



Volume 38 Number 3 May - June 2019

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 38 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2562

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 38 Number 3 May - June 2019



ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2562

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 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไฉน
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วีระชา ปรเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณมา บุญยสิทธิ์พรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธีวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

เลขานุการ

นางพักตร์วิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

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

Editorial Board

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

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

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirarat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

มีคำกล่าวของ Albert Szent-Gyorgyi ว่า “Research is to see what everybody else has seen, and to think what nobody else has thought” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ดีใจที่ได้มีส่วน ในการเผยแพร่แนวคิดใหม่ๆ และองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากการวิจัยสู่สาธารณะเสมอมา ในวารสารฉบับนี้ ประกอบไปด้วยบทความวิชาการ 1 บทความ ด้านการประมาณค่าความหนาแน่นของแดงโมจากการวิเคราะห์ภาพ และมีบทความวิจัยทั้งหมด 11 บทความ ด้าน Physical Science 1 บทความ ด้าน Biological Science 2 บทความ ด้าน Health Science 2 บทความ ด้าน Computer and Information Science 4 บทความ และด้าน Environmental Science อีก 2 บทความ ทุกบทความได้ผ่านขบวนการ double-blind peer review โดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้นๆ และได้รับข้อคิดเห็นทางเทคนิคเพื่อแก้ไข ก่อนจะได้รับการตีพิมพ์ กองบรรณาธิการพยายามเลือกผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญตรงกับบทความที่เสนอเข้ามาจริงๆ และกรณีความเห็นผู้เชี่ยวชาญขัดแย้งกัน ก็จะมีการหาผู้ทรงคุณวุฒิเพิ่มเติม เพื่อสรุปผลการตอบรับ การพิจารณาบทความที่เข้มงวดนี้ อาจทำให้หลายบทความที่ส่งเข้ามา แล้วมี contribution ไม่เพียงพอ หรือมี research methodology ที่ไม่เข้มแข็งพอ ถูก reject อยู่เป็นจำนวนไม่น้อย แต่ก็เพื่อดำรงไว้ซึ่งคุณภาพของวารสาร

การจัดทำวารสารฉบับนี้สำเร็จได้ด้วย ผู้ส่งบทความที่เสียสละเวลาเขียนบทความ ส่งเข้าร่วมพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ ทั้งที่ได้รับความตอบรับและปฏิเสธ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ตอบรับทำหน้าที่ peer reviewers ที่ได้สละเวลาในการให้ความเห็นทางเทคนิค เจ้าหน้าที่ประจำกองวารสาร ทีมกองบรรณาธิการทุกท่าน และการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในนามของกองบรรณาธิการ ต้องขอขอบพระคุณทุกท่านและทุกฝ่าย เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ผศ.ดร. สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ความหลากหลายชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์อยู่ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูชาด-บ้านคูสีแจ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดศรีสะเกษ

ภาพปก : ศรัญญา ก่อพันธ์ และคณะ. 2562, 247-262.

สารบัญ

Physical Science/บทความวิชาการ

การประมาณค่าความหนาแน่นของแตงโมจากการวิเคราะห์ภาพสองมิติ 228

The estimation of the watermelon density from a two-dimensional photograph

ชูจิต สาระภาค

Choojit Sarapak

Physical Science/บทความวิจัย

เทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน 233

Complex Relative Permittivity Measurement Techniques

นาวรัตน์ พิลาด่าง, นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์

Nawarat Piladaeng, Niwat Angkawisittpan

Biological Science

ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กุย 247

ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสี่แจ อำเภอบึง จังหวัดศรีสะเกษ

Species Diversity and Utilization of Medicinal Plants by the Kuoy Tribe

in Khok Khu Khat-Ban Khu Si Chae Community Forest, Phrai Bueng District, Sisaket Province

ศรัญญา ก่อพันธ์, ธวัชชัย ธานี, สมบัติ อัมระภา

Sarunya Khopan, Tawatchai Tanee, Sombat Appamaraka

ผลจากการปรุงประกอบอาหารและการย่อยอาหารในหลอดทดลองต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 263

และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพืชจากป่าชุมชน

The Effect of Traditional Cooking and In Vitro digestion

on Total Phenolic and Antioxidant Activity of Selected Thai Local Plants

ภคพร ปางพุดพิงษ์, อำพร แจ่มผล, กานต์สุตา วันจันทิก, จริญญา ชูศักดิ์,

สิริชัย อติศักดิ์วัฒนา, พรทิพย์ พสุกมลเศรษฐ์

Pakaporn Pangputhipong, Amporn Jamphon, Kansuda Wunjuntuk, Charoonsri Chusak,

Sirichai Adisakwattana, Porntip Pasukamonset

Health Science

ความชุกของพาหะธาลัสซีเมียในนิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 274

Prevalence of Thalassemia Carriers among Health Science Students at Mahasarakham University

จงกลณี ธนาไสย์, เบญจมาศ อรุณพาส

Jongkonnee Thanasai, Benjamat Aroonpas

สารบัญ

ความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพศหญิง 282
ในอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย

**Prevalence of Musculoskeletal disorders among female pottery workers in Khiri Mat,
Sukhothai Province, Thailand**

วริยา เคนทาวาย, อัมรินทร์ คงทวีเลิศ, ดุสิต สุจิราวัฒน์, เพชรรัตน์ ภูอนันตานนท์

Wariya Kentawai, Amarin Kongtawelert, Dusit Sujirarat, Petcharatana Bhuanantanondh

Computer and Information Science

การค้นหากฎความสัมพันธ์ข้อมูลชนิดใหม่เพื่อพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ 292

**The Search of Data Association Rules of New Undergraduate Students
to Develop the Online Curricular Public Relations System**

อนันต์ ปินะเต

Anan Pinate

การวิเคราะห์การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อเส้นทางการไหลของน้ำบริเวณโดยรอบจุดสิ้นสุด
โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 301

**An Analysis of Build-Up Growth Impacts to Water Stream Line of Motorway-6 Project
End Point in Muang District of Nakhon Ratchasima Province**

ปวิวัตติ ฤทธิเดช, สาทิต แสงประดิษฐ์, นุชนาฏ บัวศรี, นฤเศรษฐ์ ประเสริฐศรี, ธีรญา อุทธา

Patiwat Littidej, Satiith Saengpradit, Nutchanat Buasri, Narueset Prasertsri, Theeraya Uttha

โปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวภายใต้ข้อบังคับด้านความปลอดภัย 316

A Travel Itinerary Planning Application under Safety Constraints

จิติมนต์ อังสกุล, สรชัย กมลลิมสกุล, ธรา อังสกุล

Jitimong Angskun, Sorachai Kamollimsakul, Thara Angskun

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
ในการพยากรณ์น้ำท่วมเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ 330

**Influence Factors The Performance Of Artificial Neural Network Model
For Flood Forecast: Case Study Chiangmai Municipality**

ยุพิน ไชยสมภาร, ทวี ชัยพิมลผลิน

Yupin Chaisompran, Tawee Chaipimonplin

สารบัญ

Environmental Science

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตร
อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ 338

**Assessment of Carbon Stock and the Potential Income of the Carbon Offset in Agroforestry System,
Lablare District, Uttaradit Province**

ชาติทอง โพธิ์แดง, สุภาวดี น้อยน้ำใส, ปริญญา ไกรวุฒินันท์

Chattanong Podong, Suphawadee Noinamsai, Parinya Krivuttinun

การประเมินประสิทธิภาพระบบประปาหมู่บ้านในจังหวัดสกลนคร

353

Efficacy Assessment of a Rural Water Supply in Sakon NaKhon Province

จิรวัดน์ สุขโกศล, พานทอง สุขโกศล

Jirawat Supakosol, Pantong Supakosol

การประมาณค่าความหนาแน่นของแตงโมจากการวิเคราะห์ภาพสองมิติ

The estimation of the watermelon density from a two-dimensional photograph

ชูจิต สาระภาค

Choojit Sarapak

Received: 16 January 2019 ; Revised : 18 March 2019 ; Accepted: 1 May 2019

บทคัดย่อ

การประมาณค่าความหนาแน่นของแตงโมจากหลักการเชิงเรขาคณิตโดยการถ่ายภาพแตงโมที่อยู่ในภาชนะบรรจุน้ำ การประมาณค่าความหนาแน่นดังกล่าวไม่จำเป็นต้องวัดค่าความยาว ความกว้างและความสูงของผลแตงโม โดยแตงโมดังกล่าวจะถูกสมมติให้มีรูปร่างเป็นทรงกลม ผลจากทฤษฎีในการประมาณค่าจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้โดยผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนฟิสิกส์ได้

คำสำคัญ : การประมาณค่าความหนาแน่น หลักการเชิงเรขาคณิต

Abstract

The density of a watermelon floating in a container of water is estimated with a simplified method from theoretical geometry without consideration of three –dimensional effects. The watermelon was approximated as a sphere. The results of the theoretical geometry can be compared with the results from the laboratory and the result can be introduced to physics classes.

Keywords : density estimation, theoretical geometry,

บทนำ

การพัฒนากิจกรรมในห้องเรียนฟิสิกส์เกี่ยวกับเรื่อง ความหนาแน่นของวัตถุซึ่งสัมพันธ์กับการจมและ การลอยนั้นสามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนกับ นักศึกษาที่เรียนวิชาฟิสิกส์ได้ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวทำให้ผู้เรียนเกิดความสนุกและตื่นตัวกับกิจกรรม ผู้วิจัย ได้นำผลไม้หลายชนิดใส่ในภาชนะที่มีบรรจุน้ำอยู่แล้ว ให้นักศึกษาลองหาความหนาแน่นของผลไม้ในแต่ละชนิดโดยผลไม้ดังกล่าวมีขนาดต่าง ๆ กัน สำหรับแตงโมนี้ผู้วิจัยจะถามคำถามให้ผู้เรียนตอบว่าแตงโมดังกล่าว จะจมหรือลอย แต่ถ้ากรณีที่ไม่ได้นำแตงโมมาในชั้น เรียนผู้ทดลองสามารถนำภาพถ่ายของแตงโมที่อยู่ใน ภาชนะบรรจุด้วยน้ำแสดงให้ผู้เรียนดูดัง Figure 1 แล้วถามคำถามว่า “แตงโมจมหรือลอย” ถ้าต้องการทราบความหนาแน่นของแตงโมนี้จะทำ อย่างไร แน่นอนว่าผู้เรียนต้องมีการประมาณค่าคู่กับการคำนวณค่าไปพร้อมกัน¹ จาก Figure 1 ดังกล่าว ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นและปริมาตรของแตงโม เป็น ρ_m และ V_m ตามลำดับ ดังนั้นมวลของแตงโม จะสามารถหาได้จาก

$$m_m = \rho_m V_m \quad (1)$$

ส่วนน้ำหนักก็สามารถหาได้จาก

$$w_m = \rho_m V_m g \quad (2)$$

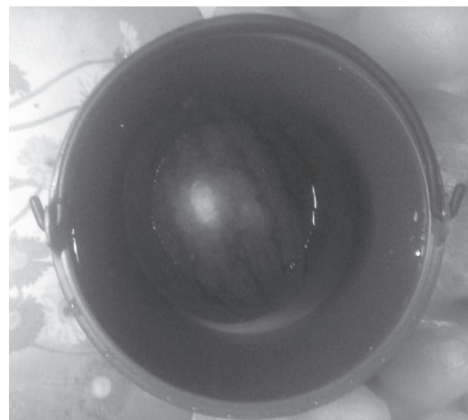


Figure 1 Watermelon in water

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

¹ Assistant Professor, Physic, Faculty of Science and Technology, Surin Rajabhat University

* E-mail:csarapak@gmail.com

ถ้าปล่อยลูกแตงโมลงในน้ำ นั่นคือ การนำเอาปริมาตรของแตงโมลงไปแทนที่ในปริมาตรของน้ำซึ่งแทนด้วย V_w และกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำเป็น ρ_w ดังนั้นน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยลูกแตงโมจึงเป็น $w_w = \rho_w V_w g$ จะสอดคล้องกับหลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes' principle) เมื่อแตงโมลอย อย่างสมดุลในน้ำจะสามารถเขียนสมการได้เป็น $\rho_m V_m = \rho_w V_w$ ดังนั้นจึงสามารถหาความหนาแน่นของแตงโมจากสมการ

$$\rho_m = \frac{\rho_w V_w}{V_m} \tag{3}$$

เมื่อทราบความหนาแน่นของน้ำแล้วหมายความว่าผู้ทดลองจำเป็นต้องทราบเพียงอัตราส่วนของปริมาตรของแตงโมที่จมน้ำต่อปริมาตรของแตงโมทั้งหมดเพื่อที่จะทราบค่าความหนาแน่นของแตงโมดังกล่าว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การทดลองครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ ดังนี้

- (1) กล้องถ่ายรูป หรือกล้องถ่ายรูปจากโทรศัพท์มือถือ
 - (2) แตงโม
 - (3) ภาชนะที่บรรจุด้วยน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าลูกแตงโม
- เมื่อถ่ายภาพแตงโมแล้วให้นำภาพดังกล่าวมาพิจารณา (อาจจะแสดงบนเครื่องฉายภาพหนึ่งเพื่อให้ผู้เรียนทุกคนได้ร่วมกันพิจารณา) การพิจารณาครั้งนี้ให้ถือว่าแตงโมมีรูปร่างที่เป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์ดัง Figure 2 และ Figure 3

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การหาปริมาตรย่อยของทรงกลม

เพื่อที่จะหาสมการความสัมพันธ์ของปริมาตรของแตงโมที่ลจไปแทนที่ปริมาตรของน้ำ V_w กำหนดให้ r เป็นรัศมีของทรงกลมจะมีละติจูดตัดขวางที่มีมุม θ และระดับน้ำที่แตงโมจมน้ำมีละติจูดรัศมี w ซึ่งเป็น ด้านตรงข้ามมุม θ_0 ดัง Figure 2 ถ้ากำหนดให้ ทรงกลมประกอบไปด้วยแผ่นบางๆ ที่ถูกเฉือนแบ่งออกเป็นแผ่นๆ ดัง Figure 3 โดยรัศมีของแผ่นบาง ดังกล่าวเป็น $r \sin \theta$ ส่วนโค้งของขอบแผ่นบาง มีขนาดเป็น $rd\theta$ และแผ่นดังกล่าวมีความหนาเป็น $rd\theta \sin \theta$ ปริมาตรของแผ่นดังกล่าวสามารถเขียนได้เป็น $\pi r^3 \sin^3 \theta d\theta$ ดังนั้น

$$V_0 = \pi r^3 \int_{\theta_0}^{\pi} \sin^3 \theta d\theta = \pi r^3 \left[\frac{1}{3} \cos^3 \theta - \cos \theta \right]_{\theta_0}^{\pi}$$

$$V_0 = \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + \frac{1}{2} \cos \theta_0 (3 - \cos^2 \theta_0)) \tag{4}$$

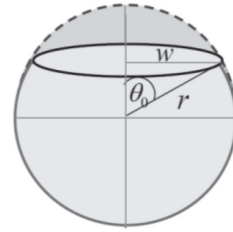


Figure 2 Geometry of sphere (watermelon)

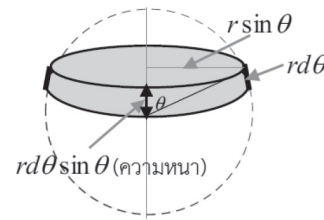


Figure 3 Slice of sphere

การหาปริมาตรที่จมน้ำในน้ำและความหนาแน่นของแตงโม

จาก Figure 1. ถ้าพิจารณารูปแตงโมนั้นมีความยากมากในการหาค่ามุม θ_0 ได้โดยตรงเพื่อลดความยุ่งยาก ดังนั้นจึงหาค่ามุมจากความสัมพันธ์ $\sin \theta_0 = \frac{w}{r}$ และ กำหนดให้ μ เป็นอัตราส่วนของ เส้นผ่าศูนย์กลางของละติจูดที่มีรัศมี w แทนด้วย $D_w = 2w$ และเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกึ่งกลางทรงกลม (เส้นศูนย์สูตร) คือ $D_r = 2r$ โดย $\mu = \frac{D_w}{D_r}$ แล้วแทนค่า $\cos \theta_0$ ด้วย $\sqrt{1 - \mu^2}$ ในสมการที่ 4 จะได้

$$V_0 = \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + (1 + \frac{1}{2} \mu^2 \sqrt{1 - \mu^2})) \tag{5}$$

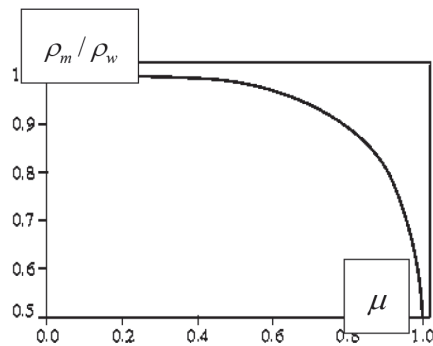


Figure 4 Graph of the relationship between³

$\frac{\rho_m}{\rho_w}$ and μ ถ้าปริมาตรของแตงโมเป็น $V_m = \frac{4}{3} \pi r^3$ จะสามารถเขียนอัตราส่วนของปริมาตรที่จมน้ำได้เป็น

$$\frac{V_w}{V_m} = \frac{1}{2} \left(1 + \left(1 + \frac{1}{2} \mu^2 \right) \sqrt{1 - \mu^2} \right) \quad (6)$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการที่ 3 ใหม่ได้เป็น

$$\frac{\rho_m}{\rho_w} = \frac{1}{2} \left(1 + \left(1 + \frac{1}{2} \mu^2 \right) \sqrt{1 - \mu^2} \right) \quad (7)$$

ดังนั้นความแม่นยำในการหาอัตราส่วนปริมาตรของ แดงโม และความหนาแน่นของแดงโมจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วน μ ดัง Figure 4 แสดงถึงกราฟอัตราส่วน ของปริมาตรของ แดงโมที่จมในน้ำกับปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่นั่นคือ $\frac{V_w}{V_m}$ หรือมีค่าเท่ากับ $\frac{\rho_m}{\rho_w}$ คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของลูก แดงโมต่อความหนาแน่นของน้ำในฟังก์ชันของ μ อัตราส่วน ดังกล่าวจะเริ่มที่ 1 เมื่อ $\mu = 0$ ซึ่งนั่นคือแดงโม จมในน้ำอย่าง สมบูรณ์ (ไม่มีส่วนที่อยู่เหนือน้ำ) อัตราส่วนระหว่าง $\frac{\rho_m}{\rho_w}$ จะ ลดลงอย่างช้าๆ ขณะที่ค่า μ จะเพิ่มขึ้น จาก Figure 2 จะเห็น ว่าถ้าค่า μ มีค่าน้อยแสดงว่าส่วนปริมาตรในส่วนที่อยู่เหนือ น้ำจะมีค่าน้อยลง ถ้าเปรียบเทียบกับโลก ก็คือละติจูดที่ พิจารณาจะอยู่ใกล้กับขั้วโลกเหนือนั่นเอง (สังเกตส่วนที่เป็น เส้นประใน Figure 2 อัตราส่วนดังกล่าวจะค่อยๆ ลดลงจนเมื่อ $\mu \approx 0.7$ และหลังจาก $\mu \approx 0.85$ อัตราส่วนจะลดลงอย่าง รวดเร็ว

ความจริงแล้วการคำนวณหาค่า μ นั้น มีความ ซับซ้อนมากถ้าพิจารณาจากรูปที่เป็นเพียง 2 มิติ นอกจากนั้น เส้นผ่าศูนย์กลาง D_w และ D_r นั้นไม่ได้อยู่ในแนวระนาบ เดียวกันนี่คือสิ่งที่น่าข้อ จำกัดอย่างไรก็ตามจะเห็นว่าถ้าค่า $\mu \approx 0.7$ หรือน้อยกว่า สำหรับแดงโมนั้น ค่าความหนาแน่น ที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อน ในการวัดค่า μ ดังกล่าว

การประมาณค่าโดยไม่พิจารณาการหักเหของ แสงในพื้นน้ำและส่วนที่แยกจากกันระหว่าง D_w และ D_r

สมมติว่ากำหนดให้ D_w และ D_r อยู่ในระนาบในแนว ระดับเดียวกัน โดยการวัด w และ r' จะทำบนภาพถ่ายที่ได้ โดยใช้ไม้บรรทัดในการวัดค่า ซึ่งผลที่ได้สามารถแสดงตาม table 1 จะพบว่าค่า μ ที่ได้จะอยู่ประมาณ 0.83 เมื่อแทนค่า μ ลงในสมการที่ 7 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{\rho_m}{\rho_w} &= \frac{1}{2} \left(1 + \left(1 + \frac{0.68}{2} \right) \sqrt{1 - 0.68} \right) \\ \frac{\rho_m}{\rho_w} &= \frac{1}{2} \left(1 + (1.34) \sqrt{0.32} \right) \\ \rho_m &= 0.87 \text{ gcm}^{-3} \end{aligned}$$

Table 1 Estimation ρ_m without considering the refraction at water surface and the spatial separation between D_w and D_r

Watermelon	D_w	D_r	μ	ρ_m
w1	12	13.7	0.87	0.83
w2	10.3	11.6	0.88	0.82
w3	11	13	0.84	0.86
w4	11.2	13.5	0.83	0.87
w5	11.5	13.6	0.84	0.86

การประมาณค่าโดยไม่พิจารณาการหักเหของ แสงในน้ำแต่พิจารณาส่วนที่แยกจากกันระหว่าง D_w และ D_r

ในกรณีที่กำหนดให้ D_w และ D_r ไม่ได้อยู่ใน ระนาบ เดียวกันนั่นหมายความว่า D_r จะมีขนาดที่ยาว กว่า D_w นั่นคือ ค่า μ จะน้อย ดังนั้นแนวโน้มของการ เพิ่มขึ้นของอัตราส่วน ของปริมาตรที่จมน้ำและการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของ แดงโม จะสามารถอธิบายได้จาก Figure 5

