปี 2551 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2545 นั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 35 ซึ่งมีการส่งออกยางพาราของโลกมีประมาณ 6.60 ล้านตัน ประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม ตามลำดับ มีปริมาณการส่งออกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 99 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมดทั้งโลก เป็นต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการทำงานของฝ่ายต่าง ๆ ภายในองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งด้านการผลิต การขาย การตลาด การเงิน การจัดซื้อจัดจ้าง งานซ่อมบำรุง และด้านทรัพยากรมนุษย์ ซึ่งแต่ละหน่วยงานจะมีกระบวนการทำงานที่ทำให้เกิดข้อมูลต่าง ๆ มากมาย ซึ่งข้อมูลจะมีการส่งต่อจากหน่วยงานหนึ่งไปยังหน่วยงานหนึ่ง หรืออาจจบในหน่วยงานนั้น ๆ ดังนั้นในองค์กรจะมีข้อมูลมากมายที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันโดยเกิดจากหน่วยงานเดียวกันหรือต่างหน่วยงานเสมอ เพื่อให้เกิดการบูรณาการของข้อมูลของแต่ละหน่วยงาน จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดกระบวนการทำงานที่ชัดเจนด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อให้เกิดข้อมูลที่เข้าช้ระบบบริหารทรัพยากรขององค์กร (Enterprise Resource

Planning: ERP) เป็นเครื่องมือในการวางแผนทรัพยากรในด้านต่าง ๆ ขององค์กร ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรได้อย่างสูงสุด โดยการบูรณาการข้อมูลร่วมกับกระบวนการทำงานต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ลดการทำงานที่ซ้ำซ้อน รับรู้สถานการณ์ และปัญหาของงานต่าง ๆ ได้ทันที เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจดำเนินธุรกิจ หรือแก้ปัญหาภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยมีโครงสร้างดัง Figure 1⁷



Figure 1 ERP Structure

Source: Electronic Transactions Development Agency

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน โดยผู้วิจัยได้ทำเลือกสหกรณ์สวนยาง ตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา มาเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบและเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการการดำเนินงานกิจกรรมและระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางจังหวัดสงขลา โดยต้องการพัฒนาระบบสารสนเทศในการบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เกิดการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพอย่างบูรณาการเพื่อรองรับสู่ประชาคมอาเซียน

ประโยชน์ของการวิจัย

เพื่อได้เข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการทำงานของสหกรณ์กองทุนสวนยาง ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการบริหารทรัพยากรขององค์กรที่ตอบสนองความต้องการของสหกรณ์กองทุนสวนยาง และมีช่องทางในการประยุกต์ใช้ระบบบริหารทรัพยากรขององค์กรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น กับเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยางซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของสหกรณ์กองทุนสวนยางโดยเฉพาะ

การทบทวนวรรณกรรม

ระบบบริหารทรัพยากรขององค์กร (Enterprise

Resources Planning: ERP)

เป็นเครื่องมือในการวางแผนทรัพยากรในด้านต่างๆ ขององค์กร ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรได้อย่างสูงสุด โดยการบูรณาการข้อมูลร่วมกับกระบวนการทำงานต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันทำให้ลดการทำงานที่ซ้ำซ้อน รับรู้สถานการณ์ และปัญหาของงานต่างๆ ได้ทันที เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจดำเนินธุรกิจ หรือสามารถแก้ปัญหาภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น⁷

สหกรณ์

เป็นองค์กรทางเศรษฐกิจและสังคมที่สมาชิกร่วมกันจัดตั้งขึ้นด้วยการลงหุ้นร่วมกัน จัดการร่วมกันในการผลิต การจำหน่ายสินค้า หรือบริการตามความต้องการหรือผลประโยชน์อย่างเดียวกันของบรรดาสมาชิก โดยสมาชิกแต่ละคนมีสิทธิออกเสียงได้หนึ่งเสียงในการบริหารสหกรณ์ และไม่ขึ้นกับจำนวนหุ้นที่ถืออยู่ เช่น สหกรณ์ออมทรัพย์ สหกรณ์การเกษตร สหกรณ์โคนม (กฏ) เป็นต้น คณะบุคคลซึ่งร่วมกันดำเนินกิจการเพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคม โดยช่วยตนเองและช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และได้จดทะเบียนตามกฎหมายว่าด้วยสหกรณ์⁸

สหกรณ์กองทุนสวนยาง

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (2553) จัดตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง เมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2503 เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น โดยสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2538) ได้แสดงรูปแบบการรวมกลุ่มของสหกรณ์ชาวสวนยางดัง Figure 2

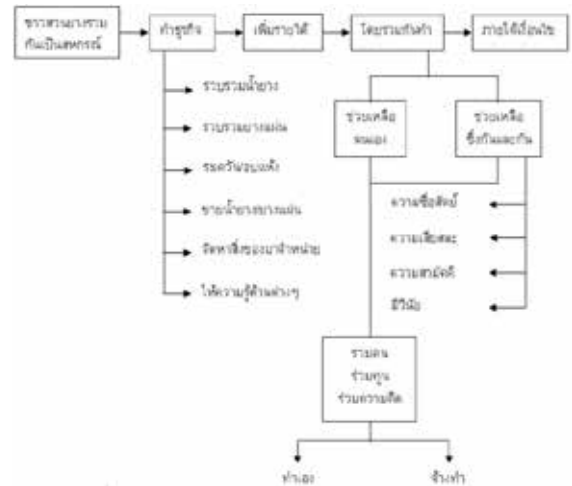


Figure 2 The pattern of the rubber farmers cooperative.