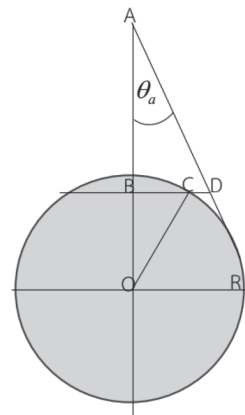


Figure 5 Radius on the photograph is BD while the camera is on A and no light refraction at D

ให้ A เป็นตำแหน่งของกล้องถ่ายรูป ซึ่งสมมติว่ามี ความสูงจากระดับน้ำมาก จะแสดงให้เห็นว่าระนาบใน แนวราบผ่านจุด B, C และ D ถ้ากล้องถ่ายรูปอยู่สูง พอจะทำให้ เห็นว่า ละติจูดที่พิจารณานั้นอยู่ใกล้จุด กึ่งกลาง (บริเวณ ศูนย์สูตร) โดยไม่พิจารณาการหักเห ของแสงที่จุด D จาก Figure 5 กำหนดให้ $BC = w$ และ $OC = OR = r$ และ $BD = r'$ ซึ่งคือรัศมี ปรากฏบนพื้นผิวน้ำจะเห็นได้ชัดว่ารัศมี จริงของแดงโม จะมีขนาดมากกว่ารัศมีที่วัดได้จากภาพ

เพื่อที่จะหาค่าความยาวของ D_w และ D_r ก่อนอื่น จะกล่าวถึงภาพขณะที่บรรจุน้ำนั่นคือภาพที่ใช้ตามบ้านเรือน

ทั่วไปซึ่งมีขนาดความสูงประมาณ 22 เซนติเมตร ระดับน้ำในภาชนะดังกล่าวเกือบจะเต็ม ดังนั้นเมื่อวัดค่า $w = 5.6 \text{ cm}$ และ $r' = 6.75 \text{ cm}$ ความสูงของภาชนะ คือ 22 เซนติเมตร ข้อมูลทั้งหมดนี้จะถูก นำมาใช้หาระยะ AB นั่นคือ h เมื่อรัศมีของลูกแตงโม

จากการวัดจากภาพ Figure 5. คือ $\tan \theta_a$ ซึ่งเท่ากับ r'/h และ $r/(h^2 + \sqrt{r^2 - w^2})$ จากสามเหลี่ยม ABD และ AOR ตามลำดับ (สมมติว่าเส้น ADR คือ ด้านตรงข้ามมุมฉากของสามเหลี่ยม AOR และถ้าระยะ OA มีค่ามากจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก) จาก Figure 5 สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$(h^2 - r'^2)r^2 - 2h^2r'r + r'^2(h^2 + w^2) = 0 \quad (8)$$

จะได้

$$r = \left(\frac{h^2 \pm \sqrt{h^2(r'^2 - w^2) + r'^2w^2}}{h^2 - r'^2} \right) r' \quad (9)$$

กรณีถ้าผู้ถ่ายภาพสูงประมาณ 153 เซนติเมตร และตั้งกล้องถ่ายภาพสูงจากพื้นเป็น 72 เซนติเมตร เนื่องจากภาชนะบรรจุน้ำสูง 22 เซนติเมตร ระยะ AB จึงเป็น $h = 50$ เซนติเมตร แทนค่า r' และ w ลงในสมการที่ 9 จะได้ $r = 7.40$ เซนติเมตร ดังนั้น $\mu = \frac{w}{r} = \frac{5.6}{7.40} = 0.75$ (ใช้ $r = 7.20$ เนื่องจาก r ต้องมีค่ามากกว่า r') จะเห็นว่าค่า μ มีค่าน้อยลง (สมมติว่าแนวกึ่งกลาง (แนวศูนย์กลางสูตร) ของแตงโมอยู่ ตรงระดับน้ำพอดี) ซึ่งแตงโมมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ดังนั้น $\mu^2 = 0.57$ แทนลงในสมการที่ 7 จะได้เป็น

$$\frac{\rho_m}{\rho_w} = \frac{1}{2} \left(1 + \left(1 + \frac{0.57}{2} \right) \sqrt{1 - 0.57} \right)$$

$$\rho_m = 0.92 \text{ gcm}^{-3}$$

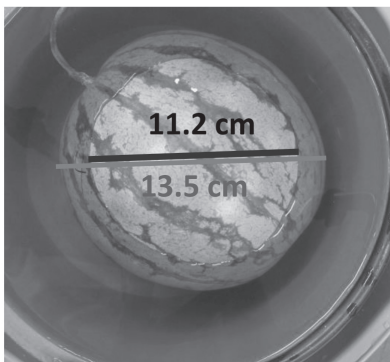


Figure 6. Diameters on the photograph as $D_w = 11.5 \text{ cm}$ and $D_{r'} = 13.5 \text{ cm}$

Table 2 Estimation ρ_m by considering the spatial separation between D_w and D_r but no the refraction at water surface

Watermelon	w	r	μ	ρ_m
w1	6	7.5	0.80	0.89
w2	5.15	6.2	0.83	0.87
w3	5.5	7.1	0.77	0.91
W4	5.6	7.4	0.75	0.92
W5	5.75	7.4	0.77	0.91

การตรวจสอบความแม่นยำในการหาค่าความหนาแน่น

ปฏิบัติการนี้เป็นการตรวจสอบความแม่นยำ ในการหาค่าความหนาแน่นของแตงโมโดยการหาความหนาแน่นของแตงโมนี้จะทำในห้องปฏิบัติการ การหาปริมาตรในการจมน้ำของแตงโมทำได้โดยการเติมน้ำในภาชนะเดียวกับใน Figure 1 ให้เต็มแล้วค่อย ปล่อยลูกแตงโมลงไป น้ำ จากนั้นหาปริมาตรของน้ำที่ไหลล้นออกมา ส่วนน้ำหนักของแตงโมหาได้จากเครื่องชั่งดิจิตอล จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังที่แสดงใน Table 3 ซึ่งค่าที่ค่อนข้าง สอดคล้องกับการคำนวณโดยหลักการเชิงเรขาคณิต⁴ ดัง table 4 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากแตงโมที่เลือกมามีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม และความหนาแน่นของเนื้อแตงโม ค่อนข้างที่จะเป็นเนื้อเดียวกัน(ไส้แตงโมไม่ขาด) ซึ่งแตงโมนิดนี้มีเมล็ดกระจายอยู่กับเนื้อของแตงโมซึ่งจะไม่มีผลกับค่าความ ไม่แม่นยำของอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง $\mu = \frac{D_w}{D_r}$ ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

Table 3 Verification of watermelon density from Archimedes' principle

A (cm)	B (cm)	m(kg)	V (L)	ρ_m
16.42	16.71	2.12	2.177	0.97
14.64	14.80	1.53	1.450	1.05
16.48	16.56	2.04	2.225	0.92
15.92	16.24	2.14	2.177	0.97
16.57	16.65	2.16	2.22	0.97

A คือ ความยาวของแตงโมในแนวตามขวาง

B คือ ความยาวของแตงโมในแนวตามยาว

M คือ มวลของแตงโม

V คือ ปริมาตรของแตงโมจากการแทนที่น้ำ

Table 4 The density of watermelon from the experiments

Watermelon	ρ_{m1}	ρ_{m2}	ρ_{m3}
w1	0.83	0.89	0.97
w2	0.82	0.87	1.05
w3	0.86	0.91	0.92
w4	0.87	0.92	0.97
w5	0.86	0.91	0.97

ρ_{m1} คือ ความหนาแน่นของแตงโมจากการประมาณค่า โดยไม่พิจารณาการหักเหของแสงในพื้นน้ำและส่วนที่ แยกจากกันระหว่าง D_w และ D_r

ρ_{m2} คือ ความหนาแน่นของแตงโมจากการประมาณค่า โดยไม่พิจารณาการหักเหของแสงในน้ำแต่พิจารณา ส่วนที่แยกจากกันระหว่าง D_w และ D_r

ρ_{m3} คือ ความหนาแน่นของแตงโมจากหลักการ อาร์ คิเมติส

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะพบว่าค่าของความหนาแน่นที่ได้จากทั้งสามวิธีจะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากผู้วิจัยเลือกแตงโมที่มีลักษณะของผลค่อนข้างกลม ซึ่งจะพบว่าระยะ A และ B มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในทางปฏิบัติแล้วการ เลือกแตงโมที่มีลักษณะเป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์มาทดลองนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ไม่ยากนัก ในทำนองเดียวกันการประมาณค่าความหนาแน่นของวัตถุหรือผลไม้ จากภาพถ่ายของวัตถุหรือผลไม้ที่มีรูปร่างทรงกลมอย่างสมบูรณ์นั้นจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำมากขึ้น แต่ถ้าใช้วิธีการประมาณค่าความหนาแน่นของวัตถุ หรือ ผลไม้ที่มีรูปร่างเป็นวงรีต่างๆ วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่า อาจจะนำวิธีการวิเคราะห์ภาพเชิงเรขาคณิตตามหลักการของวัตถุที่มีรูปร่างเป็นแบบวงรี

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การหาความหนาแน่นและปริมาตรโดยการแทนที่ในน้ำของแตงโมจากภาพถ่าย สามารถทำได้จากการประมาณค่าและการคำนวณโดยอาศัยหลักการทางเรขาคณิตเข้ามาช่วย แต่การหาค่าจากวิธีการดังกล่าว มีความยุ่งยากและซับซ้อนระดับหนึ่ง ทั้งยังต้องสมมติ ให้แตงโมดังกล่าวมีลักษณะเป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาเปรียบเทียบค่า จากการหาค่าในห้องปฏิบัติการซึ่งผลที่ได้จากการ ศึกษาดังกล่าวถือว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างมาก เนื่องจากว่าแตงโมดังกล่าวมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์ จากผลการศึกษาดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำไปบูรณาการในชั้นเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 ฟิสิกส์ทั่วไป 1 และ ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 โดยให้

นักศึกษาได้ทดลองหาค่าความหนาแน่นของแตงโม ซึ่งทำให้นักศึกษาเกิดความสนใจที่จะเรียนรู้เป็นอย่างดี มากเนื่องจากเป็นผลไม้ที่หาได้ทั่วไปและอยู่ในชีวิตประจำวัน แต่สามารถนำมาประกอบการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์ได้ และหลังจากทดลองดังกล่าวแล้ว แตงโมจะถูกนำมาผ่าออกเพื่อให้ได้เห็นลักษณะของเนื้อแตงโม และ นักศึกษายังได้รับประทานอีกด้วย โดยแนวคิดในศึกษาเพื่อหาความหนาแน่นของวัตถุนี้ สามารถทำให้ผู้เรียนได้แนวคิดและทักษะทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น โดยถือว่าเป็นวิธีการหนึ่งในการหาค่าความหนาแน่น ของวัตถุ นักศึกษาสามารถนำแนวคิดดังกล่าวไปใช้ในการทำโครงการหรือวิจัยขนาดเล็กในระดับปริญญาตรีหรือชั้นมัธยมศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

1. Reza F, Hosein N. Determining the orange volume using image processing. In: 2011 International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE, Singapore, IACSIT Press; vol.9 2011.
2. Majid R, Keyvan S. Classification of Fruit Shape in Cantaloupe Using the Analysis of Geometrical Attributes. World Journal of Agricultural Sciences 2007; 3(6): 735-740.
3. See Kit Foong and Chim Chai Lim. "Can you tell the density of the watermelon from this photograph?". Physics Education 2010. 44(4): 352-356.
4. Koc AB. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. Postharvest Biology and Technology 2007; 45 (3): 366-371.

เทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน

Complex Relative Permittivity Measurement Techniques

นรวรัตน์ พิลาดัง¹, นิวัตร์ อังควิสิษฐพันธ์¹Nawarat Piladaeng¹, Niwat Angkawisittpan¹

Received: 9 August 2018 ; Revised : 11 December 2018 ; Accepted: 20 February 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทบทวนเทคนิคที่ใช้ในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ รวมไปถึงการอธิบายสมบัติพื้นฐานบางประการเพื่อให้เข้าใจหลักการในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ โดยเทคนิคที่ได้กล่าวถึงในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุในบทความนี้มีทั้งหมด 6 เทคนิค ประกอบด้วย เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกนร่วม เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง เทคนิคสายส่งแบบระนาบ วิธีเรโซเนเตอร์ และวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์ อีกทั้งยังได้กล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิค และการนำเทคนิคต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้งานอีกด้วย

คำสำคัญ: สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน สายส่งแกนร่วมแบบปลายเปิด สายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกนร่วม การส่งผ่านอวกาศว่าง สายส่งแบบระนาบ เรโซเนเตอร์ การรบกวนแบบเรโซแนนซ์

Abstract

This article presents a review of the techniques for measuring complex relative permittivity and also explains basic properties for understanding the principle of complex relative permittivity measurement. There are 6 measurement techniques mentioned in this article. These techniques consist of open-ended transmission line techniques, waveguide and coaxial transmission line techniques, free space transmission techniques, planar transmission line techniques, resonator method and resonant-perturbation method. In addition, the advantages, disadvantages and applications of these measurement techniques are discussed.

Keywords: complex relative permittivity, open-ended transmission line, waveguide and coaxial transmission line, free space transmission, planar transmission line, resonator, resonant-perturbation.

บทนำ

สภาพนำ (conductivity) สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน (complex relative permittivity) และความขรุขระได้ (permeability) เป็นพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการศึกษาและการสร้างแบบจำลองเพื่อให้เข้าใจสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุ และเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น แม้ว่าวัสดุจำนวนมากสามารถทราบค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ได้จากตารางที่มีอยู่ แต่การทดลองเพื่อหาค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ยังคงมีความจำเป็นอย่างมาก โดยการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติและพฤติกรรม

ของวัสดุมีความสำคัญมากในด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การเกษตร หรือแม้แต่ในการทดลอง เพราะไม่ใช่เพียงการค้นคว้าเพื่อให้รู้สมบัติของวัสดุ แต่ยังสามารถสร้างวัสดุใหม่ ๆ และนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่การวัดค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าวจะใช้อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัสดุที่ทำการศึกษา^{1,2}

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนในงานด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร³⁻⁵ การแพทย์^{6,7} อุตสาหกรรมสื่อสาร^{8,9} เป็นต้น ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนนั้นมีด้วย

¹ หน่วยวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Computational Electromagnetics and Optical Systems Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

Tel : 0-4375-4316 E-mail: nawarat.p@msu.ac.th.

กันหลายเทคนิคแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น งานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ธรรมชาติของวัสดุที่ต้องการตรวจวัด ความถี่ที่ใช้ในการวัด ต้องการทดสอบแบบทำลายหรือไม่ทำลายวัสดุ หรือแม้กระทั่งความถูกต้องแม่นยำของค่าที่วัดได้ เป็นต้น โดยทั่วไปเทคนิคที่ใช้ในการวัดอาศัยหลักการพื้นฐานในการวัดที่แตกต่างกัน เช่น หลักการของการสะท้อนและการส่งผ่าน (reflection and transmission) หรือหลักการไม่เรโซแนนซ์ (non-resonant) หลักการเรโซแนนซ์ (resonant) หรือหลักการของการตรวจวัดแบบทำลายและไม่ทำลายวัสดุ (destructive and non-destructive) เป็นต้น^{1,2} หลักการของการสะท้อนและการส่งผ่านหรือหลักการไม่เรโซแนนซ์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งไปที่วัสดุทดสอบ และจะเก็บค่าที่ถูกสะท้อนจากวัสดุและค่าที่ส่งผ่านวัสดุออกไป ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถทราบ สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุได้¹⁰ หลักการเรโซแนนซ์ อาศัยการเกิดไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ (dielectric resonator) และวงจรเรโซแนนซ์ที่ทำให้ค่าของความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) และตัวประกอบคุณภาพ (quality factor) มีการเปลี่ยนแปลงในการหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน¹¹ ส่วนหลักการของการตรวจวัดแบบทำลายและไม่ทำลายวัสดุ อาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติ คุณภาพ โครงสร้าง รูปร่าง และขนาดของวัสดุที่ทำการทดสอบ หากมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุตั้งที่กล่าวมา เรียกว่า การตรวจสอบแบบทำลาย แต่หากวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งที่กล่าวมา เรียกว่า การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย¹²

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนนั้นมีอยู่มากมาย หากจะนำมากล่าวทั้งหมดอาจจะทำให้ศึกษารายละเอียดได้ไม่มากนัก ดังนั้นบทความนี้จึงขอกกล่าวเฉพาะเทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนบางเทคนิค ที่เน้นหลักการของการสะท้อนและการส่งผ่าน (reflection and transmission) หรือหลักการไม่เรโซแนนซ์ (non-resonant) และหลักการเรโซแนนซ์ (resonant) เท่านั้น

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน โดยแบ่งเทคนิคเหล่านั้นออกเป็น 2 วิธี ตามหลักการที่ใช้ โดยแต่ละเทคนิคจะกล่าวถึงวิธีการในการวัด ลักษณะทางกายภาพของวัสดุทดสอบที่เหมาะสมในการวัดแต่ละเทคนิค ข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิค พร้อมทั้งยกตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งาน

สมบัติพื้นฐานของเทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน

ผู้อ่านควรเข้าใจสมบัติพื้นฐานบางประการ เพื่อให้เข้าใจหลักการในการวิเคราะห์เทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์

เชิงซ้อน สมบัติพื้นฐานดังกล่าว เช่น ทฤษฎีของไดอิเล็กตริก (dielectric theory) พารามิเตอร์แบบกระจาย (scattering parameters) สภาพนำ (conductivity) และความสัมพันธ์ของเดบาย (Debye relation)

1. ทฤษฎีของไดอิเล็กตริก

สภาพยอมของไดอิเล็กตริก (dielectric permittivity) คือ ค่าที่อธิบายสมบัติของไดอิเล็กตริกที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พื้นผิวสัมผัสและการลดทอนของพลังงานของคลื่นในวัสดุ ในโดเมนความถี่สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน (complex relative permittivity: ϵ_r) ของวัสดุแสดงตามสมการต่อไปนี้¹³

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (1)$$

เมื่อ ϵ_r' คือ ส่วนจริงของสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน หรือเรียกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (dielectric constant) เป็นค่าที่แสดงพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุ อันเนื่องมาจากสนามไฟฟ้าภายนอก^{13,14}

ϵ_r'' คือ ส่วนจินตภาพของสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน หรือเรียกว่า ตัวประกอบการสูญเสียของ ไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor) เป็นค่าที่แสดงการสูญเสียของวัสดุ เนื่องจากสนามไฟฟ้าภายนอก^{13,14}

โดยทั่วไปแล้วส่วนจินตภาพของสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนจะมีค่ามากกว่าศูนย์ และมีค่าน้อยกว่าส่วนจริงของสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน ($\epsilon_r' > \epsilon_r'' > 0$)¹⁴

เมื่อเขียนสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนในรูปแบบเวกเตอร์ โดยส่วนจริงกับส่วนจินตภาพทำมุม 90° และมุม (δ) วัดจากแกนของส่วนจริงกับเวกเตอร์ลัพธ์¹⁴ ดังแสดงใน Figure 1

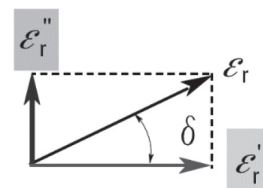


Figure 1 Loss tangent vector diagram¹⁴

ค่าการสูญเสียของวัสดุ หรือแทนเจนต์การสูญเสีย (loss tangent: $\tan \delta$) คือ อัตราส่วนพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} = D = \frac{1}{Q} \quad (2)$$

- เมื่อ D คือ ตัวประกอบการสูญเสียเป็นความร้อน (dissipation factor)
 Q คือ ตัวประกอบคุณภาพ (quality factor: Q-factor)¹⁴

2. พารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย

การวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน โดยทั่วไปนิยมใช้การวิเคราะห์โครงข่ายแบบหนึ่งช่องทาง (one-port network) และแบบสองช่องทาง (two-port network) ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่นำมาใช้ โดยการวิเคราะห์โครงข่ายดังกล่าวเป็นการคำนวณค่าของพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย (S parameters) ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ช่องทางที่ 1 และช่องทางที่ 2 พารามิเตอร์แบบกระจัดกระจายที่มีความสำคัญต่อการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน เช่น S_{11} และ S_{21} ¹⁵

S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficients) เป็นค่าที่แสดงกำลังงานที่สะท้อนจากวัสดุทดสอบของแต่ละความถี่ว่ามีค่าน้อยเพียงใด¹⁶

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านไปหน้า (forward transmission coefficients) เป็นกำลังงานที่สามารถส่งผ่านไปวัสดุทดสอบของแต่ละความถี่ที่มีการส่งผ่านไปมากน้อยเพียงใด¹⁶

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน ส่วนใหญ่จะแสดงผลของ S_{11} และ S_{21} ในรูปแบบค่าสมบูรณ เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนต่อไป

3. สภาพนำ

สภาพนำ (conductivity: σ) เป็นค่าที่บ่งบอกสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุแต่ละชนิด สภาพนำมีหน่วยเป็นซีเมนต่อเมตร (S/m) โดยทั่วไปสภาพนำของวัสดุขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุที่มีสภาพนำสูง ($\sigma \gg 1$) เรียกว่า ตัวนำ (conductor) หรือ โลหะ (metal) วัสดุที่มีสภาพนำต่ำ ($\sigma \ll 1$) เรียกว่า ฉนวน (insulator) หรือ ไดอิเล็กตริก (dielectric) และวัสดุที่มีสภาพนำอยู่กึ่งกลางระหว่างโลหะกับฉนวน เรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (semiconductor)¹⁶

4. ความสัมพันธ์เดบาย

ความสัมพันธ์เดบาย (Debye relation) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนและความถี่ เมื่อวัสดุที่ใช้แสดงเวลาผ่อนคลาย 1 ค่า ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์เดบายของน้ำที่อุณหภูมิ 30°C¹⁴ แสดงใน Figure 2

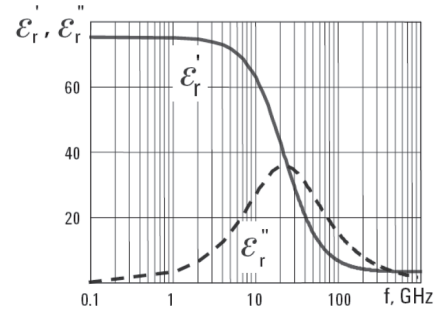


Figure 2 Debye relation of water at 30°C¹⁴

สมการเดบาย (Debye equation) มีค่าดังนี้¹⁴

$$\epsilon_r = \epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \tag{3}$$

เมื่อ $\omega = 0, \epsilon_r(0) = \epsilon_s$ และ $\omega = \infty, \epsilon_r(\infty) = \epsilon_\infty$

ϵ_∞ คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกที่ความถี่อนันต์

ϵ_s คือ ค่าสถิต (static value) ของค่าคงตัวไดอิเล็กตริก

τ คือ เวลาผ่อนคลาย

เทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน

การวัดสมบัติไดอิเล็กตริกนั้นมียุ่หลายเทคนิค ผู้เขียนจึงขอแนะนำเฉพาะบางเทคนิคที่พิจารณาตามวิธีไม่เรโซแนนซ์ (non-resonant method) หรือ วิธีการสะท้อนและการส่งผ่าน (reflection and transmission method) และวิธีเรโซแนนซ์ (resonant method)

1. วิธีไม่เรโซแนนซ์

สำหรับวิธีไม่เรโซแนนซ์ (non-resonant methods) นี้รวมไปถึงวิธีการสะท้อน (reflection methods) และวิธีการสะท้อน/การส่งผ่าน (reflection/transmission methods)¹⁰ โดยวิธีการสะท้อน สมบัติของวัสดุจะหาได้จากกรวัดขนาดและเฟสของสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับมา ส่วนวิธีการสะท้อน/การส่งผ่าน สมบัติของวัสดุจะหาได้จากกรวัดขนาดและเฟสของทั้งสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับมาและสัญญาณที่ถูกส่งผ่านไป ซึ่งเทคนิคที่จะแนะนำมีดังนี้

1.1 เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด

เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด (open-ended transmission line techniques) เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1980 โดย Stuchly ซึ่งได้ทำการวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุชีวภาพ (biological material) ในช่วงความถี่ 50 MHz ถึง 1 GHz โดยใช้โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด (coaxial dielectric probe) ขนาดเล็ก¹⁷ หลักการทั่วไปในการตรวจวัดของเทคนิคนี้คือ การนำโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดวางแนบกับวัสดุที่ต้องการทดสอบจากนั้นจะทำการวัดขนาดและมุม

เฟสของสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและนำค่าที่ได้ไปเข้ากระบวนการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน¹⁸ ถูกแสดงไว้ดัง Figure 3

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคนี้เรื่อยมา จนทำให้เกิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการสอบเทียบโพรบวัดที่ถูกสร้างขึ้นมา และการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุขึ้นหลายรูปแบบ และโพรบแบบร่วมแบบปลายเปิดที่ทำการออกแบบ บางรูปแบบออกแบบมาให้มีเฉพาะโพรบแบบร่วมแบบปลายเปิดเพียงอย่างเดียวเพื่อใช้ในการวัด^{17, 19, 20} บางรูปแบบออกแบบมาให้มีหัวโพรบแบบร่วมแบบปลายเปิดและระนาบกราวด์บริเวณปลายโพรบ (grounding flange)²¹⁻²³ ซึ่งพบว่าโพรบแบบร่วมแบบปลายเปิดที่มีส่วนของระนาบกราวด์บริเวณปลายโพรบ สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำมากกว่าโพรบที่ไม่มีระนาบดังกล่าว²³ ดังแสดงใน Figure 4

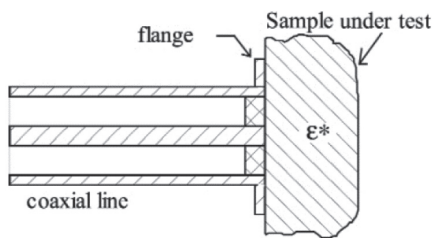


Figure 3 Open-ended transmission line techniques²⁰

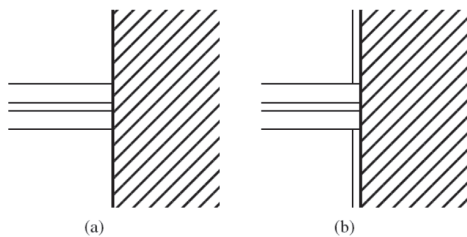


Figure 4 Measurement using open-ended probe (a) without grounding flange (b) with grounding flange^{24, 25}

เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิดเป็นเทคนิคที่สะดวกในการวัดเพราะเป็นการตรวจวัดแบบไม่ทำลาย (non-destructive) วัสดุ และไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อนการตรวจวัด เทคนิคนี้สามารถวัดได้ทั้งวัสดุขนาดเล็กและใหญ่ขึ้นอยู่กับขนาดของโพรบที่ใช้ในการวัด สามารถวัดได้ทั้งวัสดุที่เป็นของเหลว กิ่งของแข็ง หรือของแข็ง ทำงานได้ในช่วงแถบความถี่กว้าง (0.5 – 110 GHz) โพรบที่ใช้ในการวัดสามารถออกแบบเองได้ แต่ค่อนข้างยากโดยเฉพาะขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือให้ได้มาตรฐานและต้องใช้วัสดุที่ทราบสภาพ

ยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนหลายตัวมาใช้ในการสอบเทียบ¹⁷⁻²² หากไม่ต้องการออกแบบโพรบวัดเองก็สามารถใช้โพรบที่ผลิตมาจำหน่าย เช่น DAK – 12 dielectric probe เป็นต้น ซึ่ง โพรบจะมีราคาค่อนข้างสูงและมีขนาดเล็ก อาจจะไม่เหมาะสำหรับนำไปใช้กับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เทคนิคนี้มีความแม่นยำในการวัดค่อนข้างสูง แต่ต้องระวังในเรื่องของช่วงความถี่ในการทำงาน คือ ที่ความถี่ที่ต่ำมากและสูงมาก และวัสดุที่วัดจะต้องมีค่าตัวประกอบการสูญเสียที่มากกว่า 1 นั้นหมายความว่า เทคนิคนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่มีการสูญเสียสูง ส่วนการวัดวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำ เช่น เนยและน้ำมัน เป็นต้น ต้องมีการวัดอย่างระมัดระวัง เพราะอาจเกิดความผิดพลาดได้สูง¹⁸ สิ่งที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอีกประการคือการวัดของแข็ง หากเกิดช่องว่างระหว่างผิวที่ขรุขระของตัวอย่างกับผิวของโพรบ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้น²¹

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการสอบเทียบโพรบวัดที่ถูกสร้างขึ้นมา และการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุขึ้นหลายรูปแบบ ผู้เขียนจะขอยกตัวอย่างเพียง 1 รูปแบบเพื่อให้เห็นขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

แบบจำลองความจุไฟฟ้า (capacitance model)²⁵ ดังแสดงใน Figure 5

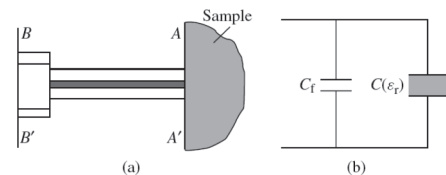


Figure 5 (a) Measurement using open-ended probe (b) equivalent circuit of measurement using open-ended probe²⁶

เมื่อทำการวัดวัสดุที่มีสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน (ϵ_r) ด้วยโพรบวัด จะทำให้วงจรสมมูลมีการเปลี่ยนแปลง และสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ^*) ได้ดังนี้²⁵

$$\Gamma^* = \Gamma e^{j\phi} = \frac{1 - j\omega Z_0 \cdot [C(\epsilon_r) + C_f]}{1 + j\omega Z_0 \cdot [C(\epsilon_r) + C_f]} \quad (4)$$

- เมื่อ $C(\epsilon_r) = \epsilon_r \cdot C_0$
- C_0 คือ ความจุไฟฟ้าผานวนอากาศ
- C_f คือ ความจุประจุเสรีในวัสดุ
- ω คือ ความเร็วเชิงมุมในการวัด
- Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งแบบร่วมที่ต่อกับโพรบ

และสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน (ϵ) คำนวณได้ดังนี้²⁵

$$\epsilon_r = \frac{1-\Gamma^*}{j\omega Z_0 C_0(1+\Gamma^*)} - \frac{C_f}{C_0} \quad (5)$$

เมื่อค่า C_0 และ C_f หาได้จากการวัดตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน เช่น น้ำขจัดไอออนแล้ว (deionized water) เป็นต้น ดังสมการต่อไปนี้²⁵

$$C_0 = \frac{(1-|\Gamma_{diel}^*|^2)}{\omega Z_0(1+2|\Gamma_{diel}^*| \cos(\Phi_{diel})+|\Gamma_{diel}^*|^2)} \epsilon_{diel}'' \quad (6)$$

$$C_f = \frac{-2|\Gamma_{diel}^*| \sin(\Phi_{diel})}{\omega Z_0(1+2|\Gamma_{diel}^*| \cos(\Phi_{diel})+|\Gamma_{diel}^*|^2)} - \epsilon_{diel}'' C_0 \quad (7)$$

เมื่อ ϵ_{diel}' และ ϵ_{diel}'' คือ ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของตัวอย่างมาตรฐานตามลำดับ

$|\Gamma_{diel}^*|$ และ Φ_{diel} คือ ขนาดและเฟสของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ_{diel}^*) ตามลำดับ

1.2 เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกนร่วม

เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกนร่วม(waveguide and coaxial transmission line techniques) ดังแสดงใน Figure 6 ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในปี ค.ศ.1970 โดย Nicolson – Ross²⁶ ที่ได้วัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุแบบเชิงเส้นในโดเมนความถี่ และในปี ค.ศ. 1993 James B.J. และคณะ²⁷ ได้กล่าวถึงหลักการและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานของวิธีการวัดแบบการส่งผ่าน/การสะท้อน (transmission/reflection methods) และวิเคราะห์วิธีการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน เมื่อ Nicolson – Ross²⁶ และ William B. Weir²⁸ ที่ได้ปรับปรุงเทคนิคการวัดสมบัติของไดอิเล็กตริกในโดเมนเวลาและความถี่ในปี ค.ศ.1974 ทำการรวมสมการที่ใช้ในงานของพวกเขา จนนำไปสู่การพัฒนาสมการที่ใช้ในการคำนวณสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน ที่เรียกว่า วิธีของ Nicolson-Ross-Weir (NRW algorithm)²⁵

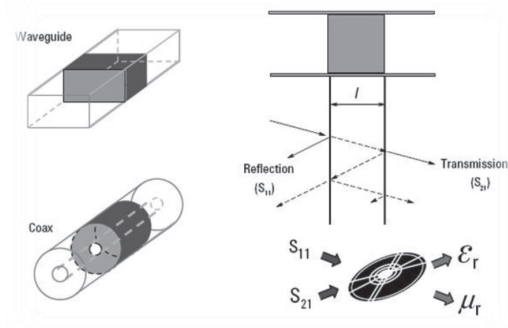


Figure 6 waveguide and coaxial transmission line techniques¹⁴

หลักการทั่วไปในการตรวจวัดของเทคนิคนี้ คือ การบรรจุวัสดุที่ต้องการทดสอบเข้าไปในสายส่งคลื่นที่ส่งผ่านเข้าไปในสายส่ง เมื่อตกกระทบกับวัสดุ ส่วนหนึ่งจะสะท้อนถูกกลับทำให้ได้สัมประสิทธิ์การสะท้อน ส่วนคลื่นที่ทะลุผ่านวัสดุออกไป ทำให้วัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านได้^{2, 25} ดังแสดงใน Figure 7

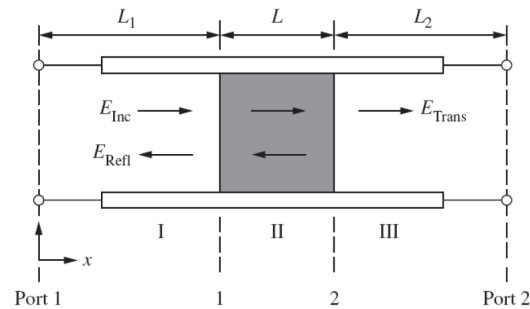


Figure 7 Electromagnetic wave which transmitted and reflected from material in transmission line²⁵

สำหรับขั้นตอนในการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนโดยใช้วิธีของ NRW เรียงลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้^{12, 25}

คำนวณหาสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ)

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1} \quad (8)$$

$$\text{เมื่อ } K = \frac{(S_{11}^2 - S_{21}^2) + 1}{2S_{11}} \quad (9)$$

เครื่องหมาย ± ในสมการที่ (10) จะเป็นบวกหรือลบ นั้นให้พิจารณาจากค่า $|\Gamma| \leq 1$ คำนวณหาสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (T)

$$T = \frac{(S_{11} + S_{21}) - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (10)$$

จากนั้นคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนได้จากสมการต่อไปนี้

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{(1 - \Gamma)\sqrt{(1/\lambda_0^2) - (1/\lambda_c^2)}} \quad (11)$$

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r[(1/\lambda_c^2) - (1/\lambda^2)]} \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } \frac{1}{\lambda^2} = -\left[\frac{1}{2\pi D} \ln\left(\frac{1}{T}\right)\right]^2 \quad (13)$$

เมื่อ μ_r คือ ความซาบซึ่มได้สัมพัทธ์
 λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอวกาศว่าง
 λ_c คือ ความยาวคลื่นตัด
 D คือ ความหนาของตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในสายส่ง

เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกนร่วมเป็นเทคนิคที่ยุงยากและใช้เวลานานในการวัด เนื่องจากต้องมีการเตรียมตัวอย่างทดสอบก่อนการตรวจวัดให้เป็นรูปทรงและมีขนาดเดียวกันกับสายส่งเพื่อให้สามารถใส่ตัวอย่างทดสอบเข้าไปในสายส่งได้ หรือต้องออกแบบสายส่งให้สามารถครอบวัสดุตัวอย่างได้พอดี¹³ กรณีวัสดุของแข็งให้ตัดเป็นรูปทรงที่มีขนาดเดียวกันกับสายส่ง หากต้องการวัดวัสดุที่เป็นของเหลวหรือกึ่งของแข็ง จะต้องเตรียมวัสดุตั้งกล่าวให้มีรูปทรงที่มีขนาดเดียวกันกับสายส่ง เช่น ใส่ลงในภาชนะบรรจุที่ออกแบบมา หรือ ผสมสารเรซินให้แข็ง เทคนิคนี้สามารถวัดได้ทั้งวัสดุขนาดเล็ก (ใช้สายส่งแบบแกนร่วม) และขนาดใหญ่ (ใช้สายส่งแบบท่อนำคลื่น) ทั้งที่เป็นของเหลว กึ่งของแข็ง หรือของแข็ง กรณีตัวอย่างเป็นของเหลวหรือมีความหนืด ให้นำตัวอย่างใส่ลงในบรรจุภัณฑ์ก่อน จึงจะสามารถใส่วัสดุเข้าไปในสายส่งได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเทคนิคที่มีการตรวจวัดแบบทำลาย (destructive) โครงสร้างของวัสดุ เทคนิคนี้สามารถงานใช้ในช่วงแถบความถี่กว้างที่ความถี่สูง มีความถูกต้องแม่นยำในการวัดต่ำกว่าเทคนิคสายส่งปลายเปิด ความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากขนาดหน้าตัดของตัวอย่างที่ใส่เข้าไปไม่พอดีกับหน้าตัดของสายส่งจนทำให้เกิดช่องว่างระหว่าง

สายส่งกับวัสดุ การที่วัสดุที่ใส่เข้าไปในสายมีขนาดที่เล็กเกินไป โดยทั่วไปมักเกิดปัญหาเมื่อทำการวัดที่ความถี่สูงเกิน 30 GHz จึงควรวัดตัวอย่างในช่วงความถี่ดังกล่าวด้วยวิธีอื่น^{10, 14, 27-31}

1.3 เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง

เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง (free space transmission techniques) เป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยากในการวัด เป็นการตรวจวัดแบบไม่ทำลาย (non-destructive) ของวัสดุ นิยมใช้วัดวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนที่มีขนาดใหญ่ โดยจะมีตัวยึดจับที่ทำมาจากวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำเพื่อลดสัญญาณสะท้อนกลับที่ไม่ต้องการ กรณีวัสดุของแข็ง (แผ่นแบน) ไม่ต้องการเตรียมตัวอย่างก่อนการตรวจวัด หากต้องการวัดวัสดุที่เป็นของเหลวหรือ กึ่งของแข็ง จะต้องเตรียมวัสดุตั้งกล่าวให้มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนให้ได้ เช่น ใส่ลงในภาชนะบรรจุที่ออกแบบมา³² หรือ ผสมสารเรซินให้กลายเป็นแผ่นแข็ง³³ เป็นต้น สายส่งที่ใช้วัดในเทคนิคนี้ไม่มีการสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบ (contactless) จึงทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้วัดที่อุณหภูมิสูง และไม่เกิดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัส เทคนิคนี้ยังสามารถใช้งานในช่วงแถบความถี่ที่ความถี่สูงอีกด้วย^{25, 32, 34-36}

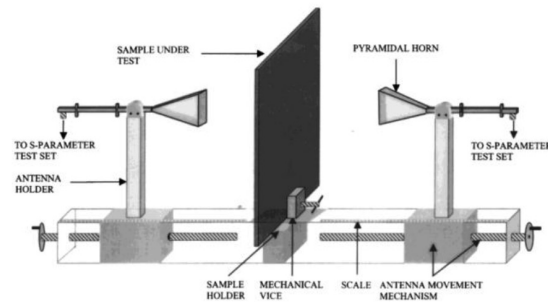


Figure 8 free space transmission techniques³⁶

หลักการทั่วไปในการตรวจวัดของเทคนิคนี้ คือ การวางวัสดุที่ต้องการวัดเข้ากับตัวยึดที่วางอยู่ระหว่างสายอากาศสองตัว ลักษณะการเรียงตัวจะมีรูปแบบเหมือนตัวโดยสารรถไฟ คืออยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 8 โดยเครื่องรับและเครื่องส่งจะทำตัวเหมือนสายอากาศเลนส์แบบปากแตรที่ทำการโฟกัสสัญญาณไปที่วัสดุตัวอย่าง ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองสามารถปรับเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบของวัสดุทดสอบ และสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการวัด เมื่อเครื่องส่งส่งสัญญาณไมโครเวฟไปตกกระทบที่วัสดุ สัญญาณบางส่วนก็จะเกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งก็คือ สัญญาณสะท้อนบางส่วนถูกเก็บไว้ในวัสดุ และบางส่วนจะถูกส่งผ่านวัสดุออก

ไปยังเครื่องรับ ทำให้ได้สัญญาณส่งผ่าน^{25, 34-36} สมมติฐานที่ใช้ในเทคนิคนี้ คือ การที่คลื่นระนาบสม่ำเสมอ (uniform plane wave) ไปตกกระทบกับวัสดุแบบ เอกพันธ์ (homogeneous material) ที่มีพื้นผิวแบนราบ จะทำให้วัสดุนี้เป็นแผ่นหนืด จึงไม่พิจารณาปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน (diffraction effect) ที่ขอบของวัสดุซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของการใช้เทคนิคนี้¹⁹ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศ ที่ยึดตัวอย่าง หรือแม้แต่การปรับระยะระหว่างสายอากาศทั้งสองให้เหมาะสมจะทำให้การวัดมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นแม้ว่าเทคนิคนี้มีความถูกต้องแม่นยำในการวัดต่ำกว่าเทคนิคสายส่งปลายเปิดก็ตาม^{18, 35, 36}

การคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่างนั้น มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่ทำ ในที่นี้จะยกวิธีที่ใช้ NRW algorithm มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ โดยเรียงลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้^{25, 36}

คำนวณหาสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (T) จากสมการที่ (8) - (10)

โดยเครื่องหมาย \pm ในสมการที่ (8) จะเป็นบวกหรือลบนั้นให้พิจารณาจากค่า $|\Gamma| < 1$

จากนั้นคำนวณหาค่าคงตัวการแพร่กระจาย (propagation constant: γ) ของตัวกลาง จากสมการต่อไปนี้

$$\gamma = \frac{\ln(1/T)}{d} \tag{14}$$

สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนได้จากสมการต่อไปนี้

$$\epsilon_r = \frac{\gamma}{\gamma_0} \left(\frac{1-\Gamma}{1+\Gamma} \right) \tag{15}$$

โดยที่ γ_0 คือ ค่าคงตัวการแพร่กระจายในอวกาศว่าง
 d คือ ความหนาของวัสดุตัวอย่าง

1.4 เทคนิคสายส่งแบบระนาบ

เทคนิคสายส่งแบบระนาบ (planar transmission line techniques) ถูกแสดงไว้ดัง Figure 9 สายส่งแบบระนาบที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรไมโครเวฟ

คือ ไมโครสตริป (microstrip) ท่อนำคลื่นระนาบร่วม (coplanar waveguides) และสายส่งแกนร่วมแบบปลายเปิด สาเหตุที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ และสร้างง่าย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมที่ใช้การวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน¹⁰

โพรบที่ใช้ในการวัดประกอบด้วยสายส่งแบบระนาบรูปร่างสี่เหลี่ยม ช่องรับส่งสัญญาณถูกออกแบบให้อยู่ที่ส่วนบนของโพรบ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนเหมือนกับ โพรบของเทคนิคสายส่งแกนร่วมแบบปลายเปิด โครงสร้างของโพรบมีลักษณะเหมือนสายส่งแกนร่วมที่ถูกทำให้แบน นั่นคือ ตัวครอบด้านนอกในสายส่งแบบระนาบเทียบได้กับตัวนำด้านนอกของสายส่งแกนร่วม ส่วนไมโครสตริปที่เห็นในสายส่งแบบระนาบเทียบได้กับตัวนำด้านในของสายส่งแกนร่วม โดยไมโครสตริปจะถูกเชื่อมต่อกับส่วนบนของโพรบโดยการเจาะรูเชื่อมต่อ (via holes) และเติมสารอีพ็อกซีลงไป³⁷⁻³⁹ แสดงใน Figure 10