Source: Office of the Rubber Replanting Aid Fund

ณัฐพล คชายังยืน¹² ได้ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบ ERP: กรณีศึกษาระบบ Navision ของบริษัท ปทุมโรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน) โดยงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานระบบ Navision ภายในบริษัท และ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบ Navision ของแผนกต่าง ๆ ในบริษัท ปทุมโรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้งานระบบ Navision ของบริษัท ปทุมโรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน) ซึ่งประกอบด้วย พนักงานระดับปฏิบัติการพนักงานระดับหัวหน้า พนักงานระดับบริหารจำนวน 114 คนโดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือ สถิติแบบ Independent Sample t-test และ One-way ANOVA.

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานพบว่า ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ และ ความถี่ในการใช้งานที่แตกต่างกัน มีผลต่อปัจจัยการยอมรับระบบ Navision ไม่แตกต่างกัน และทำให้ทราบว่าระบบ Navision มีปัญหาในเรื่องความสามารถ

ที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ และปัญหาถัดมาคือความเข้ากันได้กับระบบรายงานของบริษัท และสุดท้ายคือ ปัญหาการกำหนดสิทธิ์ การใช้งานของระบบ Navision ซึ่งได้นำข้อมูลมาเป็นแนวทางแก้ไขปรับปรุงระบบ Navision ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานภายในบริษัท

อาคม สงวนหมู¹⁴ ได้ทำการศึกษาเรื่องสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ERP-SAP ในประเทศไทยเป็นการวิจัยโดยใช้แบบสอบถามจำนวน 400 ตัวอย่าง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าความสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงมากกว่าเพศชาย มีอายุระหว่าง 30 – 35 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ใช้ระบบงาน ERP-SAP ในหน่วยงานการเงินบัญชี เป็นผู้ใช้ระดับ User และใช้งานกับงานบัญชีมากที่สุด ระดับทัศนคติโดยรวมผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนระดับปานกลาง ด้านระบบมีการเชื่อมโยงข้อมูลการใช้ทรัพยากรของแต่ละส่วนงานเข้าด้วยกัน และเป็นระบบมาตรฐานมีระบบงานที่รองรับของทุกส่วนงานในระดับมาก สมมุติฐานด้านประชากรศาสตร์พบว่า เพศที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับความพึงพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมไม่แตกต่างกัน อายุที่แตกต่างกันมีผลต่อความพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมไม่แตกต่างกัน การศึกษาที่แตกต่างกันมีผลต่อความพึงพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมแตกต่างกัน ตำแหน่งงานที่แตกต่างกันมีผลต่อความพึงพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมไม่แตกต่างกัน บทบาท ผู้ที่เป็นผู้ดูแลระบบงานมีความพึงพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมมากกว่าบทบาทอื่นระบบงานที่ใช้ผู้ใช้งานมีความพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมไม่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้งานระบบมากน้อย มีผลต่อความพอใจการใช้งานซอฟต์แวร์โดยรวมไม่แตกต่างกัน สมมุติฐานด้านทัศนคติ ทัศนคติด้านซอฟต์แวร์ (Product) ทัศนคติด้านผู้ขายซอฟต์แวร์ (Vendor) ทัศนคติด้านผู้ติดตั้งซอฟต์แวร์ (Implementers) ทัศนคติด้านราคาซอฟต์แวร์ (Software) มีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

โดยสรุปผลการศึกษาพบว่า องค์กรไทยมีการนำเอาซอฟต์แวร์ ERP มาใช้งานในหลายด้าน คือมีการใช้งานทั้งระบบบัญชี ระบบการขายและการจัดส่ง ระบบวางแผนและควบคุมการผลิตระบบบริหารทรัพยากรบุคคล และสิ่งที่องค์กรได้จากการนำมาใช้งานคือทำให้เกิดขบวนการควบคุมการติดตามงานจากการใช้ข้อมูลร่วมกันจากการที่ระบบมีการเชื่อมโยงข้อมูลที่ดี สร้างรูปแบบการทำงานที่เป็นมาตรฐาน มีข้อมูลมีประสิทธิภาพนำมาใช้ในการดำเนินการ บริหารจัดการ

ได้อย่างสะดวก ถูกต้อง รวดเร็ว และโดยรวมมองว่าเป็นประโยชน์ต่อองค์กรอย่างมาก

สวรินทร์ ประดิษฐ์อุกฤษฏ์ และคณะ¹⁵ ปัจจุบันจำนวนสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดประสิทธิภาพในการดำเนินงานของแต่ละสหกรณ์ ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สหกรณ์ควรคำนึงถึง ในการศึกษาครั้งนี้วัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลาจำนวน 48 สหกรณ์ โดยเครื่องมือที่ใช้ คือ วิธีล้อมกรอบข้อมูล (DEA) ผ่านปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน จำนวนสมาชิก จำนวนหุ้นของสหกรณ์ และพื้นที่ปลูกยางของสมาชิก โดยมีปัจจัยผลผลิต 2 ปัจจัย คือ ปริมาณรับซื้อน้ำยาง และรายได้เฉพาะธุรกิจในการระบุปัจจัยนำเข้า และปัจจัยผลผลิตระบุภายใต้กรอบทฤษฎีมุมมองทรัพยากรพื้นฐาน ผลจากการศึกษาพบว่ามี 11 สหกรณ์ที่แสดงให้เห็นถึงความมีประสิทธิภาพในการดำเนินงาน และมี 37 สหกรณ์ที่ยังขาดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นถึงค่าเป้าหมายที่ทั้ง 37 สหกรณ์ต้องปรับปรุงเพื่อก้าวไปเป็นสหกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ

นฤมล พฤกษา และคณะ¹⁶ ได้ทำการศึกษาเรื่องรูปแบบเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยาง : กรณีศึกษาสหกรณ์กองทุนสวนยาง ในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยางกรณีศึกษาในอำเภอเทพาจังหวัดสงขลาโดยศึกษาความเป็นมาและจุดกำเนิดเครือข่ายลักษณะความสัมพันธ์หรือความร่วมมือกันของเครือข่ายบทบาทและเงื่อนไขของเครือข่ายต่อการบริหารจัดการสหกรณ์ตลอดจนผลกระทบจากการมีเครือข่ายต่อสหกรณ์งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง สัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลหลักและจัดประชุมกลุ่มย่อยผลการวิจัยพบว่าเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยางมี 2 รูปแบบ คือ เครือข่ายภายในและเครือข่ายภายนอกเครือข่ายภายในเป็นเครือข่ายต่างๆ ที่มีอยู่ในชุมชนซึ่งสหกรณ์ฯตั้งอยู่ได้แก่ เครือข่ายผู้นำชุมชนหรือผู้ทรงคุณวุฒิกลุ่มสตรีกลุ่มออมทรัพย์และกองทุนหมู่บ้านเครือข่ายเหล่านี้บ้างก็กำเนิดมาก่อนการก่อตั้งสหกรณ์ฯบ้างกำเนิดขึ้นภายหลังแต่ทุกเครือข่ายล้วนมีปฏิสัมพันธ์ต่อการบริหารจัดการสหกรณ์ฯโดยเอื้อให้สหกรณ์ฯบริหารงานได้สะดวกขึ้นได้รับความไว้วางใจหรือเป็นที่เชื่อถือของสมาชิกชุมชนมากขึ้นขณะเดียวกันสหกรณ์ฯก็ส่งเสริมการดำเนินงานของเครือข่ายเหล่านี้้อย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่เครือข่ายภายนอกนั้น มีทั้งเครือข่ายที่เกิดตามธรรมชาติและเครือข่าย

ที่เกิดจากการจัดตั้งของหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ หน่วยงานที่ส่งเสริมการดำเนินงานสหกรณ์อยู่แล้วเป็นปกติ เช่น สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางและสถาบันวิชาการที่มีโครงการส่งเสริมความรู้และเทคโนโลยีเครือข่ายภายนอกนี้ทำให้สหกรณ์ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในด้านต่างๆ และส่งผลต่อการบริหารจัดการสหกรณ์ ในหลายด้าน ได้แก่ การมีระบบบริหารจัดการการเงินและบัญชีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ช่องทางในการสรรหาเจ้าหน้าที่และคนงาน ได้ช่องทางการตลาดที่หลากหลายมีอำนาจในการต่อรองราคาวัตถุดิบและสินค้า และได้ความรู้หรือเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต นอกเหนือจากประโยชน์เชิงรูปธรรมดังกล่าวแล้ว เครือข่ายยังทำให้สหกรณ์กองทุนสวนยางยิ่งมีความเชื่อมั่นในวิธีการและอุดมการณ์สหกรณ์ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่จะทำให้สหกรณ์กองทุนสวนยางสามารถอยู่รอดได้ในระยะยาว

ประชาคมอาเซียน (ASEAN Economics Community : AEC)

กรมอาเซียน กระทรวงต่างประเทศ (2560) ได้ให้คำนิยามของประชาคมอาเซียน เป็นการรวมตัวของกลุ่มประเทศในอาเซียน 10 ประเทศ โดยมี ไทย พม่า ลาว เวียดนาม มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ กัมพูชา และบรูไน เพื่อที่จะให้มีผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจร่วมกัน จะมีรูปแบบคล้ายๆ กลุ่ม Euro Zone จะทำให้มีผลประโยชน์ทางการค้ามากขึ้น มีอำนาจต่อรองต่าง ๆ กับคู่ค้าได้มากขึ้น และการนำเข้า ส่งออกของกลุ่มประเทศในอาเซียนก็จะเสรี ยกเว้นสินค้าบางชนิดที่แต่ละประเทศอาจจะขอไว้ไม่ลดภาษีนำเข้า สำหรับเสาหลักการจัดตั้งประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community หรือ AEC) ภายในปี 2558 เพื่อให้อาเซียนมีการเคลื่อนย้ายสินค้า บริการ การลงทุน แรงงานฝีมือ อย่างเสรี และเงินทุนที่เสรีขึ้นต่อมาในปี 2550 อาเซียนได้จัดทำพิมพ์เขียวเพื่อจัดตั้งประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC Blueprint) มีคุณลักษณะ 5 ประการภายในปี ค.ศ. 2025 ได้แก่ (1) มีการรวมตัวและเชื่อมโยงในระดับสูง (2) มีความสามารถในการแข่งขัน นวัตกรรม และพลวัต (3) ส่งเสริมการเชื่อมโยงด้านเศรษฐกิจและการรวมตัวรายสาขา (4) ความสามารถในการปรับตัวครอบคลุมทุกภาคส่วนและมีประชาชนเป็นศูนย์กลาง และ (5) การเป็นส่วนสำคัญของประชาคม⁶

วงจรการพัฒนากระบวน (System Development Cycle: SDLC)