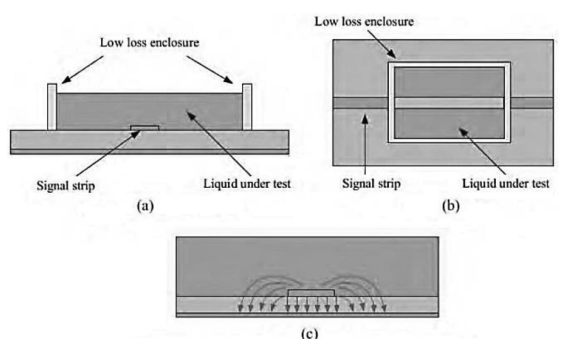


Figure 9 Microstrip transmission line using for measuring complex relative permittivity (a) cross sectional view (b) top view (c) electric field distribution across the cross section of a microstrip line covered with a superstrate¹⁰

หลักการทั่วไปในการตรวจวัดของเทคนิคนี้ คือ การนำโพรบไปแนบกับวัสดุเป็นของแข็ง หรือกึ่งของแข็ง หรือจุ่มในวัสดุที่เป็นของเหลว จากนั้นจะทำการวัดสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับและนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ^{37, 38}

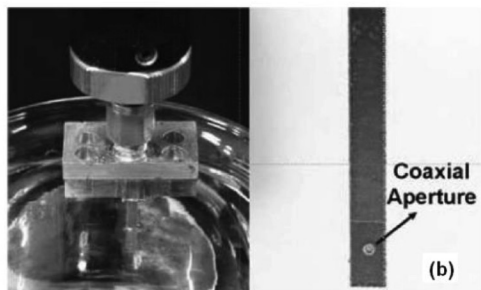
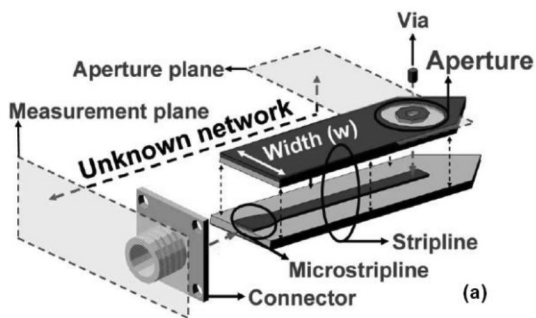


Figure 10 planar probe (a) simulation (b) fabricate³⁹

การคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุสามารถทำได้โดยใช้ตัวอย่างที่ทราบสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน 3 ชนิด เช่น วัสดุ A B และ C ซึ่งมีสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน เป็น ϵ_A ϵ_B และ ϵ_C ตามลำดับ นำโพรมไปวัดวัสดุทั้ง 3 และตัวอย่างทดสอบที่ต้องการทราบ สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนเพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ_A Γ_B Γ_C และ Γ_S เมื่อตัวห้อย S หมายถึงตัวอย่างทดสอบ และใช้สมการต่อไปนี้ในการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของตัวอย่างทดสอบ (ϵ_S)^{37, 38}

$$\frac{(\epsilon_S - \epsilon_A)(\epsilon_B - \epsilon_C)}{(\epsilon_S - \epsilon_B)(\epsilon_C - \epsilon_A)} = \frac{(\Gamma_S - \Gamma_A)(\Gamma_B - \Gamma_C)}{(\Gamma_S - \Gamma_B)(\Gamma_C - \Gamma_A)} \quad (16)$$

เทคนิคสายส่งแบบระนาบเป็นเทคนิคที่สะดวกในการวัด เป็นการตรวจวัดแบบไม่ทำลาย (non-destructive) วัสดุ และไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อนการตรวจวัด โดยทั่วไปวัสดุที่ถูกวัดด้วยเทคนิคนี้เป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และกึ่งของแข็ง นิยมใช้วัดวัสดุขนาดเล็กเนื่องจากโพรมมีขนาดเล็ก ข้อดีของเทคนิคนี้คือ สายส่งสามารถสร้างได้ง่ายกว่าสายส่งแกนร่วม แต่ขั้นตอนในการสอบเทียบเครื่องมือให้ได้มาตรฐานต้องใช้วัสดุที่ทราบสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนหลายตัวมาใช้ในการสอบเทียบ ทำให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการออกแบบ แต่ก็ยังเป็นเทคนิคนี้มีความแม่นยำในการวัดค่อนข้างสูง สามารถทำงานในช่วงแถบความถี่กว้าง นิยมนำไปใช้ในด้านชีวภาพและการแพทย์ เช่น การวัดเนื้อเยื่อ เป็นต้น³⁷⁻⁴¹

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคนี้เรื่อยมา จนทำให้เกิดแบบจำลองในการปรับแต่งโพรมวัดที่ถูกสร้างขึ้นมาและการคำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุขึ้นหลายรูปแบบ³⁷⁻⁴¹ เช่น ในปี ค.ศ. 2007 Jung M.K. และคณะ⁴¹ ได้ทำการออกแบบโพรมวัดด้วยเทคนิคสายส่งสัญญาณไมโครสตริปที่ความถี่ต่ำเพื่อทำการวัดเนื้อเยื่อมะเร็งในหนูทดลอง ดังแสดงใน Figure 19 และ Figure 20

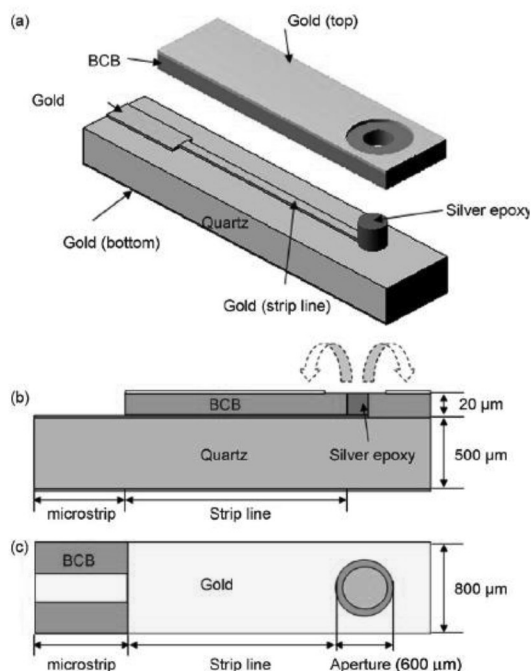


Figure 19 (a) Structure of fabricated probe (b) cross sectional view (c) top view⁴¹

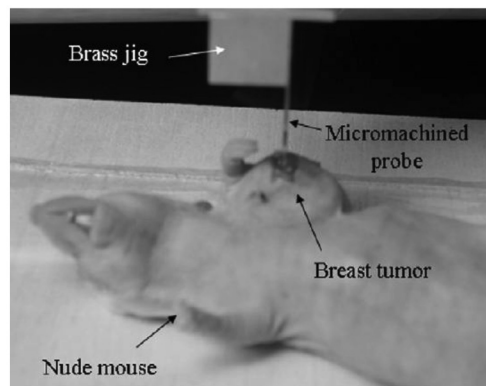


Figure 20 Measurement of cancer cells in mice⁴¹

2. วิธีเรโซแนนซ์

สำหรับวิธีเรโซแนนซ์ (resonant methods) อาศัยค่าของความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) และ

ตัวประกอบคุณภาพ (quality factor) ที่มีการเปลี่ยนแปลงในการหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุทดสอบ วิธีนี้ประกอบด้วย วิธีเรโซเนเตอร์ (resonator method) และ วิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์ (resonant-perturbation method)

2.1 วิธีเรโซเนเตอร์

วิธีเรโซเนเตอร์ (resonator method) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วิธีไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ (dielectric resonator) เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดสภาพยอมของวัสดุ ไดอิเล็กตริกอีกวิธีหนึ่ง ที่วัสดุทดสอบทำหน้าที่เป็น เรโซเนเตอร์ในวงจรวัด โดยสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนสามารถหาได้จากความถี่เรโซแนนซ์ และตัวประกอบคุณภาพที่เกิดขึ้นก่อนและหลังใส่วัสดุทดสอบ วิธี เรโซเนเตอร์รวมถึงเทคนิคเรโซแนนซ์แบบโพรงทรงกระบอก (cylinder cavity resonance technique) และเทคนิคเรโซแนนซ์แบบการสะท้อนในท่อนำคลื่น (waveguide reflection resonance technique)¹¹ ดังแสดงใน Figure 21

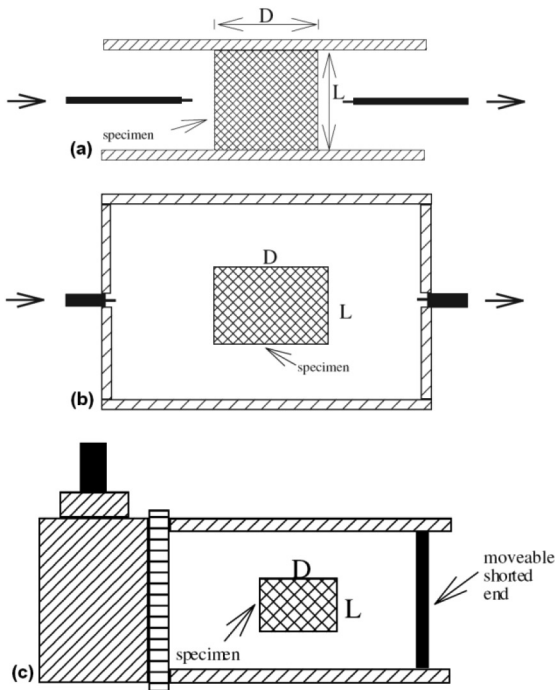


Figure 21 (a) resonator method (b) cylinder cavity resonance technique (c) waveguide reflection resonance technique¹¹

การตรวจวัดด้วยวิธีเรโซเนเตอร์ทำได้โดยการนำตัวอย่างทดสอบแบบทรงกระบอกไปวางไว้ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น ซึ่งสามารถหาสมบัติของวัสดุตัวอย่างได้จากสมบัติของเรโซเนเตอร์ที่เกิดขึ้น สมบัติของแผ่นตัวนำทั้งสองจะถูกสมมติว่าทราบค่า และใช้โหมด TE₀₁₁ (transverse electric

TE₀₁₁ mode) ซึ่งเป็นโหมดที่นิยมใช้ในการหลักขณะเฉพาะของสมบัติของวัสดุเนื่องจากไม่มีกระแสแลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นตัวนำกับวัสดุตัวอย่าง จึงทำให้การเกิดช่องว่างขนาดเล็กระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองกับตัวอย่างซึ่งมีผลน้อยมากต่อการวัด ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาสมบัติของวัสดุตัวอย่างนั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุตัวอย่าง โครงสร้าง และวิธีไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ ที่ใช้^{11, 26} ส่วนลักษณะการวางวัสดุทดสอบในเทคนิค เรโซแนนซ์แบบโพรงทรงกระบอกและเทคนิคเรโซแนนซ์แบบการสะท้อนในท่อนำคลื่น จะใส่วัสดุเข้าไปในโพรงโดยที่วัสดุจะต้องไม่สัมผัสกับตัวป้องกันแบบโลหะ^{11,13} ดังแสดงใน Figure 22

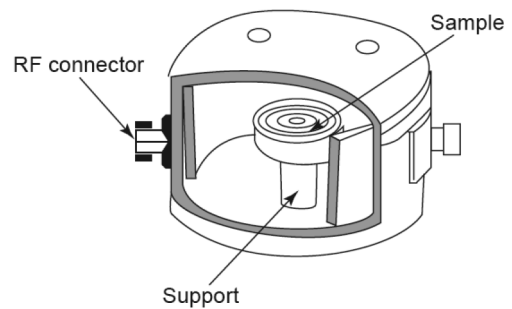


Figure 22 Placing test material in cylinder cavity resonance technique¹³

ตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนด้วยวิธีเรโซเนเตอร์¹⁹

$$\epsilon'_r = \left(\frac{f_0}{f_s}\right)^2 \tag{17}$$

$$\epsilon''_r = \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{f_0}{f_s}}\right) \left(\frac{f_0}{f_s}\right)^2 \tag{18}$$

- เมื่อ f_0 คือ ความถี่เรโซแนนซ์ก่อนใส่วัสดุทดสอบ
- f_s คือ ความถี่เรโซแนนซ์หลังใส่วัสดุทดสอบ
- Q_0 คือ ตัวประกอบคุณภาพก่อนใส่วัสดุทดสอบ
- Q_s คือ ตัวประกอบคุณภาพหลังใส่วัสดุทดสอบ

วิธีเรโซเนเตอร์เป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำในการวัดสูงกว่าเทคนิคของวิธีไม่เรโซแนนซ์ แต่การวัดสามารถทำได้แค่หนึ่งความถี่ ซึ่งต่างจากเทคนิคของวิธีไม่เรโซแนนซ์ที่สามารถทำงานในช่วงแถบความถี่ที่กว้างได้ วัสดุที่ใช้วัดมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์¹¹ และจะต้องเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropic material) และเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียเล็กน้อย ไม่สามารถใช้วัดวัสดุที่มีการสูญเสียสูงได้ วิธีนี้สามารถใช้วัดค่าคงตัวไดอิเล็ก

เล็กตริกที่สูง ๆ ได้¹³ แต่วิธีนี้เป็น การตรวจวัดแบบทำลาย (destructive) โครงสร้างของวัสดุ และต้องมีการเตรียมตัวอย่าง ก่อนการตรวจวัด ซึ่งทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก โดยเฉพาะวัสดุที่เป็น กิ่งของแข็งและของเหลว ทั้งยังมีความยุ่งยากในการ คำนวณหาสภาพ ยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนในบางแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์^{13, 18, 25, 42, 43}

2.2 วิธีรบกวนแบบเรโซแนนซ์

วิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์ (resonant-perturbation method) หรือ วิธีการรบกวนแบบ โพรง (cavity-perturbation method) ต่างจากวิธีเรโซเนเตอร์ ตรงที่วัสดุตัวอย่างไม่ได้ใช้เป็นเรโซเนเตอร์ แต่ตัวอย่างที่อยู่ใน โพรงเรโซเนเตอร์ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์และตัวประกอบคุณภาพ ของเรโซเนเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทั้งสองค่าจะถูกนำไป คำนวณหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุทดสอบ^{11, 25, 42} ดังแสดงใน Figure 24

การตรวจวัดทำได้โดยใส่ตัวอย่าง ทดสอบลงไปโพรงเรโซแนนซ์ ซึ่งจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ ถูกเลื่อนและตัวประกอบคุณภาพของโพรงลดลง จาก Figure 25 ถ้าใส่วัสดุขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นหลอด แผ่น หรือแท่ง เข้าไปในโพรงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูงสุดและมีสนามแม่เหล็ก ต่ำสุด (บริเวณ A) สามารถหาสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนได้ แต่ถ้าวัสดุใส่เข้าไปในบริเวณ B ซึ่งมีสนามไฟฟ้าต่ำสุดและมี สนามแม่เหล็กสูงสุด จะสามารถหาความขบขี้มได้ของวัสดุ โดยใช้โหมด TE₀₁₀ (transverse electric TE₀₁₀ mode) เป็นโหมด ทำงาน^{11, 25, 42, 44}

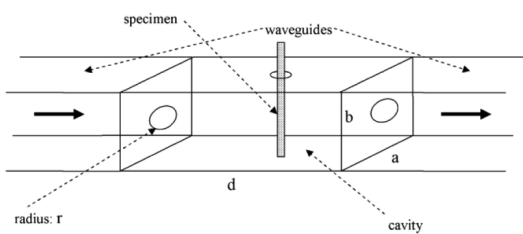


Figure 24 resonant-perturbation method⁴⁴

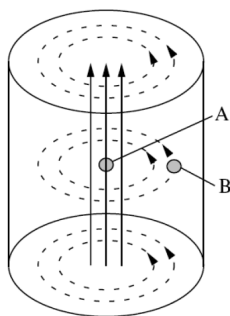


Figure 25 Position of test material placing in the measurement²⁵

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ในการคำนวณ สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุตัวอย่าง นั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุตัวอย่าง โครงสร้างและวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์ที่ใช้^{11, 25}

ตัวอย่างสูตรที่ใช้ในการคำนวณ สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนด้วยวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์¹⁸

$$\epsilon_r' = \frac{1}{2} \left(\frac{f_0}{f_s} - 1 \right) \frac{V_c}{V_s} - 1 \tag{19}$$

$$\epsilon_r'' = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_c} \right) \frac{V_c}{V_s} \tag{20}$$

- เมื่อ f_0 คือ ความถี่เรโซแนนซ์ก่อนใส่วัสดุทดสอบ
- f_s คือ ความถี่เรโซแนนซ์หลังใส่วัสดุทดสอบ
- Q_c คือ ตัวประกอบคุณภาพก่อนใส่วัสดุทดสอบ
- Q_s คือ ตัวประกอบคุณภาพหลังใส่วัสดุทดสอบ
- V_s คือ ปริมาตรของวัสดุทดสอบ
- V_c คือ ปริมาตรของโพรง

วิธีการรบกวนแบบโพรงเป็นวิธีที่ ให้ความแม่นยำในการวัดสูง แต่การวัดสามารถทำได้แค่หนึ่ง ความถี่เช่นเดียวกับวิธีเรโซเนเตอร์ วิธีนี้สามารถใช้วัดสภาพ ยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ได้ วัสดุที่ใช้วัดมีขนาด เล็กมาก เป็นวัสดุแบบเนื้อเดียวหรือเอกพันธ์ (homogeneous material)¹⁸ และเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียน้อย วิธีนี้เป็น การตรวจ วัดแบบทำลาย (destructive) วัสดุ และต้องมีการเตรียม ตัวอย่างก่อนการตรวจวัด ซึ่งทำได้ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจาก ตัวอย่างมีขนาดเล็ก ถ้าเป็นของแข็งก็จะมี การปรับแต่งให้ได้ รูปทรงและขนาดของโพรง ส่วนวัสดุที่เป็นกิ่งของแข็งและ ของเหลว จะต้องนำไปใส่ในบรรจุภัณฑ์ก่อนจึงจะนำไปใส่ใน โพรง ความผิดพลาดในการวัดด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่ เตรียมไว้มีขนาดไม่พอดีกับโพรง และทำให้เกิดช่องว่างขนาด เล็กขึ้นได้^{18, 44-47}

บทวิเคราะห์

จากการปริทัศน์วรรณกรรมเทคนิคการวัดสภาพ ยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่กล่าวมา 6 เทคนิค คือ เทคนิคสายส่ง แบบปลายเปิด เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแบบแกน ร่วม เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง เทคนิคสายส่งแบบระนาบ วิธีเรโซเนเตอร์ และวิธีการรบกวนแบบ เรโซแนนซ์ บางเทคนิค เหมาะสำหรับการวัดของแข็งโดยเฉพาะ เนื่องจากไม่ต้อง ฝึกรเตรียมตัวอย่างก่อนทดลอง ทำให้ง่ายและสะดวกในการ วัด เช่น เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด เทคนิคการส่งผ่าน

อวกาศว่าง และเทคนิคสายส่งแบบระนาบ บางเทคนิคสามารถวัดได้เฉพาะวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำเท่านั้น เช่น วิธีเรโซเนเตอร์ และวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์ บางเทคนิคสามารถวัดได้แต่วัสดุทดลองจะต้องถูกเปลี่ยนโครงสร้าง เช่น เทคนิคสายส่งแบบท่ออากาศและแบบแกนร่วม เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง วิธีเรโซเนเตอร์ และวิธีการรบกวนแบบเรโซแนนซ์

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำแต่ละเทคนิคไปใช้ คือ วัสดุที่ต้องการวัดนั้นเป็นของแข็ง ของเหลว หรือ กึ่งของแข็ง วัสดุถูกจัดให้เป็นวัสดุประเภทใด ขนาดของวัสดุที่นำไปใช้ทดลอง ต้องการวัดแบบทำลายหรือไม่ทำลายวัสดุ ความถี่ที่

ต้องการวัดว่าต้องการวัดที่ความถี่เดียวหรือเป็นแถบความถี่ หรือแม้กระทั่งการเตรียมวัสดุก่อนการทดลอง เป็นต้น เพื่อให้เกิดความสะดวกและความถูกต้องแม่นยำในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน

เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเลือกเทคนิคในการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนให้เหมาะสมกับวัสดุและงานที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้ และเพื่อให้เข้าใจแต่ละเทคนิคได้ง่ายขึ้น ผู้เขียนจึงของสรุปภาพรวมของเทคนิคทั้ง 6 ที่ได้กล่าวมา โดยการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละเทคนิคไว้ใน Table 1

Table 1 Properties of each technique for complex relative permittivity measurement

Technique	Open-ended transmission line	waveguide and coaxial transmission line	free space transmission	planar transmission line	resonator	resonant-perturbation
testing	non-destructive	destructive	non-destructive	non-destructive	destructive	destructive
size of sample	small	large (waveguide) small (coaxial)	large	small	large	vary small
state of sample	liquid, solid, semi solid	solid	solid (large flat plate)	liquid, solid, semi solid	solid	solid
accuracy	high (lossy material with high loss)	moderate	moderate	high	very high (lossy material with low loss)	very high (lossy material with low loss)
sample preparation	no	yes (difficult)	yes (difficult for liquid, and semi solid)	no	yes (difficult for liquid, and semi solid)	no
frequency	wideband frequency	wideband frequency	wideband frequency	wideband frequency	single frequency	single frequency

สรุป

บทความนี้นำเสนอการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน ซึ่งได้กล่าวถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด ลักษณะทางกายภาพของวัสดุทดสอบที่เหมาะสมในการวัดแต่ละเทคนิค รวมไปถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิค นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการนำแต่ละเทคนิคไปประยุกต์ใช้งานอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ และงบประมาณเพื่อการทบทวนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Vorlíček, J., Oppl, L. and Vrba, J. 2010. Measurement of complex permittivity of biological tissues. Proceeding of Progress in Electromagnetic Research Symposium Proceedings, Cambridge, USA, July 5 – 8, 2010: 599–601.
2. Berezovsky, V.K., Drobot, S.V., Khandogin, M.S. and Rusakovich, V.N. 2006. The waveguide technique of measurement of the complex permittivity of materials. Proceeding of 51st Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau, September 11 – 15, 2006.