วงจรการพัฒนากระบวน (ณัฐพันธ์ เขจรมันท์, 2551) เป็นวงจรที่แสดงถึงกิจกรรมต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการรูปแบบวงจรการพัฒนากระบวนมีการคิดค้นและพัฒนาขึ้นอย่างหลากหลาย ก่อให้เกิดความแตกต่างในรูปแบบของวงจรการพัฒนากระบวน ในปัจจุบันมีรูปแบบของวงจรการพัฒนากระบวนแตกต่างกันออกไปมากมาย ที่นิยมใช้จะมีรูปแบบต่าง ๆ (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ และสมโภชน์ ชื่นเอี่ยม, 2558) ได้กำหนดกรอบทำงานตามวงจรการพัฒนากระบวนสารสนเทศ ที่ค่อนข้างชัดเจน มีการลำดับกิจกรรมในแต่ละระยะที่แน่นอน ทำให้เราเข้าใจถึงกิจกรรมพื้นฐานขอบเขต และรายละเอียดต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการพัฒนากระบวนโดยจะมีรูปแบบดังต่อไปนี้^{3,5}

แบบจำลองน้ำตก (Waterfall Model)

โดย อรยา ปรีชาพาณิชย์ (2557) กล่าวว่าแบบจำลองนี้เป็นรูปแบบการพัฒนากระบวนที่นิยมใช้ในอดีตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา จึงเรียกได้ว่าเป็นแบบจำลองดั้งเดิม โดยมีหลักการการทำงานให้เสร็จในแต่ละขั้นตอนแล้วจึงจะทำงานในขั้นตอนต่อไปได้ โดยไม่สามารถย้อนกลับไปแก้ไขข้อผิดพลาดในขั้นตอนที่ผ่านมาได้⁴

แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD)

ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนวย (2552) ได้นิยามไว้ว่าแผนภาพกระแสข้อมูลเป็นการกำหนดความต้องการของระบบอย่างมีโครงสร้างในลักษณะวิเคราะห์กระบวนการ (Process Modeling) โดยใช้เครื่องหมายเพื่อแสดงการเคลื่อนย้ายของข้อมูลในระบบงานหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยกระแสของข้อมูล (Flow of Data) กระบวนการ (Process) ข้อมูลที่ต้องจัดเก็บ (Data Store) และหน่วยภายนอกหรือบุคคลหรือระบบสารสนเทศที่ส่งข้อมูลให้กับระบบ หรือรับข้อมูลจากระบบอื่น (External Entity) โดยแผนภูมิกระแสข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักดังนี้

แผนภูมิกระแสข้อมูลแบบตรรกะ (Logical Data Flow Diagram)

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลว่าระบบหนึ่งมีข้อมูลอะไรเกิดขึ้นในขั้นตอนหนึ่ง ๆ และเชื่อมโยงไปยังขั้นตอนอื่น ๆ อย่างไร การวิเคราะห์แผนภูมิกระแสข้อมูลแบบตรรกะไม่ต้องแสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือสื่อที่จัดเก็บข้อมูล ประเภทของแฟ้มข้อมูล รวมถึงการควบคุมต่าง ๆ และความปลอดภัยของข้อมูล

แผนภูมิกระแสข้อมูลแบบกายภาพ (Physical Data Flow Diagram)

เป็นการวิเคราะห์เพิ่มเติมจากแผนภูมิกระแสข้อมูลแบบตรรกะ โดยแผนภูมิแบบกายภาพจะแสดงให้เห็นทราบถึงรายละเอียดในเรื่องของแฟ้มข้อมูลหลัก (Master File) หรือแฟ้มรายการ (Transaction File) หรือลักษณะของกระบวนการว่าเป็นการทำด้วยคนหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือแสดงรายละเอียดการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลหรือรักษาความปลอดภัยของข้อมูล²

ฐานข้อมูล

วิเชียร เปรมชัยสวัสดิ์ (2550) กล่าวว่าไว้ว่าฐานข้อมูลเป็นชุดของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันที่ถูกนำมาจัดเก็บไว้ด้วยกัน เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลเหล่านั้นร่วมกันได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของฐานข้อมูลอย่างง่าย ๆ และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรา ได้แก่ สมุดโทรศัพท์ ซึ่งเป็นการจัดเก็บรวบรวมรายชื่อและเบอร์โทรศัพท์ของผู้ที่เราต้องการติดต่อด้วย หรือ การจัดเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายภายในครอบครัว เป็นต้น การจัดเก็บข้อมูลจะมีประสิทธิภาพได้ก็ต่อเมื่อมีวิธีการจัดการข้อมูลที่ดี กล่าวคือ วิธีการจัดเก็บและค้นคืนข้อมูลต้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เช่น มีการจัดเก็บรายชื่อปาดตามลำดับตัวอักษร เป็นต้น โดยทั่วไปเมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้น การสร้างฐานข้อมูลมักจะกระทำโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย เพื่อให้สามารถจัดเก็บและใช้ข้อมูลเหล่านั้นร่วมกัน ตลอดจนสามารถค้นคืนได้อย่างรวดเร็ว

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการบริหารทรัพยากรขององค์กรได้ดำเนินการตามขั้นตอนการพัฒนากระบวนการมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้
2. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ
3. การพัฒนาระบบและทดสอบระบบ

การกำหนดปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้

ผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิแกงปลาในการกำหนดปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน

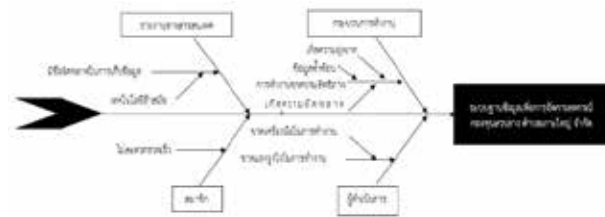


Figure 3 Fishbone diagram of the system

จากการใช้แผนภูมิแกงปลาในการกำหนดปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน พบว่าการทำงานของสหกรณ์นั้นไม่มีการเก็บข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน อีกทั้งการเก็บข้อมูลยังเป็นการเก็บข้อมูลในรูปแบบกระดาษไม่เป็นระเบียบไม่สามารถตรวจสอบ และติดตามข้อมูลการทำงานในแต่ละกระบวนการ ทำให้ทางผู้วิจัยได้ปรับปรุงรูปแบบการเก็บข้อมูลการทำงานในแต่ละขั้นตอน เป็นรูปแบบฐานข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ และติดตามการทำงานในทุกขั้นตอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ มี 2 ขั้นตอนคือ 1) การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน 2) การออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูล 3) การออกแบบฐานข้อมูล

การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้เสร็จสิ้นแล้วได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหารายละเอียดของ List of External Entity, List of Data และ List of Process โดยแสดงดัง Figure 4

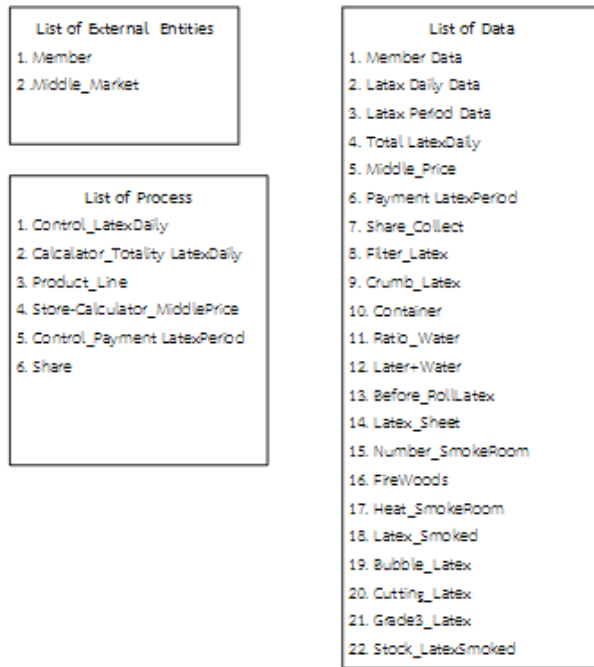


Figure 4 List of External Entity, List of Data and List of Process

การออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูล

การสร้างแผนภาพบริบท (Context Diagram) ซึ่งเป็นแผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุดที่แสดงภาพรวมการทำงานของระบบที่มีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมภายนอก ระบบทั้งยังแสดงให้เห็นขอบเขตและเส้นแบ่งเขตของระบบที่ศึกษา และพัฒนาอันดับแรกของการสร้างแบบจำลองขั้นตอนการทำงานของระบบนักวิเคราะห์ระบบควรจะทำการสร้าง Context โดยแสดงดัง Figure 5

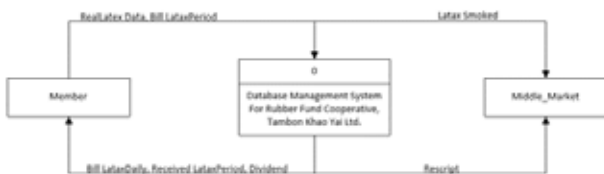


Figure 5 Context diagram of the system

หลังสร้างแผนภาพบริบทเข้าสู่กระบวนการสร้างแผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยโปรเซสหลัก 6 โปรเซสประกอบด้วย บันทึกคูนน้ำยางรายวัน คำนวณยอดรวมน้ำยางรายวัน สายการผลิต เก็บและคำนวณราคากลางยางพารา บัญชีคูนการจ่ายค่าน้ำยางรายงวด ทุนเรือนหุ้น ตามลำดับ โดยแสดงดัง Figure 6

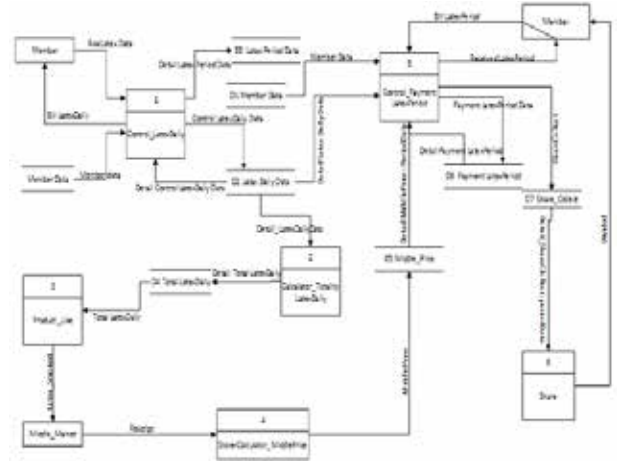


Figure 6 Data flow diagram level-1

แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ในสายการผลิตซึ่งประกอบด้วยโปรเซสหลัก 9 โปรเซสคือ การเตรียมน้ำยางสด เติมน้ำสะอาด การเติมน้ำกรด การแปรรูปเป็นแผ่นยางดิบ การรีดแผ่น การรมควัน การตัดแยกยาง สตีอภยาง และจำหน่าย ตามลำดับ โดยแสดงดัง Figure 7