3. Al-Mously, S.I., and Omran, K.F. 1999. Early detection of grains putrefaction in Barns and techniques of treatment using microwaves. First Conference on Natural Resources in Sirt Gulf Region, Sirt, Libya, November, 1999: 27-30.
4. King, R.J., King, K.V. and Woo, K. 1992. Microwave moisture measurement of grains. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 41(2): 111-115.
5. Nelson, S., Forbus, W.Jr. and Lawrence, K. 1994. Permittivity of fresh fruits and vegetables at 0.2 to 20 Hz. *Journal of Microwave Power Electromagnetic Energy*, 29(2): 81-93.
6. Stuchly, M.A., Athey, T.W., Samaras, G.M. and Taylor, G.E. 1982. Measurement of radio frequency permittivity of biological tissues with an open-ended coaxial line: Part II – Experimental Results. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 30(1): 87-92.
7. Wei, Y. and Sridhar, S. 1992. Biological applications of a technique for broadband complex permittivity measurements. *Proceeding of IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, 92.3: 1271-1274.
8. Elkhazmi, E.A., ZainalAbdin, M.N. and McEwan, N.J. 1997. Complex permittivity measurement of molding plastics using hybrid time and frequency methods. High Frequency Postgraduate Student Colloquium, Department of Electrical and Electronic Engineering, Bradford University, Leeds, UK.
9. Al-Mously, S.I. and Abdalla, A.Z. 2001. Microwave evaluation of used oil quality deterioration. *Arab Gulf Journal of scientific Research, Arabian Gulf University, Bahrain*, 19(2): 72-77.
10. Kashif, S., Muhammad, F.S., Matthew, B.B. and Ian, C.H. 2012. Planar microwave sensors for complex permittivity characterization of materials and their application. *Applied Measurement Systems, Rijeka, Croatia*.
11. Jyh, S. 2005. Study of microwave dielectric properties measurements by various resonance techniques. *Measurement*, 37: 123-130.
12. ชิติพันธ์ รัตน์ประโลม. 2548. การตรวจหาความอ่อนแอของทุเรียนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟวิเคราะห์ความชื้น. *วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
13. Komarov, V., Wang, S. and Tang, J. 2005. Permittivity and measurement. In K. Chang (eds.), *The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 4: 3693–3711.
14. Agilent. 2006. Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials: Application note, Agilent Technologies, USA.
15. นิวัตร์ อังควิเศษฐพันธ์. 2554. เทคโนโลยีในการออกแบบวงจรรองความถี่แถบหยุดผ่านไมโครสตริป. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, 4(2): 35-49.
16. อาคมแก้วระวัง. 2550. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. *มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น*, หน้า 248-250.
17. Athey, T. W., Stuchly, M.A., and Stuchly, S.S. 1982. Measurement of Radio Frequency Permittivity of Biological Tissues with an Open-ended Coaxial Line: Part I, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-30(1): 82–86.
18. Venkatesh, M.S., and Raghavan, G.S.V. 2005. An Overview of Dielectric Properties Measuring Techniques, *Canadian Biosystems Engineering*, 47: 7.15–7.30.
19. Marsland, T.P. and Evans, S. 1987. Dielectric Measurement with Open-ended probe, *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceeding H*, 134(4): 341–349.
20. Zajicek, R., Vrba, J. and Novotny, K. 2006. Evaluation of a Reflection Method on an Open-ended Coaxial Line and its Use in Dielectric Measurements, *ActaPolytechnica*, 46(5): 50–54.
21. Israel, G.R., Carlos, D.A.C. and Hildeberto, J.A. 2006. Measuring Complex Permittivity of Materials for Frequencies under 18 GHz, *Applied Microwave & Wireless*, pp: 56–66.
22. David, V.B. and Roger, D.P. 1997. An improved technique for permittivity measurements using a

- coaxial probe. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 46(5): 1093-1099.
23. Bilal, F., Francois, B., Jamal, R. and Gerard, B. 2008. Design and calibration of a large open-ended coaxial probe for the measurement of the dielectric properties of concrete. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 56(10): 2322-2328.
 24. Zheng, H.M. and Smith, C.E. 1991. Permittivity measurements using a short open-ended coaxial line probe. *IEEE Microwave and Guided Wave Letter*, 1(11): 337-339.
 25. Chen, L., Ong, C., Neo, C., Varadan V.V. and Varadan, V.K. 2004. *Microwave electronics: Measurement and materials characterization*, John Wiley and Sons, Chichester, UK.
 26. Nicolson, A.M. and Ross, G.F. 1970. Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time-domain Techniques, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, IM-19(4): 377–382.
 27. James, B.J., Michael, D.J., John, H.G. and Jr. Richard, G.G. 1993. Transmission/reflection and short-circuit line methods for measuring permittivity and permeability. National Institute of Standards and Technology, Colorado, Technical Note 1355-R, December, 1993.
 28. Weir, W.B. 1974. Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequency. *Proceeding of the IEEE*, 62(1), January, 1974.
 29. Wang, Y. and Afsar, M.N. 2003. Measurement of complex permittivity of liquids using waveguide techniques. *Progress In Electromagnetics Research*, PIER, 42: 131–142.
 30. Luigi, R., Chiara C. and Annachiara B. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of Food Engineering*, 100: 343–348.
 31. Politechnika, L. and Katedra, O.T. 2012. Dielectric permittivity measurement methods of textile substrate of textile transmission lines. *PrzegldElektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 88: 148–151.
 32. Aziz, M., Ermeey, A.K., Jusoff, K. 2010. Nondestructive and noncontact dielectric measurement methods for transformer oil using free-space microwave measurement system in 19–25 GHz frequency range. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 2(4): 1184-1189.
 33. Wee, F.H., Soh, P.J., Suhaizal, A.H.M, Nornikman, H. and Ezanuddin, A.A.M. 2009. Free space measurement technique on dielectric properties of agricultural residues at microwave frequencies. *IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC 2009)*: 183-187.
 34. Kumar, S.B., Raveendranath, U., Mohanan, P., Mathew, K.T., Hajian, M. and Lighthart, L.P. 2000. A simple free space method for measuring the complex permittivity of single and compound dielectric materials. *Microwave and Optical Technology Letters*, 26(2), July 20, 2000: 117-119.
 35. Varadan V. V., Richard D.H., Deepak K.G., and Vijay K. V. 1991. Free-space, broadband measurements of high-temperature, complex dielectric properties at microwave frequencies. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 40(5), October, 1991: 842-846.
 36. Ghodgaonkar, D.K., Varadan, V.V., and Varadan, V.K. 1990. Free-space measurement of complex permittivity and complex permeability of magnetic materials at microwave frequencies. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 39(2), April, 1990: 387-394.
 37. Byoungjoong, K., Jeiwon, C., Changyul, C. and Youngwoo, K. 2004. A Planar-type Probe with a Coaxial Aperture for Nondestructive Complex Permittivity Measurement of Biological Materials up to 30 GHz, *IEEE MTT-S Digest*, 1441 – 1444.
 38. Byoungjoong, K., Jae, H.P., Jeiwon, C., Kihyun, K., Sungkyu, L., Jeonghoon, Y., Changyul, C., Yong, K.K. and Youngwoo, K. 2005. Novel Low-cost Planar Probes with Broadside Apertures for Nondestructive Dielectric Measurement of Biological Materials at Microwave Frequencies, *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, 53(1): 134 – 143.

39. Namgon K., Jeonghoon Y., Sungjoon C., Jeiwon C., Changyul C. and Youngwoo K. 2008. An optimum design methodology for planar-type coaxial probes applicable to broad temperature permittivity measurements. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 56(3): 684-692.
40. Raj, A., Holmes, W. and Judah, S. 2001. Wide bandwidth measurement of complex permittivity of liquids using coplanar lines. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 50(4), August, 2001: 905-909.
41. Jung M.K., Sungjoon, C., Namgon, K., Jeonghoon, Y., Jeiwon, C., Changyul, C., Youngwoo, K. and Yong, K.K. 2007. Planar Type Micromachined Probe with Low Uncertainty at Low Frequencies, *Sensors Actuators: A Physical*, 139: 111-117.
42. Kapilevich, B.Y., Ogourtsov, S.G., Belenky, V.G., Maslenikov, A.B. and Abbas S.O. 2000. Accurate Microwave Resonant Method for Complex Permittivity Measurements of Liquids, *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, 48(11): 2159–2164.
43. Jyh, S. 2008. A dielectric resonator method of measuring dielectric properties of low loss materials in the microwave region. *Measurement Science and Technology*, 19: 1-11.
44. Jyh, S. 2009. Measurements of microwave dielectric properties by an amended cavity perturbation technique. *Measurement*, 42: 57–61.
45. Hajian, M., Mathew, K.T. and Ligthart, L.P. 1999. Measurements of complex permittivity with waveguide resonator using perturbation technique. *Microwave and Optical Technology Letters*, 21(4), May 20, 1999: 269-272.
46. Achmad M., Ananto E.P. and Mohammad R.E. 2012. Cavity reflection-transmission-perturbation method for foliage relative permittivity measurement. *IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT)*: 213-215.
47. Raad A.A. 2011. The cavity perturbation method for the measurement of the dielectric properties of (polystyrene/carbon black) composite, *Journal of Basrah Researches (Sciences)*, 37(1), February 15, 2011: 1-7.

ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์อยู่ในพื้นที่ป่าชุมชน โคกคูขาด-บ้านคูสีแจ อำเภอบึง จังหวัดศรีสะเกษ

Species Diversity and Utilization of Medicinal Plants by the Kuoy Tribe in Khok Khu Khat-Ban Khu Si Chae Community Forest, Phrai Bueng District, Sisaket Province.

ศรัญญา ก่อพันธ์¹, ธวัชชัย ธานี^{2,3*}, สมบัติ อัมระภา⁴

Sarunya Khopan¹, Tawatchai Tanee^{2,3*}, Sombat Appamaraka⁴

Received: 31 May 2018 ; Revised : 12 December 2018 ; Accepted: 26 December 2018

บทคัดย่อ

ภูมิปัญญาในการใช้พืชสมุนไพรเกิดจากกลุ่มชนพื้นบ้านนำทรัพยากรพรรณพืชสมุนไพรมาใช้ในชุมชนและอาจมีการผสมผสานกับความเชื่อในวัฒนธรรมท้องถิ่นของแต่ละพื้นที่หรือกลุ่มชาติพันธุ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความหลากหลายและดัชนีความสำคัญของพืชสมุนไพร รวมถึงการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์อยู่ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ อำเภอบึง จังหวัดศรีสะเกษ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการวางแปลงตัวอย่าง ขนาด 20 x 20 ตารางเมตร เป็นระยะเวลา 1 ปี คือ 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูแล้ง ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 และฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายน - เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 วิเคราะห์ความหนาแน่น ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่ ความถี่สัมพัทธ์ ความเด่น ความเด่นสัมพัทธ์ ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ ค่าดัชนีความหลากหลาย ค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ และศึกษาการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพร โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์หมอยาพื้นบ้านและชาวบ้านกลุ่มชาติพันธุ์อยู่ในพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ 2 ฤดู พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด โดยในฤดูแล้ง พบพรรณไม้ทั้งหมด 40 วงศ์ 68 ชนิด ส่วนในฤดูฝน พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด พรรณไม้ที่มีดัชนีความสำคัญมากที่สุดของทั้ง 2 ฤดู คือ พันชาด (*Erythrophleum succirubrum* Gagnep.) รองลงมาคือ ลำดวน (*Melodorum fruticosum* Lour.) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum* Guill.) และอะราง (*Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz) มีค่าดัชนีความสำคัญในฤดูแล้ง เท่ากับ 26.17, 25.40, 22.44 และ 15.17 ตามลำดับ และค่าดัชนีความสำคัญในฤดูฝน เท่ากับ 25.58, 25.15, 21.99 และ 15.13 ตามลำดับ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ของทั้ง 2 ฤดู เท่ากับ 0.83 แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ ส่วนองค์ความรู้ในการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์พบว่ามีกลุ่มชาติพันธุ์มีการนำพืชสมุนไพรทั้งหมด 54 ชนิด มาใช้ในการรักษาอาการโรคทั้งหมด 27 อาการ

คำสำคัญ: ความหลากหลาย การใช้ประโยชน์ ป่าชุมชน กลุ่มชาติพันธุ์ ภูมิปัญญา

¹ นิสิตปริญญาโท, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ กลุ่มวิจัยพันธุศาสตร์และพิษวิทยาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴ อาจารย์, สถาบันวิจัยลุ่มรุกชเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

² Assist. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

³ Genetics and Environmental Toxicology (GET) Research Group, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand

⁴ Lecturer, Walai Rukhvej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 44150, Thailand

* Corresponding author; Tawatchai Tanee, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand, tawatchai.t@msu.ac.th

Abstract

The traditional utilization of medicinal plants is derived from indigenous peoples and may be integrated with local cultural beliefs or ethnic groups. This study aimed to study the species diversity and utilization of medicinal plants of the Kuoy Tribe in Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest, Phrai Bueng district, Si Sa Ket Province. The field survey was done by quadrant sampling using a plot size of 20 x 20 meter² for a period of a year in two seasons. Including wet and dry seasons, dry season between December 2016 to May 2017 and wet season between June to November 2016. The collected information was evaluated for plant density, relative density, frequency, relative frequency, dominance, relative dominance, important value index, diversity index, evenness index and interviewing local practitioners in the community. The results showed that the medicinal plants species Khok Khu Khut community forest for two seasons, were identified into 43 families with 75 species, including 40 families with 68 species in the dry season and 43 families with 75 species in the wet season. The most importance value index (IVI) values of the plants were *Erythrophleum succirubrum* Gagnep., *Melodorum fruticosum* Lour., *Canarium subulatum* Guill. and *Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz. with 26.17, 25.40, 22.44, and 15.17, respectively, in the dry season and 25.58, 25.15, 21.99, and 15.13, respectively, in the wet season of IVI values. The evenness index value of both seasons was 0.83 meaning that the medicinal plant species in the community forest area had high evenness. From traditional utilization of medicinal plants informant consensus factor (ICF) data, there were 54 medicinal plants used for treatments of 27 symptoms.

Keywords : species diversity, utilization, community forest, ethnic groups, tradition

บทนำ

ประเทศไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพที่ประกอบไปด้วยองค์รวมของสรรพชีวิตในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับประชากรของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์นานาชนิดที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) ในแต่ละพื้นที่จนถึงความหลากหลายของชนิด (species diversity) ที่จัดว่าเป็นหน่วยพื้นฐานของกระบวนการวิวัฒนาการ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันในกลุ่มชนของสิ่งมีชีวิตจนเกิดเป็นความหลากหลายทางระบบนิเวศ (Ecosystem diversity)¹ และมีความสัมพันธ์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตกาลที่ได้อาศัยปัจจัยจากธรรมชาติที่มีอยู่รอบตัวเพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยสี่ที่จำเป็นในการดำรงชีวิตและความอยู่รอดและอาณาเขตบริเวณของป่าหลายแห่งยังเป็นที่อยู่อาศัยของชาวบ้านหลายกลุ่มหลายเผ่าพันธุ์ซึ่งมีการปรับตัวเรียนรู้ทางพฤติกรรมให้สอดคล้องกับธรรมชาติ ทำให้สังคมมนุษย์ในแต่ละท้องถิ่นมีความหลากหลายทางวัฒนธรรม (cultural diversity) เจริญงอกงามตามสภาพความหลากหลายทางชีวภาพและมีการพัฒนาวิถีชีวิตอย่างต่อเนื่องถ่ายทอดสืบต่อกันมาจนกลายเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ทรัพยากรป่าไม้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการนำพืชมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่ นำมาเป็นอาหาร (ผัก ธัญพืช ผลไม้ เครื่องเทศหรือเครื่องปรุงรส พืชที่นำมาผสมกับเครื่องต้มทำให้เกิดความมีนเมา พืชที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์) ทำเป็นที่อยู่อาศัย (พืชที่มนุษย์นำมาแปรรูป สร้างอาคารบ้านเรือน) ใช้เป็นเครื่อง

นึ่งห่ม (พืชที่ให้เส้นใยถักทอ รวมทั้งพืชที่ให้สีย้อมและพืชที่ใช้เลี้ยงแมลงที่ให้เส้นใย) เป็นยารักษาโรค (พืชที่ชาวบ้านเชื่อว่า มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรครวมถึงพืช ที่นำไปใช้เป็นยารักษาโรคได้โดยตรงหรือที่ต้องใช้ผสมกับสารอื่น) และใช้เป็นสัญลักษณ์และความเชื่อถือต่างๆ (เป็นเครื่องรางของขลัง นำโชค แลป้องกันภูตผีปีศาจ)²

ภูมิปัญญาในการใช้พืชสมุนไพรเป็นคุณสมบัติที่เด่นชัดอย่างหนึ่งของพฤกษศาสตร์พื้นบ้าน (Ethnobotany) ที่เกิดจากกลุ่มชนพื้นบ้านสร้างประสบการณ์ในการใช้ทรัพยากรพรรณพืชสมุนไพรในชุมชนที่มีอยู่ผ่านการสังเกต การทดลองใช้ การคัดเลือก และนำมาใช้ในกระบวนการรักษาความเจ็บป่วยและดูแลสุขภาพตามวิธีการแพทย์พื้นบ้าน ซึ่งอาจเป็นในลักษณะที่ชาวบ้านผู้มีความรู้ความชำนาญเก็บพืชสมุนไพรมาใช้กับตนเองหรือคนใกล้ตัว หรืออาจได้รับการรักษาโดยหมอพื้นบ้าน³ ซึ่งอาจมีการผสมผสานกับความเชื่อในวัฒนธรรมท้องถิ่นของแต่ละพื้นที่หรือกลุ่มชาติพันธุ์ เช่น จากการศึกษาความรู้ ความเชื่อ ในการใช้สมุนไพรรักษาสุขภาพของชาวผู้ไท จังหวัดยโสธรที่มีความเชื่อและนับถือผี จะมีพิธีกรรมประจำกลุ่มชาติพันธุ์ที่สำคัญในการดูแลรักษาสุขภาพ คือ พิธีเหยา และมีหมอรักษาเพื่อประกอบพิธีรักษาผู้ป่วย เรียกว่า หมอเหยา โดยมีการเชื่อมโยงความเชื่อให้เข้ากับเรื่องของอำนาจศักดิ์สิทธิ์เพื่อก่อให้เกิดความยำเกรงในการใช้ทรัพยากรไม่ว่าจะเป็นการจัดการทรัพยากรในรูปแบบของป่าชุมชน พิธีกรรม

รวมถึงการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ⁴ แต่ปัจจุบันความเชื่อและการเปลี่ยนแปลงของบริบททางสังคมที่มีกระแสนิยมความเป็นเมืองได้เข้ามาคุกคามความเป็นชนบท ประกอบกับการถ่ายทอดภูมิปัญญาในการจัดการทรัพยากรในระดับชุมชนไม่สอดคล้องกับบริบททางสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรเกือบจะสูญสลายหรือเสื่อมความนิยมไป

ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ จังหวัดศรีสะเกษ เป็นป่าที่ยังคงความอุดมสมบูรณ์ ประกอบกับชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณรอบพื้นที่ป่าเป็นกลุ่มชาติพันธุ์กวยหรือส่วย จากรายงานการศึกษา মানুষวัยพัฒนาธรรมในภาคอีสาน ชาวกวยหรือส่วยจัดเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มชาติพันธุ์ไทย-ลาว มีภาษาพูดอยู่ในกลุ่มมอญ - เขมร⁵ และมีรายงานการศึกษาว่าพัฒนาธรรมอาหารพื้นบ้านของกลุ่มชาติพันธุ์กวยจังหวัดศรีสะเกษ⁶ ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับกลุ่มชาติพันธุ์กวยหรือส่วยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับด้านสังคมและวัฒนธรรม การศึกษาเกี่ยวกับพืชสมุนไพรและภูมิปัญญาในการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กวย จึงควรอย่างยิ่งที่จะมีการศึกษารวบรวมเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานอย่างจริงจังโดยเฉพาะชุมชนที่ยังมีวิถีชีวิตที่พึ่งพาอาศัยธรรมชาติ

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาความหลากหลายชนิดและดัชนีความสำคัญของพืชสมุนไพร เพื่อวิเคราะห์หาชนิดพรรณไม้ที่มีความสำคัญในสังคมพืชของป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสีแจ รวมถึงการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กวยในพื้นที่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดการวางแผนการพัฒนาสมุนไพรสำหรับใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์และสนับสนุนการศึกษาและการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วย เครื่องหาตำแหน่งค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS) เข็มทิศใช้สำหรับการกำหนดทิศทางในการวางแปลง กล้องถ่ายรูป เทปวัดระยะขนาด 50 เมตร สายวัดใช้ในการวัดและทำขนาดของแปลงตามที่กำหนด เชือกฟางมิด อุปกรณ์เครื่องเขียนเช่น ดินสอ ยางลบ กระดาษ ปากกา กระดานรองเขียนถุงพลาสติกเก็บตัวอย่างพรรณไม้ แบบบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้ และหนังสือที่ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลพรรณไม้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ มีวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ อำเภอไพรบึง จังหวัดศรีสะเกษ มีลักษณะเป็นป่าเต็งรัง มีพื้นที่ทั้งหมด 558 ไร่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่คาบเกี่ยวระหว่าง 2 ตำบลคือ ตำบลสุขสวัสดิ์ จำนวน 28 ไร่ และตำบลปราสาทเยอ จำนวน 530 ไร่ เป็นที่สาธารณะประโยชน์ที่ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงกับป่า เข้ามาใช้ประโยชน์ร่วมกัน