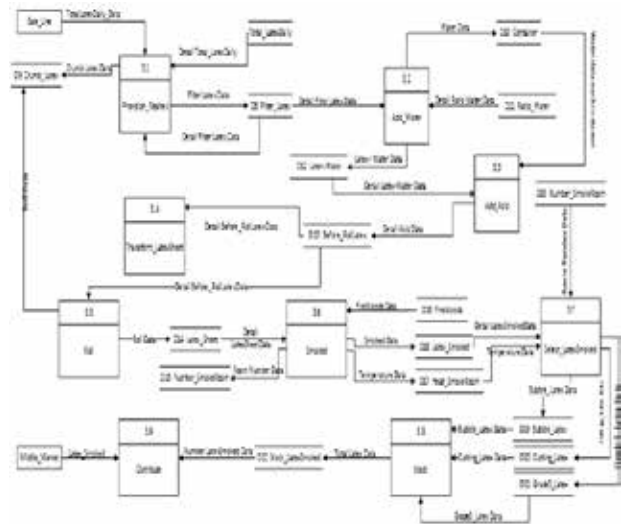


Figure 7 Data flow diagram level-2

การออกแบบฐานข้อมูล

หลังจากที่มีการออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูลก็เข้าสู่กระบวนการออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้โมเดลข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Entity Relationship Model)

การพัฒนาาระบบ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบแล้วนั้น ทำให้ทราบถึงข้อมูลระบบการจัดการและการทำงานของระบบทั้งหมดของการจัดการสหกรณ์กองทุนสวนยางตำบล

เกาะใหญ่ ขึ้นตอนต่อไปเป็นการออกแบบหน้าจอโปรแกรม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาระบบโดยที่การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และการพัฒนาในส่วนต่างๆ ของระบบโดยผู้วิจัยได้ยึดหลักการออกแบบการแสดงผลอย่างมีประสิทธิภาพซึ่ง นัตติมา กวนพา (2553) ได้ให้คำนิยามไว้ดังนี้

1. มีความเรียบง่าย (Simplicity) ใช้งานได้อย่างสะดวก สีของตัวอักษรมองง่ายไม่หลากหลายเกินไป ในส่วนของเนื้อหาที่ใช้ตัวอักษรสีดำบนพื้นขาว สรุปว่าหลักที่สำคัญของความเรียบง่าย คือ การสื่อสารเนื้อหาถึงผู้ใช้โดยจำกัต้องค์ประกอบเสริมที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอให้เสนอเฉพาะส่วนที่จำเป็นเท่านั้น

2. ความสม่ำเสมอ (Consistency) ผู้วิจัยสามารถสร้างความสม่ำเสมอให้กับฟอร์มได้โดยใช้รูปแบบเดียวกันตลอดทั้งฟอร์ม โดยรูปแบบของหน้าฟอร์มและโทนสีที่ใช้ในนั้นเหมือนกันตลอดทุกฟอร์ม

3. เนื้อหาที่มีประโยชน์ (Useful Content) เนื้อหาเป็นสิ่งสำคัญในโปรแกรม ดังนั้นโปรแกรมควรจัดเตรียมเนื้อหาและข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการให้ถูกต้อง โดยมีการปรับปรุงและเพิ่มเติมให้ทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอ

4. มีลักษณะที่น่าสนใจ (Visual Appeal) มีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ มีการปรับปรุงเพิ่มเติมเนื้อหา การใช้งานสะดวก เข้าใจง่าย¹¹

ผลการวิจัย

ผลจากการวิจัย พบว่า ระบบบริหารทรัพยากรองค์กร สำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันในการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน สามารถตอบโจทย์ความต้องการในหลายๆ ด้านของผู้ปฏิบัติงานในสหกรณ์กองทุนสวนยาง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีการเก็บข้อมูลอย่างซับซ้อนและค่อนข้างมีข้อมูลเข้าสู่หน่วยงานมากขึ้นเพิ่มทุกวัน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้บ่อยครั้ง การพัฒนาโปรแกรมนี้จึงช่วยลดระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล แก้ไขข้อมูลหรือลบข้อมูลได้ดีมากขึ้น อีกทั้งยังเกิดความรวดเร็วและได้ข้อมูลที่ครบถ้วนถูกต้องตามความต้องการ ดังแสดงดังรูปที่ 4 รูปที่ 5 และรูปที่ 6 ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งโปรแกรมนี้เป็นต้นแบบในการพัฒนาโปรแกรมอื่น หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบทางด้านข้อมูลสารสนเทศระบบอื่น ๆ ได้ หรือนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาต่อยอดให้มีความสมบูรณ์แบบหรือมีฟังก์ชันการใช้งานมากกว่านี้ เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วให้กับผู้ใช้งานมากขึ้น

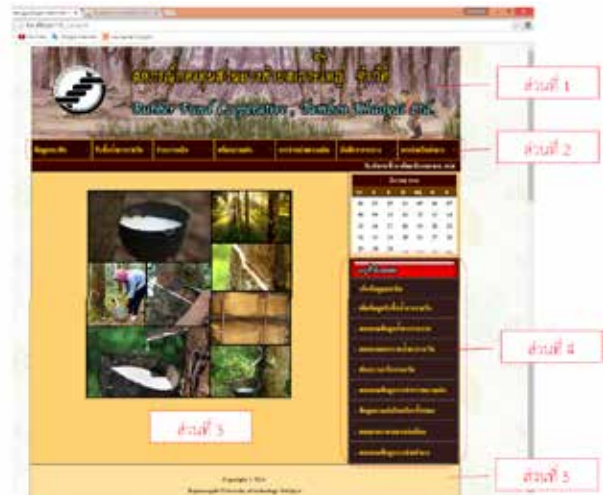


Figure 8 Main screen of the program

หน้าจอแสดงผลหลักถือว่าเป็นหน้าจอแรกที่แสดงผลออกมาเมื่อทำการเปิดโปรแกรมโดยภายในหน้าจอจะเปรียบเสมือนหน้า Homepage ของโปรแกรมโดยในหน้าแสดงผลหลักนี้จะถูกแยกออกเป็น 5 ส่วนด้วยกัน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 แบนเนอร์แสดงชื่อสหกรณ์กองทุนสวนยาง ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด