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านความหลากหลายทางชีวภาพ ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ

(1) สุ่มตัวอย่างแปลงแบบสุ่มสม่ำเสมอ (systematic sampling) โดยกำหนดจุดแรกตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ระยะห่างของแปลง ห่างจากเส้นถนน 50 - 100 เมตร โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแปลง 150 เมตร ขนาดแปลง 20 x 20 เมตร จำนวนแปลงทั้งหมด 22 แปลง แต่ละแปลงแบ่งเป็นแปลงขนาดย่อย ประกอบด้วยแปลงขนาด 10 x 10 เมตร สสำรวจไม้ใหญ่ (tree) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 15 เซนติเมตรขึ้นไปถึงความสูงระดับอก (diameter at breast height) หรือที่ 130 เซนติเมตร แปลงขนาด 5 x 5 เมตร สสำรวจไม้หนุ่ม (sapling) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 เซนติเมตร และแปลงขนาด 1 x 1 เมตร สสำรวจไม้พุ่มล่าง เช่น ลูกไม้ ไม้ล้มลุก ไม้เถา ไม้เลื้อย (seedling) (Figure 1) และเก็บตัวอย่างอ้างอิงไว้ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยพันธุศาสตร์และพืชวิทยา สิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยขอนแก่น

(2) สสำรวจและระบุชนิดของพรรณไม้ในแปลงตัวอย่างและบันทึกข้อมูลชนิดพืชลงในตารางบันทึกข้อมูล

(3) เก็บข้อมูลและบันทึกภาพพร้อมกับหมอยาพื้นบ้านหรือผู้มีประสบการณ์ที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้สมุนไพร กรณีไม่ทราบชื่อหรือทราบเฉพาะชื่อท้องถิ่นทำการบันทึกภาพส่วนต่างๆ ของพืช และเก็บใส่ถุงอัดพันธุ์ไม้เพื่อเตรียมไว้เพื่อนำกลับไปสอบถามผู้รู้หรือค้นคว้าเพิ่มเติมโดยการใช้อินเทอร์เน็ตและหนังสืออ้างอิง เช่น หนังสือชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย⁷ หนังสือการตรวจเอกลักษณ์พืชสมุนไพร⁸ หนังสือลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ อนุกรมวิธานพืชสมุนไพร⁹ คู่มือศึกษาพันธุ์พืชป่า¹⁰

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพร โดยการสัมภาษณ์หมอยาและชาวบ้านกลุ่มชาติพันธุ์กวยที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ

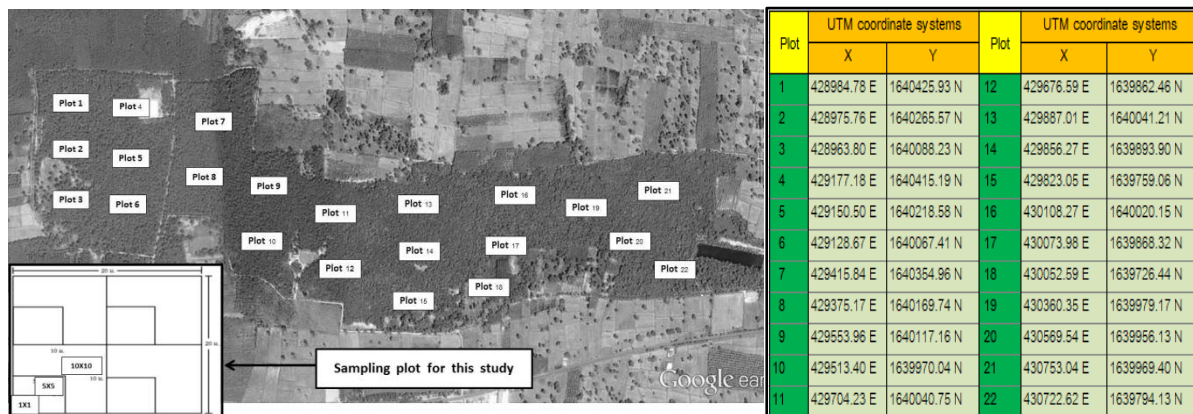


Figure 1 Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest.

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) นำข้อมูลพืชสมุนไพรจากการสำรวจมาวิเคราะห์ดัชนีความสำคัญของไม้ (importance value index, IVI) ความถี่ (frequency) ค่าความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency, RF) ความหนาแน่น (density) ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density, RD) ความเด่นของพืช (dominance) ค่าความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance, RDo)¹¹ และวิเคราะห์ข้อมูลความหลากหลายชนิดของพันธุ์ไม้โดยใช้สูตรของ Shannon - wiener Index และค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (diversity index, H')¹²

(2) วิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ ของกลุ่มชาติพันธุ์กวย ที่อาศัยอยู่บริเวณรอบพื้นที่ป่าโดยการสัมภาษณ์และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาชนิดของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรค (Informant consensus factor: ICF)¹³ จากสูตร $ICF = (Nur - Nt) / (Nur - 1)$ เมื่อ Nur คือจำนวนคนที่มาใช้ยาสมุนไพรรักษาโรค และ Nt คือจำนวนพืชชนิดนั้นที่ใช้ในการรักษาโรค และวิเคราะห์ร้อยละของจำนวนผู้ให้ข้อมูลที่อ้างถึงโรคที่มีการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรค (Fidelity level: FL)¹³ จากสูตร $FL = (Np / N) \times 100$ เมื่อ Np คือจำนวนผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นรักษาโรคนั้น และ N คือจำนวนผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นรักษาโรคต่างๆ

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ (E)

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความหลากหลายชนิดของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ 2 ฤดู คือ ฤดูแล้งและฤดูฝน พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด โดยในฤดูแล้ง พบพรรณไม้ทั้งหมด 40 วงศ์ 68 ชนิด จำแนกเป็นไม้ใหญ่ 26 วงศ์ 44 ชนิด ไม้หนุ่ม 29 วงศ์ 46 ชนิด และไม้พื้นล่าง 31 วงศ์ 46 ชนิด มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพรวมเท่ากับ 3.49 โดยไม้ใหญ่มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 3.08 รองลงมาคือไม้พื้นล่างเท่ากับ 3.06 และไม้หนุ่ม เท่ากับ 2.98 ตามลำดับ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์รวม เท่ากับ 0.83 และในฤดูฝน พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด โดยจำแนกเป็นไม้ใหญ่ 26 วงศ์ 44 ชนิด ไม้หนุ่ม 29 วงศ์ 46 ชนิด และไม้พื้นล่าง 34 วงศ์ 50 ชนิด (Table 1) มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพรวมเท่ากับ 3.57 โดยไม้พื้นล่าง มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 3.19 รองลงมาคือ ไม้ใหญ่ เท่ากับ 3.08 และไม้หนุ่ม เท่ากับ 2.98 ตามลำดับ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์รวมเท่ากับ 0.83 (Table 2)

Table 1 Medicinal plants in Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest

commom name	Kuoy name	Family	Plant species	Dry Season	Wet Season	Live from
Kra caea	Ma neng yeiy	RUTACEAE	<i>Hesperethusa crenulata</i> (Roxb.) M. Roem.	+	+	T
Kra done	Kan txl	LECYTHIDACEAE	<i>Careya arborea</i> Roxb.	+	+	T
Krabk	La kay	IRVINGACEAE	<i>Irvingia malayana</i> Oliv.ex A.W. Benn.	+	+	T
Klwytea	Xa tern	ANNONACEAE	<i>Polyalthia debilis</i> Finet & Gagnep.	+	+	H
Kling klang dng	Xa pxng	MENISPERMACEAE	<i>Stephania venosa</i> (Blume) Spreng	+	+	T
Kaphaeng ced cha	Way Way	CELASTRACEAE	<i>Salacia chinensis</i> Linn.	+	+	T
turmeric	Ra hmud hlung	BERBERIDACEAE	<i>Mahonia siamensis</i> Takeda.	-	+	H
Kha pa	Ta ling kexa	ZINGIBERACEAE	<i>Alpinia malaccensis</i> (Burm. f.) Roscoe	+	+	G
Khixn	Khixn	MALVACEAE	<i>Pavonia rigida</i> (Wall. ex Mast.) Hochr.	+	+	S
Khem khaw	Yeiy la beaa	RUBIACEAE	<i>Pavetta tomentosa</i> Roxb. ex Smith	+	+	S
Khem daeng	Yeiy la ka sea	RUBIACEAE	<i>Ixora lobbii</i> Loudon	+	+	T
Khelng / nangdum	Khal la khe lng	CAESALPINIACEAE	<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre.	+	+	T
Korlan	Kor rn	SAPINDACEAE	<i>Nephelium hypoleucum</i> Kurz.	+	+	T
Kha mwk hlwng	Pa dwng	RUBIACEAE	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	+	+	T
Kha rxk (tan kk rd)	mad cem pru	CONNARACEAE	<i>Ellipanthus tomentosus</i> Kurz.	+	+	T
Khae hawhmu	Cha cha krx y	BIGNONIACEAE	<i>Markhamia stipulata</i> Seem. var. <i>stipulata</i>	+	+	T
Ngiv pa	tx l ka	BOMBACOIDEAE	<i>Bombax anceps</i> Pierre var. <i>anceps</i>	+	+	T
Cha mwng	Khal ta mung	GUTTIFERAE	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex Choisy	+	+	T
Daeng	Pra	MIMOSACEAE	<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub.	+	+	T
Tako na	tang ko	EBENACEAE	<i>Diospyros rhodocalyx</i> Kurz.	+	+	T
Ta khrx	Ka po	SAPINDACEAE	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr	+	+	T
Tiw khaw	ra ngaeng beaa	HYPERICACEAE	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook.f.	+	+	T
Tiw daeng	ra ngae ngk ra sea	HYPERICACEAE	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	+	+	T
Tum ka khaw	Pa waea	STRYCHNACEAE	<i>Strychnos nux-blanda</i> A.W. Hill	+	+	T
Teng/ cik	Ka ra bxng	DIPTEROCARPACEAE	<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	-	+	H
Theayaymxm	Xa bu kexa	DIOSCOREACEAE	<i>Tacca leontopetaloides</i> (L.) Kuntze	+	+	T
Nom khway / phi phwn	Cae m kern	ANNONACEAE	<i>Uvaria rufa</i> Blume	+	+	H
Nom noy	Mo m mom	ANNONACEAE	<i>Polyalthia evecta</i> (Pierre) Finet & Gagnep	+	+	H
Buk khangkhk	Xa bu kud ta	ARACEAE	<i>Amorphophallus paeoniifolius</i> (Dennst.) Nicolson	+	+	H
Buk xi rxk	Xabu	ARACEAE	<i>Amorphophallus brevispathus</i> Gagnep.	+	+	T
Pra du pa	Ka hluy	PAPILIONOIDEAE	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	+	+	T
Px kaen thea	Periyng	TILIACEAE.	<i>Grewia eriocarpa</i> Juss	+	+	T
Phyarakdeiyw	Phyarakdeiyw	SIMAROUBACEAE	<i>Eurycoma longifolia</i> Jack.	+	+	T
Phlxng hemux	Yeaa hemu d	MELASTOMATAACEAE	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	+	+	C
Phlu chang	Bu xa ceiyng	ARACEAE	<i>Scindapsus officinalis</i> (Roxb.) Schott	+	+	T

Table 1 Medicinal plants in Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest (Cont.)

commom name	Kuoy name	Family	Plant species	Dry Season	Wet Season	Live from
Pha yxm	Bul pea	DIPTEROCARPACEAE	<i>Shorea roxburghii</i> G.Don.	+	+	T
Pha yung	Khah yung	LEGUMINOSAE	<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre.	+	+	T
Phan sad	Ke ri ya	CAESALPINIACEAE	<i>Erythrophleum succirubrum</i> Gagnep.	+	+	C
Phul pa	Blu xa ceiyng	PIPERACEAE	<i>Peper betle</i> Linn.	-	+	H
Makla tn	Xa rux	MIMOSOCEAE	<i>Adenanthera pavonina</i> Linn.	+	+	T
Makxx keluxn	Ka ceng	BURSERACEAE	<i>Canarium subulatum</i> Guill.	+	+	T
Makhangdaeng / ma kang	Buk ra sea	RUBIACEAE	<i>Dioecrescis erythroclada</i> (Kurz) Tirveng.	+	+	T
Makhatae	Kaka	CAESALPINIACEAE	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm.ex Miq.	+	+	T
Manaw pa	Koy ke aa	RUTACEAE	<i>Atalantia monophylla</i> DC.	+	+	T
Ma phxk	ta hlaw a	CHRYSOBALANACEAE	<i>Parinari anamensis</i> Hance	+	+	T
Mafi raed	trx aki	SANTALACEAE	<i>Parinari anamense</i> Hance.	+	+	T
Mamwng pa	Khal sa hway	ANACARDIACEAE	<i>Mangifera coloneura</i> Kurz.	+	+	T
Mamwng haw maeng wan	-	ANACARDIACEAE	<i>Buchanania cochinchinensis</i> (Lour.) M.R.Almeida	+	+	T
Wan phil	Hipl	ZINGIBERACEAE	<i>Zingiber montanum</i> (J.Koenig) Link ex A.Dietr.	+	+	T
Sadea	Sa tang	MELIACEAE	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	+	+	T
Saemsar / khihelk pa	Sang kan kexa	CAESALPINIACEAE	<i>Senna garrettiana</i> (Craib) H.S.Irwin & Barneby	+	+	T
Hyangwng chang	Ta boy xa cung	POACEAE	<i>Heliotropium indicum</i> L.	+	+	G
Hya riphaer	Tei ya t hea	LEGUMINOSAE- PAPILIONOIDEAE	<i>Centotheca lappacea</i> (L.) Desv.	+	+	G
Hya hang xn	Bad lxng hlwy	BORAGINACEAE	<i>Uraria lagopodioides</i> (L.) Desv. ex DC	+	+	G
Hya haewhmu	Xa pxng li	CYPERACEAE	<i>Cyperus rotundus</i> Linn.	+	+	G
Hwa	Kaerng	MYRTACEAE	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	+	+	T
Had	Trxy	MORACEAE	<i>Artocarpus lacucha</i> Roxb.	+	+	T
Hun hi	Cet mul	ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxylum cuneatum</i> (Miq.) Kurz.	+	+	T
Xa rang	Xa hra ng	CAESALPINIACEAE	<i>Peltophorum dasyrachis</i> (Miq.) Kurz.	+	+	T
Xeueng pa	Sob	COSTACEAE	<i>Costus speciosus</i> Smith.	-	+	H
Ho ya	Xa wang tuk ka	ASCLEPIADACEAE	<i>Hoya kerrii</i> Craib	+	+	C

Notation: + Presence - Not Presence

G = Grass H = Herb C = Climber F = Fern S = Shrub T = Tree CF = Climber fern

Table 2 Shannon and wiener Index (H'), Evenness Index (E)

Shannon and wiener Index(H')	Tree	Sapling	seeding	Total H'	Evenness Index (E)
Day Season	3.081	2.982	3.066	3.492	0.828
wet Season	3.081	2.982	3.189	3.579	0.829

2. ผลการศึกษาค่าดัชนีความสำคัญ (importance value index, IVI) ของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ

ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ ทั้ง 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด โดยในฤดูแล้ง พรรณไม้เด่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดคือ พันชาติ (*Erythrophleum succirubrum* Gagnep.) รองลงมาคือลำตวน (*Melodorum fruticosum* Lour.) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum* Guill.) และอะราง (*Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz.) ตามลำดับ โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 26.26, 25.91, 21.6 และ 15.12 ส่วนพรรณไม้ที่ค่าดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดคือมะม่วงป่า (*Mangifera coloneura* Kurz.) และมะลิป่า (*Jasminum nervosum* Lour.) ซึ่งมีค่าดัชนีความ

สำคัญเท่ากับ 0.27 ตามลำดับ และฤดูฝน พรรณไม้เด่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดคือ พันชาติ *Erythrophleum succirubrum* Gagnep.) รองลงมาคือ ลำตวน (*Melodorum fruticosum* Lour.) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum* Guill.) และอะราง (*Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz.) ตามลำดับ เช่นเดียวกับกับฤดูแล้ง โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 25.08, 24.78, 21.59 และ 14.86 ตามลำดับ ส่วนพรรณไม้ที่ค่าดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดคือข่าป่า (*Alpinia malaccensis* (Burm. f.) Roscoe.) บุกคางคก (*Amorphophallus paeoniifolius* (Dennst.) Nicolson) มะม่วงป่า (*Mangifera coloneura* Kurz.) มะลิป่า (*Jasminum nervosum* Lour.) ซึ่งมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 0.25 (Figure 2 และ Table 3)



Figure 2 The importance value index (IVI) of medicinal plants in Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest (A) *Erythrophleum succirubrum* Gagnep. (B) *Melodorum fruticosum* Lour. (C) *Canarium subulatum* Guill. (D) *Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz.

Table 3 Relative frequency (RF), relative density (RD), relative dominance, (RDo) and importance value index (IVI) of medicinal plants in Khok Khu Khat - Ban Khu Si Chae community forest

Season	Plants species	RD	RF	RDo	IVI
Dry Season	<i>Erythrophleum succirubrum</i> Gagnep.	8.06	4.43	13.77	26.26
	<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.	14.99	4.66	6.26	25.91
	<i>Canarium subulatum</i> Guill.	4.88	3.99	12.75	21.62
	<i>Peltophorum dasyrachis</i> (Miq.) Kurz.	2.98	3.33	8.82	15.13
	<i>Mangifera coloneura</i> Kurz.	0.05	0.22	0	0.27
	<i>Jasminum nervosum</i> Lour.	0.05	0.22	0	0.27
Wet Season	<i>Erythrophleum succirubrum</i> Gagnep.	7.08	4.24	13.77	25.08
	<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.	13.85	4.66	6.26	24.78
	<i>Canarium subulatum</i> Guill.	5.03	3.81	12.75	21.59
	<i>Peltophorum dasyrachis</i> (Miq.) Kurz.	2.64	3.39	8.82	14.86
	<i>Mangifera coloneura</i> Kurz.	0.04	0.21	0	0.25
	<i>Jasminum nervosum</i> Lour.	0.04	0.21	0	0.25
	<i>Alpinia malaccensis</i> (Burm. f.) Roscoe .	0.04	0.21	0	0.25
	<i>Amorphophallus paeoniifolius</i> (Dennst.) Nicolson	0.04	0.21	0	0.25

3. ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กวย ในป่าชุมชนบ้านโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ

ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กวย ในป่าชุมชนบ้านโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ อำเภอไพรบึง จังหวัดศรีสะเกษ โดยการสัมภาษณ์หมอยาพื้นบ้าน และชาวบ้านกลุ่มชาติพันธุ์กวยที่อาศัยอยู่บริเวณ รอบพื้นที่ป่า พบว่า มีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการรักษาอาการโรคทั้งหมด 27 ชนิดอาการโรคใช้พืชสมุนไพรทั้งหมด 54 ชนิด โดยจะมีค่าที่ระบุจำนวนผู้ให้สัมภาษณ์การรักษาโรคนั้นๆ (Informant consensus factor : ICF) เท่ากับ 0 - 1 โดยพืชที่

มีความจำเพาะเจาะจงในการรักษาและมีความหลากหลายในการรักษาน้อย ได้แก่ ผลพุพอง แก้วปวดข้อและกระดูก และสมุนไพรที่รักษาโรคคางทูม และพืชที่มีความจำเพาะเจาะจงในการรักษาและมีความหลากหลายในการรักษามาก ได้แก่ แก้วความดัน รักษาอาการปวดฟัน ขับพยาธิโรคทางเดินหายใจ สัตว์กัดต่อยและแก้ช้ำในริดสีดวง และโรคตาขโมย (ช่างในเด็ก) โดยร้อยละของพืชสมุนไพร ที่ผู้ให้ข้อมูลอ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกัน (Fidelity level : FL) มีตั้งแต่ 0 - 100 ซึ่งพืชสมุนไพรที่มีร้อยละของพืชสมุนไพรที่ผู้ให้ข้อมูลอ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกันมากที่สุดร้อยละ 100 จำนวน 22 ชนิด (Table 4)

Table 4 Disease categories, Informant consensus factor (ICF) and Fidelity level (FL) for folk uses of importance medicinal plants

Ailment categories	ICF	commom name	Plant species	FL (100%)
Blister/ Burn/ ulcer	1.00	Wan hangcrakhe	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f	67
Managing Bone Cancer Pain	1.00	Thxng phan chang	<i>Rhinacanthus nasutus</i> (L.) Kurz.	67
mumps	1.00	Lin kwang	<i>Ancistrocladus tectorius</i> . (Lour.) Merr.	33
bleeding/ wound	0.92	Sab seua	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.	100
		Phlu	<i>Piper betle</i> Linn.	100
giddiness	0.80	Kherue somlom	<i>Aganonerion polymorphum</i> Spire	67
		Khxy	<i>Streblus asper</i> Lour.	80
Human fuel: food that nourishes the body	0.76	Yanang	<i>Limacia triandra</i> Miers	25
		Bxraphed	<i>Tinospora crispa</i> (L.) Miers ex Hook.f.& Thomson	94
		Yang na	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don.	25
		Luktaibui	<i>phyllanthus amarus</i> Schum & Thonn	30
		Krawan	<i>Amomum verum</i> Blackw	50
		Tiw khaw	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack.)	100
		Kadlin (lum yai pa)	<i>Walsura trichostemon</i> Miq.	50
Galactagogue	0.75	Yang na	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don.	38
		Kluai num wa	<i>Musa sapientum</i> L.	33
		Num nang	<i>Xantolis cambodiana</i> (Pierre ex Dubarb) P.Royen	100
		Khs mox khwng (khi-nea)	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	40
cough	0.71	Makham pom	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	100
		Lin kwang	<i>Ancistrocladus tectorius</i> . (Lour.) Merr.	67
		Sompoi	<i>Acacia concinna</i> (Willd.) D.C.	29
Can help balance sex hormones.	0.69	Wan phil	<i>Zingiber montanum</i> (J.Koenig) Link ex A. Dietr.	10
		Hya riphaer	<i>Centotheca lappacea</i> (L.) Desv.	100
		Wan chak modluk	<i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.	100

Table 4 Disease categories, Informant consensus factor (ICF) and Fidelity level (FL) for folk uses of importance medicinal plants (Cont.)

Ailment categories	ICF	commom name	Plant species	FL (100%)
		Tabtea ton	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don.	40
		Kwao kruea khao	<i>Pueraria candollei</i> Graham ex Benth. var mirifica	100
insomnia	0.67	Khihelk	<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	50
		Sa dea	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	50
fever	0.60	Sompoi	<i>Acacia concinna</i> (Willd.) D.C.	43
		Marum	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	50
		Fa thalay cor	<i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f.) Nees	100
		Yanang	<i>Limacia triandra</i> Miers	50
		Tabtea ton	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don.	20
		Lukbti bai	<i>phyllanthus amarus</i> Schum & Thonn	57
Easing muscle aches	0.50	Khmin pa	<i>Gymnopetalum integrifolium</i> (Roxb.)	100
Pain		Kad lin (Lum yai pa)	<i>Walsura trichostemon</i> Miq.	50
		Wan phil	<i>Zingiber cassumunar</i> Roxb.	30
		Som poi	<i>Acacia concinna</i> (Willd.) D.C.	14
Take poisonous food	0.50	Noyhna	<i>Annona squamosa</i> L.	100
		Phang khi	<i>Croton crassifolius</i> Geiseler	50
		Yang na	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don.	25
		Ya haw (khaw yen ti)	<i>Smilax glabra</i> Roxb.	100
		Khs mox khlwng (khi- nea)	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	60
		Tabtea ton	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don.	40
Apthous ulce	0.20	Roselle	<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.	50
		Yanang	<i>Tiliacora triandra</i> Diels	25
		Phakhwan	<i>Melientha suavis</i> Pierre	100
		Luk ti bi	<i>phyllanthus amarus</i> Schum & Thonn	14
		Kherux hma noy	<i>Cissampelos pareira</i> L.	100
Thirsty	0.20	Makok	<i>Spondias pinnata</i> (L.f.) Kurz.	100
		Smo thiy	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>Chebula</i>	50
		Bora phed	<i>Tinospora crispa</i> (L.) Miers ex Hook.f.& Thomson	6
		Kherue som lum	<i>Aganonerion polymorphum</i> Spire	33
		Cha mwng	<i>Garcinia cowa</i> Roxb.	33
hypertension	0.00	Yahang deang	<i>Bauhinia strychnifolia</i> Craib	100
		Marum	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	50
toothache	0.00	Nam keliyng /rak hiy	<i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou	100
		Khoy	<i>Streblus asper</i> Lour.	20
		Yang na	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don.	13
		Manaw pa	<i>Atalantia monophylla</i> DC.	50
vermifuge	0.00	Makelux	<i>Diospyros mollis</i> Griff	100

Table 4 Disease categories, Informant consensus factor (ICF) and Fidelity level (FL) for folk uses of importance medicinal plants (Cont.)

Ailment categories	ICF	commom name	Plant species	FL (100%)
Respiratory disease	0.00	Manaw pa	<i>Atalantia monophylla</i> DC.	50
		Wan phil	<i>Zingiber cassumunar</i> Roxb.	10
		Takhir	<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.	25
sting	0.00	Takhisaled phang phon	<i>Barteria lipulina</i> Lindl	50
Motion Sickness	0.00	Bai baw bok	<i>Centella asiatica</i> Urban	100
hemorrhoids/piles	0.00	Wan hangcrakhe	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f	33
Malnutrition	0.00	Hunhi	<i>Erythoxylum cuneatum</i> (Miq.) Kurz.	50

จากผลการสำรวจการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กัญ ในการรักษาอาการโรค พบพืชสมุนไพร ทั้งหมด 54 ชนิด และจากผลการสำรวจพืชสมุนไพรในป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ พบพืชสมุนไพร ทั้งหมด 75 ชนิด รวมทั้ง 112 ชนิดโดยมีพืชสมุนไพรที่สำรวจพบทั้งในป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ และพืชสมุนไพรที่กลุ่มชาติพันธุ์กัญนำมาใช้ประโยชน์ ที่เหมือนกัน ทั้งหมดจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ นมควาย ขมิ้นเหลือง ขี้เหล็ก คำมอกหลวง ชะมวง ตั้วขาว ตูมกาขาว นมสาว พลู ว่านไพล มะนาวป่า ย่านาง รักใหญ่ นกวาง สะเดาและหญ้ารีแพร์ และพืชสมุนไพรจากผลการใช้

ประโยชน์พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กัญ และจากผลการสำรวจพืชสมุนไพรในป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ ปรากฏอยู่ในตำรับยาในบัญชียาจากสมุนไพรตามรายการยาในบัญชีแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ พ.ศ. 2561 จำนวน 23 ชนิด ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง กระวาน กล้วยน้ำว่า กะเพรา กำแพงเจ็ดชั้น ขมิ้น ขิง ขี้เหล็กป่า ชะพลู ทองพันชั่ง เท้ายายม่อม เจตพังคี บอระเพ็ด ใบบัวบก พญารากเดี่ยว พลู มะขามป้อม ย่านาง รวงจืด ว่านหางจระเข้ ส้มป่อย สมอไทย และหญ้าแห้วหมู (Table 5)

Table 5 Medicinal Plants and Utilization of Medicinal Plants of Kuoy Tribe in KhokKhuKhat - Ban Khu Si Chae community forest

commom name	Plant species	Find	
		Forest	village
Roselle*	<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.		✓
kra caea	<i>Hesperethusa crenulata</i> (Roxb.) M. Roem.	✓	
Kra done	<i>Careya arborea</i> Roxb.	✓	
Krabok	<i>Irvingia malayana</i> Oliv.ex A.W. Benn.	✓	
Krawan	<i>Amomum verum</i> Blackw		✓
Klwytea	<i>Polyalthia debilis</i> Finet & Gagnep.	✓	✓
Kluai nam wa *	<i>Musa sapientum</i> L.		✓
Kling klang dong	<i>Stephania venosa</i> (Blume) Spreng	✓	
Kwao kruea khao	<i>Pueraria candollei</i> Graham ex Benth. var <i>mirifica</i>		✓
Ka phrao*	<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.	✓	
Kamphaengcedchan*	<i>Salacia chinensis</i> Linn.		✓
Turmeric*	<i>Gymnopetalum integrifolium</i> (Roxb.)		✓
Khmin heluxng /khmin ton	<i>Mahonia siamensis</i> Takeda.	✓	✓
Khxy	<i>Streblus asper</i> Lour.		✓
Kha pa	<i>Alpinia malaccensis</i> (Burm. f.) Roscoe	✓	

Table 5 Medicinal Plants and Utilization of Medicinal Plants of Kuoy Tribe in KhokKhuKhat - Ban Khu Si Chae community forest (Cont.)

commom name	Plant species	Find	
		Forest	village
Khing*	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe		✓
Khihelk*	<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	✓	✓
Khixon	<i>Pavonia rigida</i> (Wall. ex Mast.) Hochr.	✓	
khem khaw	<i>Ixora lucida</i> R.Br. ex Hook.f.	✓	
Khem daeng	<i>Ixora lobbii</i> Loudon	✓	
Khelng /nangda	<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre.	✓	
Khaeyng	<i>Limnophila geoffrayi</i> Bonati		✓
Khamok hlwng	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	✓	✓
Khalaen	<i>Nephelium hypoleucum</i> Kurz	✓	
Kharok /tan kod	<i>Ellipanthu stomentosus</i> Kurz.	✓	
Kherue khawsan	<i>Raphistemma hooperianum</i> (Blume) Decne		✓
Kherue som lom	<i>Aganonerion polymorphum</i> Spire		✓
Kherue hmanoy	<i>Cissampelospareira</i> L. var. <i>hirsuta</i> (Buch. ex DC.) Forman.		✓
Khae hawhmu	<i>Markhamia stipulata</i> Seem. var. <i>stipulata</i>	✓	
Ngjwpa	<i>Bombax anceps</i> Pierre var. <i>anceps</i>	✓	
Cha mwng	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex Choisy	✓	✓
Chaphlu*	<i>Piper sarmentosum</i> Roxb		✓
Daeng	<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub.	✓	
Tako na	<i>Diospyros rhodocalyx</i> Kurz	✓	
Takhro	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr	✓	
Takhir	<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.		✓
Tiw khaw	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack.)	✓	✓
Tiw daeng	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	✓	
Tum ka khaw	<i>Strychnos nux-blanda</i> A.W. Hill	✓	✓
Teng /cik	<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	✓	
Tabtea ton	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don.		
Tong phan chang	<i>Rhinacanthus nasutus</i> (L.) Kurz		✓
Theayaymom	<i>Tacca leontopetaloides</i> (L.) Kuntze	✓	
Nmkhway/phiphwn	<i>Uvaria rufa</i> Blume	✓	
Nm noy	<i>Polyalthia evecta</i> (Pierre) Finet & Gagnep	✓	
Nm saw /nm nang	<i>Xantolis cambodiana</i> (Pierre ex Dubarb) P.Royen	✓	✓
Noy hna	<i>Annona squamosa</i> L.		✓
Nam keliyng/rak hiy	<i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou	✓	✓
Bora phed	<i>Tinospora crispa</i> (L.) Miers ex Hook.f.& Thomson		✓
Buk khangkhk	<i>Amorphophallus paeoniifolius</i> (Dennst.) Nicolson	✓	
Buk xirok	<i>Amorphophallus brevispathus</i> Gagnep.	✓	
Bi baw bk*	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urban		✓
Pradu pa	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	✓	

Table 5 Medicinal Plants and Utilization of Medicinal Plants of Kuoy Tribe in KhokKhuKhat - Ban Khu Si Chae community forest (Cont.)

common name	Plant species	Find	
		Forest	village
Po kaen thea	<i>Grewia eriocarpa</i> Juss	✓	
Phakhwanban	<i>Sauropus androgynus</i> (Linn.) Merr.		✓
Phyarakdeiyw*	<i>Eurycoma longifolia</i> Jack.	✓	
Phlong hemuod	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	✓	
Phlu*	<i>Piper betle</i> Linn.	✓	✓
Phlu chang	<i>Scindapsus officinalis</i> (Roxb.) Schott	✓	
Phayom	<i>Shorea roxburghii</i> G.Don.	✓	
Phayung	<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre.	✓	
Phang khi*	<i>Croton crassifolius</i> Geiseler		✓
Phan sad	<i>Erythrophleum succirubrum</i> Gagnep.	✓	
Fa thalay cor	<i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f.) Nees		✓
Mokla ton	<i>Adenanthera pavonina</i> Linn.	✓	
Makok	<i>Spondias pinnata</i> (L.f.) Kurz.		✓
Makok keluen	<i>Canarium subulatum</i> Guill.	✓	
Makelux	<i>Diospyros mollis</i> Griff		✓
Ma kham pom*	<i>Phyllanthus emblica</i> L.		✓
Makhang daeng/ma kang	<i>Dioecrescis erythroclada</i> (Kurz) Tirveng.	✓	
Makhatae	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm.ex Miq.	✓	
Manaw pa	<i>Atalantia monophylla</i> DC.	✓	✓
Ma phok	<i>Parinari anamensis</i> Hance	✓	
Mamwng pa	<i>Mangifera coloneura</i> Kurz.	✓	
Mamwng haw maeng wan	<i>Buchanania cochinchinensis</i> (Lour.) M.R.Almeida	✓	
Marum	<i>Moringa oleifera</i> Lam.		✓
Mali pa	<i>Jasminum nervosum</i> Lour.	✓	
Mahwd	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh	✓	
Mok kh erux	<i>Aganosma marginata</i> (Roxb.) G.Don.	✓	
Yo pa	<i>Morinda coreia</i> Buch.-Ham	✓	
Yang na	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don.		✓
Yang phlwng	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	✓	
Yang heiyng	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	✓	
Yong on	<i>Polyalthia viridis</i> Craib	✓	
Yanang*	<i>Limacia triandra</i> Miers	✓	✓
Yanang daeng	<i>Bauhinia strychnifolia</i>		✓
Ya haw /khaw yen ti	<i>Smilax glabra</i> Roxb.		✓
Rang cud*	<i>Thumbergia laurifolia</i> Linn.		✓
Lay	<i>Microcos paniculata</i> Linn.	✓	
Ka dwn	<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.	✓	
La bid dng	<i>Diospyros filipendula</i> Pierre ex Lecomte.	✓	

Table 5 Medicinal Plants and Utilization of Medicinal Plants of Kuoy Tribe in KhokKhuKhat - Ban Khu Si Chae Community Forest (Cont.)

commom name	Plant species	Find	
		Forest	village
Lamyi pa/kad lin	<i>Walsura trichostemon</i> Miq.		✓
Lin kwang	<i>Ancistrocladus tectorius</i> . (Lour.) Merr.	✓	✓
Luk ti bi	<i>phyllanthus amarus</i> Schum & Thonn		✓
Leb heyiyw	<i>Ziziphus oenopolia</i> (L.) Mill.	✓	
Wan chak mod luk	<i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.		✓
Wan phil*	<i>Zingiber montanum</i> (J.Koenig) Link ex A.Dietr.	✓	✓
Wan hang cra khe*	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f		✓
Sompoy*	<i>Acacia concinna</i> (Willd.) D.C.		✓
Smo thiy*	<i>Terminalia chebula</i> Retz.		✓
Sadea	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	✓	✓
Sab seux	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.		✓
Selad phang phon	<i>Barleria lipulina</i> Lindl		✓
Saemsar / khihelk pa	<i>Senna garrettiana</i> (Craib) H.S.Irwin & Barneby	✓	
Hya hang on	<i>Uraria lagopodioides</i> (L.) Desv. ex DC.	✓	
Hyang wng chang	<i>Heliotropium indicum</i> L.	✓	
Hya riphaer	<i>Centotheca lappacea</i> (L.) Desv.	✓	✓
Hya haew hmu*	<i>Cyperus rotundus</i> Linn.	✓	
Hwa	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	✓	
Had	<i>Artocarpus lakoocha</i> Roxb.	✓	
Hun hi/cet mul	<i>Erythroxylum cuneatum</i> (Miq.) Kurz		✓
Oa rang	<i>Peltophorum dasyrachis</i> (Miq.) Kurz.	✓	
Oeueng pa	<i>Costus speciosus</i> Smith.	✓	
Ho ya	<i>Hoya kerrii</i> Craib	✓	

*The medicinal plants in National list of essential medicines 2018 by National Drug System Development Committee

สรุปและวิจารณ์ผล

1. ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') และค่าดัชนีความสม่าเสมอของชนิดพันธุ์ (E) ของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความหลากหลายชนิดของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด พบค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพรวมมากที่สุดในฤดูฝน เท่ากับ 3.58 โดยไม้พื้นล่างมีค่าดัชนีความหลากหลายมากที่สุด เท่ากับ 3.19 รองลงมาคือ ไม้ใหญ่ เท่ากับ 3.08 และ ไม้หนุ่ม เท่ากับ 2.98 ตามลำดับ ส่วนในฤดูแล้ง ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพรวมเท่ากับ 3.49 โดยไม้ใหญ่ มีค่าดัชนีความหลากหลายมากที่สุด เท่ากับ 3.08 รองลงมาคือ ไม้พื้นล่างเท่ากับ 3.06 และไม้หนุ่ม เท่ากับ 2.98 ตามลำดับ และค่า

ดัชนีความสม่าเสมอของชนิดพันธุ์รวมทั้งสองฤดูมีค่าเท่ากันคือ 0.83

จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พืชสมุนไพรที่พบในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ มีดัชนีความหลากหลายของไม้ใหญ่ ในฤดูแล้ง มากกว่าไม้หนุ่มและไม้พื้นล่าง ซึ่งไม้ใหญ่เป็นไม้ดั้งเดิมที่มีอยู่ในพื้นที่ป่ามาตั้งแต่อดีต โดยที่ยังไม่ถูกบุกรุกทำลาย อาจเนื่องมาจากพื้นที่ป่าที่อยู่ใกล้ชุมชนกลุ่มชาติพันธุ์กวยที่ยังมีการดำรงชีวิตแบบพึ่งพิงธรรมชาติ และยังมีความเชื่อในเรื่องของสิ่งศักดิ์สิทธิ์ที่คอยปกป้องรักษาผืนป่าแห่งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสมบัติ อัมระภา และคณะ (2560) ได้ศึกษาเบื้องต้นของความหลากหลายชนิด สังกมพืช และการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในป่าดอนปู่ตาของกลุ่มชาติพันธุ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ได้แก่ กลุ่มชาติพันธุ์ญ้อ ผู้ไท กะเลิง และไทยลาว ซึ่งมีดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ เท่ากับ 3.62, 3.45, 3.34, 2.29 ตามลำดับ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์รวม เท่ากับ 0.88, 0.82, 0.88 และ 0.60 ตามลำดับ โดยพรรณไม้ที่พบในป่าดงดิบในแต่กลุ่มชาติพันธุ์ส่วนใหญ่เป็นไม้ใหญ่มากกว่าไม้หนุ่มและไม้พื้นล่าง โดยไม้ใหญ่จะกระจายอยู่ทั่วไปซึ่งป่าดงดิบ เป็นป่าธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตและวัฒนธรรมของคนชนบทที่กระจายอยู่ในกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ ในภาคอีสาน ซึ่งประเพณี และความเชื่อในการเลือกตั้งถิ่นฐานของชุมชนในอดีตมีความเกี่ยวพันกับบรรพบุรุษผู้ก่อตั้งชุมชน ดังนั้น การคัดเลือกป่าที่อยู่ใกล้หมู่บ้านเป็นดงดิบและสร้างหอย่อมป่าเป็นสัญลักษณ์ให้ลูกหลานกราบไหว้ มีส่วนทำให้ชุมชนมีการอนุรักษ์ป่าโดยไม่บุกรุกหรือทำลาย¹⁴ ส่วนในฤดูฝน มีค่าดัชนีความหลากหลายของไม้พื้นล่าง มากกว่าไม้ใหญ่และไม้หนุ่ม อาจเนื่องจากฤดูฝน ดินมีความชุ่มชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของไม้พื้นล่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลวรรณ เรือนก้อน และจิตติมา บุญมา (2557) ที่ได้ศึกษาความหลากหลายทางชนิดทางชนิดพันธุ์และการใช้ประโยชน์ของพืชพื้นล่างและไม้หนุ่มในสวนวนเกษตรบ้านหลายโพธิ์ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยมีการวางแผนตัวอย่างในช่วงฤดูฝน พบค่าดัชนีความหลากหลายของพืชพื้นล่าง เท่ากับ 3.0¹⁵ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสีแจ มีแนวโน้มของกล้าไม้ที่จะเจริญเติบโตไปเป็นไม้หนุ่ม และไม้ใหญ่ในอนาคตต่อไป

2. ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจทั้ง 2 ฤดู พบพรรณไม้ทั้งหมด 43 วงศ์ 75 ชนิด โดยในฤดูแล้ง พรรณไม้เด่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดคือ พันชาติ รองลงมาคือ ลำตวน มะกอกเกลื้อน และอะราง ตามลำดับ มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 26.17, 25.40, 22.44 และ 15.17 ส่วนพรรณไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดคือ มะม่วงป่า และมะลิป่า เท่ากับ 0.27 และฤดูฝน พรรณไม้เด่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดก็ยังคงเป็น พันชาติ รองลงมาคือ ลำตวน มะกอกเกลื้อน และอะราง เช่นเดียวกับกับฤดูแล้ง โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 25.58, 25.15, 21.99 และ 15.13 ตามลำดับ ส่วนพรรณไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดนอกจากมะม่วงป่าและมะลิป่า เช่นเดียวกับฤดูแล้งแล้ว ยังมีป่า และบุกคางคก ที่เป็นพรรณไม้ที่เจริญเติบโตในช่วงฤดูฝน โดยพรรณไม้ทั้ง 4 ชนิด มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากันคือ 0.26 และการที่พันชาติเป็นพรรณไม้เด่นของป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ อาจเนื่องมาจากพันชาติมีสภาพนิเวศที่สามารถพบได้ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีความสูงจากระดับน้ำ

ทะเลปานกลาง 50- 600 เมตร และพรรณไม้เด่นที่สำคัญรองลงมาคือลำตวน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมชญา ศรีธรรม (2559) ที่ได้ศึกษาความหลากหลายชนิดของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น ป่าระหาร อำเภอมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ที่พบไม้ต้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือ ลำตวน มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.0663 ต้น/ตารางเมตร และความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 19.78 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ลำตวนเป็นไม้ต้นที่สำคัญและบ่งบอกถึงการกระจายอย่างกว้างขวางในป่าระหารทราย¹⁶ และลำตวนยังเป็นพรรณไม้ที่สำคัญในพื้นที่ที่ได้ปรากฏในบันทึกประวัติศาสตร์ตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาตอนกลาง ตั้งแต่ พ.ศ. 2232 ตามชื่อบ้านปราสาทสี่เหลี่ยมดงลำตวน และต่อมาได้ยกฐานะขึ้นเป็นเมืองนครศรีลำตวน ซึ่งปัจจุบันยังเป็นต้นไม้ประจำจังหวัดศรีสะเกษ และมีงานเทศกาลดอกลำตวนบาน พร้อมกับประเพณีสี่เผ่าไทยศรีสะเกษเป็นประจำทุกปี¹⁷