ส่วนที่ 2 แถบเมนูหลักซึ่งเมื่อทำการเลือกที่เมนูใดเมนูหนึ่งตัวเมนูย่อยของตัวเลือกนั้นก็จะปรากฏออกมาเพื่อให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้งาน

ส่วนที่ 3 ส่วนพื้นที่เนื้อหาที่จะแสดงผลหลังจากที่ผู้ใช้งานได้ทำการเลือกเมนูจากแถบเมนู

ส่วนที่ 4 ส่วนเมนูลัดที่ได้ทำการเชื่อมโยงกับหน้าของข้อมูลที่ผู้ใช้งานใช้บ่อย ช่วยให้สะดวกยิ่งขึ้นโดยที่ไม่ต้องหาเมนูย่อยจากแถบเมนูหลัก

ส่วนที่ 5 ส่วนของ Copyright ใช้แสดงลิขสิทธิ์ของผู้พัฒนาระบบเพื่อป้องกันการลอกเลียนแบบ



Figure 9 Menu screen of member

หน้าจอแสดงการจัดการข้อมูลสมาชิกเป็นเมนูที่ใช้ในการเพิ่ม แก้ไข และพิมพ์ข้อมูลสมาชิกออกมาในรูปแบบเอกสารได้



Figure 10 Menu screen of share

หน้าจอแสดงการสอบถามข้อมูลทุนเรือนหุ้นเป็นเมนูที่ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการทราบว่าสมาชิกคนนี้มีหุ้นสะสมในระบบอยู่เท่าไรโดยที่จะสามารถที่จะสอบถามข้อมูลหุ้นสะสมทั้งหมด แบบรายปี หรือแบบรายเดือน



Figure 11 Menu screen of Control_LatexDaily

หน้าจอแสดงเกี่ยวกับการบันทึกการรับซื้อน้ำยางรายวัน ข้อมูลสมาชิกพร้อมทั้งมีการคำนวณค่าบางค่าออกในได้อย่างอัตโนมัติ



Figure 12 Menu screen of smoke room

หน้าจอแสดงการบันทึกการใช้ห้องรมควันเป็นเมนูที่ใช้สำหรับบันทึกและตรวจสอบว่าห้องที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันมีสถานะการใช้งานห้องอย่างไรหากว่าใช้งานอยู่จะมีกำหนดยางออกวันที่เท่าไรเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิห้องในการรมควันแผ่นยางให้ได้คุณภาพมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบบริหารทรัพยากรองค์กรสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยางบนเว็บแอปพลิเคชัน จากการพัฒนาระบบโดยใช้สหกรณ์กองทุนสวนยางตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกะแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา เป็นสหกรณ์ต้นแบบในการรวบรวมข้อมูลและพัฒนาโปรแกรม เพื่อวัดประสิทธิภาพจากผู้ใช้จากระบบ นักวิจัยจึงได้ทำการสำรวจความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจากสหกรณ์กองทุนสวนยางต้นแบบไปยังสหกรณ์กองทุนสวนยางในพื้นที่อื่นๆ ในจังหวัดสงขลา โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง ประกอบด้วย (1) พื้นที่อำเภอกะแสสินธุ์ จำนวน 2 สหกรณ์ ประกอบด้วย สหกรณ์กองทุนสวนยางตำบลเกาะใหญ่ และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านยางทอง (2) พื้นที่อำเภอรัตนภูมิ จำนวน 3 สหกรณ์ ประกอบด้วย สหกรณ์กองทุนสวนยางบนควนพาราทอง สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านคลองแก้ว และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านคลองเขาล่อน (3) พื้นที่อำเภอสะเดา จำนวน 2 สหกรณ์ ประกอบด้วย สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านทุ่งหลุมนก และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านไร่ดก (4) พื้นที่อำเภอหาดใหญ่ 4 สหกรณ์ ประกอบด้วย สหกรณ์กองทุนสวนยางฉลุงพัฒนา สหกรณ์กองทุนสวนยางท่าข้ามพัฒนา ยางสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านทุ่งปรือ และสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านพรุชบาพัฒนา (5) พื้นที่อำเภอเมืองสงขลา จำนวน 3 สหกรณ์ ประกอบด้วย สหกรณ์กองทุนสวนยางดอนขี้เหล็กพัฒนา สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านดอนขี้เหล็ก และสหกรณ์

กองทุนสวนยางบ้านทรายขาว ตามลำดับ โดยจัดลำดับของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังนี้ (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2551) ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.21-5.00 คือ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.20 คือ มีระดับความพึงพอใจมาก ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61-3.40 คือ มีระดับความพึงพอใจปานกลาง ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.81-2.60 คือ มีระดับความพึงพอใจน้อย และค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.80 คือ มีระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ได้สำรวจระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ แบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบ จำนวน 5 ข้อ ด้านเสถียรภาพระบบ จำนวน 6 ข้อ และด้านประโยชน์ของระบบต่อการปฏิบัติงาน จำนวน 4 ข้อ ตามลำดับ โดยสรุปผลจากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ดังแสดงผลการวิเคราะห์ใน Table 1

Table 1 The average and standard deviation of the satisfaction level of Rubber Replanting Aid Fund Cooperative

ความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ	\bar{x}	S.D.	ระดับ
ด้านการออกแบบระบบ			
1. รูปแบบการใช้งานระบบ ความง่ายในการเข้าถึงข้อมูล	4.79	0.426	มากที่สุด
2. ระบบข้อมูลเป็นหมวดหมู่	4.50	0.519	มากที่สุด
3. กระบวนการทำงานของระบบ มีความรวดเร็วในการเรียกใช้บริการ	4.79	0.426	มากที่สุด
4. การออกแบบให้ใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน	4.71	0.469	มากที่สุด
5. ความสะดวกในการใช้งาน โปรแกรม รูปแบบและวิธีการนำเสนอข้อมูล	5.00	0.000	มากที่สุด
ด้านเสถียรภาพระบบ			
1. ความถูกต้องแม่นยำของระบบ	4.64	0.497	มากที่สุด
2. ระบบมีประสิทธิภาพ	4.50	0.519	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมในการใช้งาน ข้อมูลตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้	4.86	0.363	มากที่สุด
4. มีความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล	4.79	0.426	มากที่สุด
5. ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูล	5.00	0.000	มากที่สุด

Table 1 The average and standard deviation of the satisfaction level of Rubber Replanting Aid Fund Cooperative (continue)

ความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ	\bar{x}	S.D.	ระดับ
6. ระบบสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา	5.00	0.000	มากที่สุด
ด้านประโยชน์ของระบบต่อการปฏิบัติงาน			
1. เพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานรวดเร็วขึ้น	5.00	0.000	มากที่สุด
2. ช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล และการประมวลผลข้อมูลในการจัดทำรายงาน	4.79	0.426	มากที่สุด
3. ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ	4.71	0.469	มากที่สุด
4. ความสามารถของระบบในการนำไปใช้ประโยชน์	5.00	0.000	มากที่สุด
5. ความพึงพอใจในภาพรวมต่อการใช้งานระบบ	4.80	0.142	มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2557 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

1. วิเชียร เปรมชัยสวัสดิ์. ระบบฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2550.
2. ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนวย. การออกแบบและบริหารฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ดวงกมลสมัย; 2552.
3. โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ และ สมโภชน์ ชื่นเอี่ยม. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2558.
4. อรยา ปรีชาพาณิช. คู่มือเรียน การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design) ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: สำนักพิมพ์ไอดีซี พีริเมียร์; 2557.
5. ณีภูฐานันท์ เจริญนนท์. การวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2551.
6. กรมอาเซียน กระทรวงต่างประเทศ. 2560. ประชาคมอาเซียน. สืบค้นวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560 จาก <http://www.mfa.go.th/asean/contents/files/other-20170419-093427-318548.pdf>

7. สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. 2560. Enterprise Resource Planning (ERP). สืบค้นวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2560 จาก <https://www.etda.or.th/content/1830.html>
8. พจนานุกรม ราชบัณฑิตยสถาน. 2560. สหกรณ์. สืบค้นวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560 จาก <http://www.royin.go.th/?knowledges=สหกรณ์-๒๖-สิงหาคม-๒๕๕๓>
9. ศิริชัย พงษ์วิชัย. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
10. สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. (2553) รายงานการเงินและงบการเงินประจำปี 2553. สืบค้นวันที่ 18 มีนาคม 2557 จาก http://www.raot.co.th/ewt_dl_link.php?nid=2773
11. นัตติมา กวนพา. การออกแบบเว็บไซต์ง่ายๆ สไตล์มืออาชีพด้วย Dream Weaver CS4. กรุงเทพมหานคร: โรงเรียนอินเทอร์เน็ทและการออกแบบ; 2553.
12. ณัฐพล คชาลัยยืน. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบ ERP: กรณีศึกษา ระบบ Navision ของบริษัท ปทุมโรสมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2551
13. สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจหลักทรัพย์. 2557. การผลิตยางพาราของโลกและประเทศผู้ผลิตสำคัญ. สืบค้นวันที่ 10 มีนาคม 2557 จาก <http://www.aftc.or.th/>
14. นายอาคม สงวนหมู่. สำนวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ERP-SAP ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2549
15. สวรินทร์ ประดิษฐ์อุกฤษฏ์, รัชชานา สินธวาลัย, นภิสพร มีมงคล. การประเมินประสิทธิภาพของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธี DEA. วารสารวิจัย มข 2556;(18)5:793-802
16. นฤมล พุกษา, บัญชา สมบูรณ์สุข, จิตติ มงคลชัยอรัญญา, สายัณห์ สดุด. รูปแบบเครือข่ายสหกรณ์กองทุนสวนยาง : กรณีศึกษาสหกรณ์กองทุนสวนยาง ในอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา. วารสารหาดใหญ่วิชาการ 2554;(9)1:33-7
17. สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. คู่มือส่งเสริมสหกรณ์กองทุนสวนยาง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2538.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

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

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้ส่งงานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า

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

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

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

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

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

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

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

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ 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) ระบุนาม หน่วยงานวิจัยที่ได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

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

1. การอ้างอิงหนังสือ

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

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

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

2. การอ้างอิงจากวารสาร

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

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

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

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

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

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. 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 บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

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

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

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

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

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

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

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

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

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

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

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

6. Organization of research articles.

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

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

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

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

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

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

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

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

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

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

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

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

Submission of manuscripts

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakham University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.

The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

Review of manuscripts:

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



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

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

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

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

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

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณัติหรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ทำxonยาง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครระเศษฐัง กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 00033



Membership Application Form

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

- One-Year membership (400 Baht)
- Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 00033