3. องค์ความรู้และการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กวย ในป่าชุมชนบ้านโคกคูขาด - บ้านคูสีแจ โดยการสัมภาษณ์หมอยาพื้นบ้าน และชาวบ้านกลุ่มชาติพันธุ์กวยที่อาศัยอยู่บริเวณรอบพื้นที่ป่า และวิเคราะห์พืชสมุนไพรที่นำมาใช้ในการรักษาโรค (ICF) พบว่า มีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการรักษาอาการโรคทั้งหมด 27 ชนิดโรคและอาการ ใช้พืชสมุนไพรทั้งหมด 54 ชนิด อาการโรคที่พบสูงสุดคือ แผลพุพอง แก้กบาดข้อและกระดูก และโรคคางทูม โดยค่า ICF มีตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่ง ค่า ICF = 1 มีอยู่ 3 ชนิด หมายถึงโรคชนิดนั้นใช้พืชเพียงชนิดเดียวในการรักษา เช่น แผลพุพอง ใช้ว่านหางจระเข้ ในการรักษา อาการปวดข้อและกระดูก ใช้ทองพันชั่ง และโรคคางทูม ใช้ลิ้นกวาง เป็นต้น และค่า ICF = 0 มี 14 ชนิด หมายถึง โรคชนิดนั้นมีการใช้พืชหลากหลายชนิดในการรักษา เช่น อาการเกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจใช้มะนาวป่า ว่านไพล และตะไคร้ ในการรักษา ความดัน ใช้มะรุ้ม และย่านางแดง เป็นต้น และจากการหำร้อยละความน่าเชื่อถือของผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกัน (Fidelity level: FL) พบว่า มีความน่าเชื่อถือตั้งแต่ร้อยละ 37.5 - 100 แสดงให้เห็นว่ามีการเจาะจงพืชชนิดนั้น ในการรักษาโรคต่างๆ โดยพืชสมุนไพรที่มีร้อยละของผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกันมากที่สุดร้อยละ 100 จำนวน 22 ชนิด เช่น สาบเสือ ใช้ในการห้ามเลือดแผลสด ว่านชักมดลูก บำรุงฮอร์โมนเพศหญิงหรือหมาน้อย บรรเทาความร้อนในร่างกาย ส่วนร้อยละของผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกันมากที่สุดร้อยละ 37.5 จำนวน 2 ชนิด คือ ย่านาง ใช้ในการถอนพิษในร่างกาย และยางนา มีสรรพคุณในการขับน้ำนมหญิงหลังคลอด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

ปรารถนา ทองสาย และสุจิตรา พรรคพล (2557) ได้ทำการการศึกษาความหลากหลายชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพร บริเวณป่าดงปอ ตำบลแจระแม อำเภอมือง จังหวัดอุบลราชธานีโดยพบพืชสมุนไพรที่มีร้อยละของผู้ให้ข้อมูลที่อ้างว่าใช้พืชชนิดนั้นในการรักษาโรคเดียวกันมากที่สุดร้อยละ 100 มากถึง 36 ชนิด และในจำนวนนี้มีสามสี่ รานชัมดลูก และเครือหมาน้อย¹⁸ รวมอยู่ด้วย

4. จากผลการศึกษาการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กูย และจากผลการสำรวจพืชสมุนไพรในป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสี่แจ พบพืชสมุนไพรทั้งหมด 112 ชนิด โดยมีพืชสมุนไพรที่พบว่า มีการใช้ประโยชน์ทั้งในชุมชนและสำรวจพบในป่า จำนวน 16 ชนิด ได้แก่ นมควาย ขมิ้นเหลือง ขี้เหล็ก คำมอกหลวง ชะมวง ตั้วขาว ตูมกาขาว นมสาว พลุ วานไพล มะนาวป่า ย่านาง รักใหญ่ ลิ่นกวาง สะเดา และหญ้าน้ำแพร่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า พรรณไม้ที่กลุ่มชาติพันธุ์กูยนำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาโรคและอาการต่างๆ ยังคงพบได้ในป่าชุมชน เช่น ลิ่นกวาง จากข้อมูลผลการศึกษาการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กูย (Table 4) ลิ่นกวางเป็นพืชเพียงชนิดเดียวที่ชาวกูยนำมารักษาอาการโรคคางทูม ซึ่งมีค่า ICF = 1 และค่า FL = 33 แสดงให้เห็นว่า ชาวกูยมีการนำลิ่นกวางไปรักษาอาการโรคอื่นๆ อีก โดยต้นลิ่นกวางเป็นไม้เถาเนื้อแข็ง ส่วนที่ใช้คือ ราก จึงทำให้ต้องขุดเอาทั้งต้น เพื่อนำรากไปใช้ในการรักษาอาการโรค จากข้อมูลการสำรวจพืชสมุนไพรในป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสี่แจ พบว่า ลิ่นกวาง มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 3.93 ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก หากมีการนำลิ่นกวางไปใช้ประโยชน์แต่ไม่มีการอนุรักษ์หรือส่งเสริมให้มีการเพิ่มปริมาณทดแทนในส่วนที่ใช้ประโยชน์ไป อาจทำให้ลิ่นกวางลดน้อยลงหรือสูญพันธุ์ไปจากป่าชุมชนนี้

นอกจากนี้ พืชสมุนไพรทั้ง 112 ชนิด ยังปรากฏอยู่ในตำรับยาในบัญชียาจากสมุนไพรตามรายการยาในบัญชีแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ พ.ศ. 2561 จำนวน 23 ชนิด¹⁹ (Table 5) และยังพบว่าเป็นพืชที่มีสถานภาพหายากของประเทศไทย ตามบัญชีรายชื่อพืชหายากของประเทศไทย จำนวน 2 ชนิดคือ คำมอกหลวง (*Gardenia sootepensis* Hutch) และลำบิตดง (*Diospyros filipendula* Pierre ex Lecomte)²⁰ แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสี่แจ เป็นพื้นที่ป่าที่มีความสำคัญและยังคงความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรป่าไม้ประกอบด้วย ภูมิปัญญาของกลุ่มชาติพันธุ์กูยในพื้นที่รอบป่า ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาตำรายาขยายพันธุ์ และส่งเสริมให้ชาวบ้านที่อาศัยรอบพื้นที่ป่าปลูก

พืชสมุนไพร และนำภูมิปัญญาที่สำรวจมาประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นการอนุรักษ์ เผยแพร่และเรียนรู้การใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในการรักษาอาการโรคต่างๆ ควบคู่ไปกับการปลูกสมุนไพร ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการอยู่ร่วมกันระหว่างคนกับป่า ภายใต้ปัจจัยด้านการบริหารจัดการพื้นที่ที่ดี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพและภูมิปัญญาด้านการใช้พืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์อื่นๆ ที่มีอยู่ในจังหวัดศรีสะเกษ เช่น เยอ เขมร และลาว เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบภูมิปัญญาของแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์ประกอบ การวางแผนเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ควบคู่กับมรดกทางภูมิปัญญาการใช้พืชสมุนไพรในการดูแลสุขภาพของแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณชุมชนและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลปราสาทเยอ และตำบลสุขสวัสดิ์ อำเภอบึง จังหวัดศรีสะเกษ ที่มีส่วนร่วมในการสำรวจการใช้ประโยชน์พืชสมุนไพร รวมถึงการให้ความรู้ข้อพันธุ์ไม้ในภาษากูย และขอขอบคุณหมอยาชาวบ้านที่ร่วมสำรวจป่าชุมชนโคกคูขาด - บ้านคูสี่แจ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษา และสาขาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ที่ช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. ธวัชชัย ธาณี. ความหลากหลายทางชีวภาพ. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. หจก. ขอนแก่นการพิมพ์; 2558
2. ยศ สันตสมบัติ และ วิฑูรย์ ปัญญากุล. ความหลากหลายทางชีวภาพ: มิติทางสังคมและนิเวศ, กรุงเทพฯ. สถาบันชุมชนพัฒนาท้องถิ่น; 2536
3. เลอศักดิ์ ประจวบอารีย์. สมุนไพรพื้นบ้านของชนเผ่ากะห่วย บ้านโป่งลึก อำเภอกงกระจานจังหวัดเพชรบุรี. หลักสูตรปริญญาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาเภสัชเวท มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2551
4. พิสิฐ บุญไชย. ความรู้ ความเชื่อ ในการใช้สมุนไพรรักษาสุขภาพของชาวไทย จังหวัดยโสธร. สถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2542
5. บุญยงค์ เกศเทศ. การศึกษามานุษยวิทยาวัฒนธรรมในภาคอีสาน. ภาควิชาภาษาไทยและภาษาตะวันออกคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม;

- 2539
6. บุรณ์เชน สุขคุ้ม และ ธนพล วิยาสิงห์. วัฒนธรรมอาหารพื้นบ้านของกลุ่มชาติพันธุ์กูย จังหวัดศรีสะเกษ. มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ; 2556
 7. เต็ม สมิตินันท์. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทยฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557. กรุงเทพฯ. สำนักหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์อุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช; 2557
 8. สมพร ภูติยานันท์. การตรวจเอกลักษณ์พืชสมุนไพร. โครงการพัฒนาตำรา สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, เชียงใหม่; 2542.
 9. วงศ์สถิต จั้วกุล. อนุกรมวิธานพืชสมุนไพร. ภาควิชาเภสัชพฤกษศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ; 2548
 10. คู่มือศึกษาพันธุ์พืชป่า. กลุ่มงานวิจัยพันธุ์พืชป่ามีค่าหายาก และใกล้สูญพันธุ์ กองคุ้มครองพันธุ์สัตว์ป่าและพืชป่าตามอนุสัญญา กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2550
 11. ดอกกรัก มารอด และอุทิศ กุฏอินทร์. นิเวศวิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552
 12. Shannon, C.E. and W. Weaver. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: Illinois Press University; 1949.
 13. Ahmed, M.J. and T. Akhtar. Indigenous knowledge of the use of medicinal plants in Bheri, Muzaffarabad, Azad Kashmir, Pakistan. Eur J Integr Med; 2016. 8(4): 560-569
 14. สมบัติ อัมระภา และคณะ การศึกษาเบื้องต้นของความหลากหลายชนิด สังคมพืช และการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในป่าดงดิบของพื้นที่ป่าชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561; 37(2): 657-669
 15. กมลวรรณ เรือนก้อน และจิตติมา บุญมา ความหลากหลายชนิดทางชนิดพันธุ์และการใช้ประโยชน์ของพืชพื้นล่างและไม้หนุ่มในสวนวนเกษตรบ้านหลายโพธิ์ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก. มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2557
 16. สมชญา ศรีธรรม. ความหลากหลายของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น ป่าระหาร อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์. เกษตรพระจอมเกล้า. 2559; 34(3): 96-105
 17. คณะกรรมการฝ่ายประมวลผลเอกสารและจดหมายเหตุ ในคณะกรรมการจัดงานเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. วัฒนธรรมพัฒนาการทางประวัติศาสตร์เอกลักษณ์ และภูมิภาคจังหวัดศรีสะเกษ; 2542.
 18. ปราวณา ทองสาย และสุจิตรา พรรคพลการศึกษา ความหลากหลายชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพร บริเวณป่าดงปอ ตำบลแจระแม อำเภอเมืองจังหวัดอุบลราชธานี. หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2557
 19. ประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ เรื่อง บัญชียาหลักแห่งชาติ พ.ศ. 2561 เล่ม 135 ตอนพิเศษ 14 ง ราชกิจจานุเบกษา 19 มกราคม 2561
 20. ราชันย์ ภูมา. พืชหายากของประเทศไทย. สำนักงานหอพรรณไม้, กรุงเทพฯ. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช; 2551

ผลจากการปรุงประกอบอาหารและการย่อยอาหารในหลอดทดลองต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพืชจากป่าชุมชน

The Effect of Traditional Cooking and *In Vitro* digestion on Total Phenolic and Antioxidant Activity of Selected Thai Local Plants

ภคพร ปางพุฒิพงษ์¹, อัมพร แจ่มผล², กานต์สุดา วันจันทิก², จริญญาศรี ชุศักดิ์³,
สิริชัย อติศักดิ์วัฒนา⁴, พรทิพย์ พสุกมลเศรษฐ์²

Pakaporn Pangputhipong¹, Amporn Jamphon², Kansuda Wunjuntuk², Charoonsri Chusak³,
Sirichai Adisakwattana⁴, Porntip Pasukamonset²

Received: 20 January 2019 ; Revised : 18 March 2019 ; Accepted: 19 April 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบต่อปรุงประกอบอาหารและการย่อยอาหารในหลอดทดลองของพืชจากป่าชุมชนที่ได้คัดเลือก 4 ชนิด ได้แก่ ลูกสำรอง ใบกุ่มน้ำ ใบชะมวง และใบชะครามต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP และ ABTS) พบว่าก่อนต้มใบชะมวงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด ใบชะครามมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด และใบกุ่มน้ำมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP สูงสุด หลังผ่านการต้ม 60 นาที พบว่าใบกุ่มน้ำมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของใบกุ่มน้ำ ใบชะมวง และใบชะครามหลังการต้มมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระยังคงมีเหลืออยู่ อย่างไรก็ตามลูกสำรองที่ผ่านการต้มมีผลในเชิงบวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ โดยเวลาต้มที่ 60 นาที ลูกสำรองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงสุด หลังผ่านกระบวนการย่อยในหลอดทดลอง ลูกสำรอง ใบกุ่มน้ำ และใบชะมวงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4%-15% ยกเว้นใบชะคราม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพืชทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธี FRAP มีค่าลดลง จากการทดลองพบว่าปรุงประกอบอาหารและการย่อยอาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืช

คำสำคัญ: ลูกสำรอง ใบกุ่มน้ำ ใบชะมวง ใบชะคราม การต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The effect of traditional cooking and *in vitro* digestion were investigated in four Thai local plants—Sum rong (*Scaphium scaphigerum* Wall.), Kum nam (*Crateva magna* Lour.), Cha muang (*Garcinia cowa* Roxb.), and Cha kram (*Suaeda maritima* L.)—on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity (DPPH, ABTS and FRAP assay). The results showed that before cooking, Cha muang had the highest antioxidant activity in DPPH, Cha kram had the highest antioxidant activity in ABTS, and Kum nam had the highest antioxidant activity in FRAP.

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
³ นิสิตปริญญาเอก, ⁴ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

¹ Master degree student, ² Lecturer, Food and Nutrition Program, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900, Thailand

³ Doctoral degree student, ⁴ Assoc. Prof., Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

* Corresponding author: Porntip Pasukamonset, E-mail: porntip.pa@ku.th

Surprisingly, after boiling for 60 minutes, Kum nam had the highest antioxidant activity in DPPH, ABTS, and FRAP. Furthermore, total phenolic and total flavonoid content after cooking of Kum nam, Cha muang, and Cha kram were decreased. However, cooked Sum rong had positive effects on total phenolic and total flavonoid content, and with 60 minutes cooking, Sum rong has the highest content in phenolics and flavonoids. Additionally, four vegetables after cooking also had antioxidant activity, consisting of DPPH, ABTS, and FRAP. After *in vitro* digestion, the total phenolic and total flavonoid content of Sum rong, Kum nam, and Cha muang were increased in range 4%-15% except for Cha kram. Moreover, the antioxidant activity in DPPH and ABTS after digestion of four plants was increased. However, the FRAP value of four plants after digestion was decreased. These results demonstrated that cooking condition and *in vitro* digestion effect on the polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity.

Keywords: Sum rong, Kum nam, Cha muang, Cha kram, Antioxidant activity

Introduction

In recent years, people have turned more attention in health, especially the role of fruit and vegetables in human health. Several epidemiological studies have indicated that a high intake of fruits and vegetables is associated with a reduced risk of a number of chronic diseases, such as atherosclerosis and cancer¹. Dillard and German reported that grapes can help to prevent form atherosclerosis, because they are rich in resveratrol, moreover, red pepper and ginger have ability to be an anti-cancer¹. Interestingly, not only vitamins and minerals are contained in fruits and vegetables but essential amounts of polyphenols are also present, (polyphenols are a group of phytochemicals recognized as the most abundant antioxidants in our diet, such as artichoke, leek, and broccoli^{2,3}) Previous study reported that phenolic compounds play an important role in antioxidant activity and have been correlated to lower incidence for cardiovascular diseases, cancer, aging, and age-related degenerative processes, besides the continuously consumption of fruit and vegetables containing phytochemicals can help the prevention of diseases³. Therefore, natural antioxidant in vegetables are involved in defenses against many chronic diseases such as diabetes, atherosclerosis, cancer, and cardiovascular diseases⁴.

Most dietary vegetables are eaten after cooking in different ways according to the recipes and the culinary traditions of various countries. Thai local vegetables consist of many species (more than 150 species), some of them which can be consumed raw, but some of them can be consumed after cooking processes, such as boiling,

microwaving, and frying^{5,6}. There are many cooking methods that are used such as steaming, microwaving, frying, stir-frying which have both profound positive and negative effects on the quantity and quality of phytochemical compounds in comparison with fresh ones^{5,7}. These cooking processes would bring about a number of changes in physical characteristics and chemical composition of vegetables^{7,8}. Additionally, during vegetable processing, antioxidant breakdown and their leaching into surrounding water may influence qualitative changes on the antioxidant activity of the vegetables; for example the antioxidant activity of kale⁸ and white cabbage⁹ were decreased after the boiling process, however, the antioxidant activity of broccoli¹⁰ was increased after boiling. In other studies conducted on various vegetables including gourd vegetables showed that total polyphenol content and antioxidant activity of the cooked vegetables could be higher or lower in comparison to fresh vegetables^{11,12}. Nevertheless, cooking time is also correlated with the content of the reduction of antioxidant, with longer cooking time decreasing the antioxidant capacity. The effect of variation of different cooking methods especially thermal treatment have been reported that the total phenolic content and antioxidant capacity decreased in kale, spinach, cabbage and shallots¹⁰. Moreover, another study examined choy sum showed that boiling it for 30 minutes led to continuous decrease in antioxidant in TEAC method¹³.

The digestion of food in humans can affect the functional properties of bioactive compounds in foods, such as functional properties of phenolics, flavonoids and antioxidant activity after digestion^{14,15}. The change in

bioavailability of phenolics and flavonoids in dietary compounds can be caused by the transition from acidic gastric to the mild alkaline intestinal environment¹⁶. Recent research has elucidated the functional properties of phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity after *in vitro* gastrointestinal digestion of vegetables, fruits, and their extracts¹⁷. Bioavailability is the proportion of food ingestion that can be absorbed and utilized in the body and can be affected by many factors, for example, structural properties of the phytochemicals, pH alterations, and enzyme activity in the gastrointestinal tract¹⁷. A number of *in vitro* methods have been used to determine the bioaccessibility and/or bioavailability of individual antioxidant compounds such as carotenoids, tocopherols, or polyphenols in order to isolate compounds which remain stable and active throughout the digestion and absorption processes¹⁸⁻²². Previous studies reported that the change of pH effected the change of polyphenols and flavonoids in grape, which greater in intestine than stomach^{14,23}. Many studies reported that thermal processing can enhance the bioavailability of nutrients after digestion, for example the bioavailability of cooked carrots provide more carotenoid than when raw^{20,21}. Furthermore, cooked carrot, amaranth and fenugreek leaves with water at 15 psi for 10 min showed a significant increase in beta-carotene capacity after *in vitro* digestion²². Another study has also reported that cooked herbs showed significant increases in antioxidant activity after digestion¹⁹. Nevertheless, some cooked plants showed significantly decreased bioavailability when compared to uncooked¹⁸. However, very little information is available in the literature regarding the antioxidant activity of Thai local vegetables after traditional cooking and *in vitro* digestion. Therefore, the objectives of this study were to evaluate four selected Thai local vegetables regarding the effect of cooking and *in vitro* digestion on total phenolic and total flavonoid, and antioxidant activity.

Materials and Methods

Sample preparation

Four Thai local plants were selected randomly based on local peoples likely consumption of them as an

ingredient in their local dishes. The plants were purchased from local markets. The edible parts of plants were chopped and then blended into small pieces. All prepared samples were freeze dried and blended into fine powder before being stored in zip lock bags at room temperature for further processing.

Cooking method

The cooking method was based on previous study with minor modifications²⁴. Cooking was performed by traditional methods; boiling method using electric stove and tap water (1:20 (w/v) ratio). The raw plants (20 grams) were transferred into pots after the temperature reached the boiling point (100 °C), thereafter raw plants were cooked for 5, 10, 15, 30, and 60 min. After cooking, the plants were drained for 10 min and cooled on ice. Then, cooked plants (20 grams) were homogenized for 1 min with 100 mL water using a blender. After that, the mixed homogenate was centrifuged at 10,000 rpm for 20 min and the supernatant was collected for further analysis (total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities).

In vitro digestion

In vitro gastrointestinal digestion was performed by selecting the best time of selected Thai local plants which contain high amount of antioxidant content. The model of the *in vitro* digestive was based on the method of Pasukamonset and colleague with minor modifications²⁵, and the process of *in vitro* digestion will be done in 2 phases. Phase I, the gastric phase consisted of 3 mL of porcine pepsin solution (40 mg/mL in 0.1 N HCl) and the pH was adjusted to 2.0±0.1 and incubated at 37 °C for 1 h in a shaking water bath. Phase II, the small intestinal phase was started by adjusting the pH of the gastric digestion to 5.3 with a combination of 100 mM NaHCO₃ and 1.0 N NaOH. Then, adding the small intestine enzyme solution containing 3 mg/mL of pancreatin and 2 mg/mL of bile acid. The final sample was adjusted pH to 7.2±0.1 volume standardize to 20 mL with 0.1 M PBS and incubated at 37 °C for 2 h in shaking water bath. After completion of the small intestinal phase, the samples were centrifuged at 3000 g for 30 min at 4 °C. The supernatant was collected, filtered and measured for antioxidant

activities.

Total phenolic content

The total phenolic content was determined based on previous study with minor modifications²⁶. Both raw and cooked plants and after *in vitro* digestion were extracted with 100 mL of water, homogenization using blender for 1 min. The supernatants (10 µL) were mixed with 90 µL of Folin-Ciocalteu reagent and incubated in the dark at room temperature for 5 min. After incubation, 100 µL of sodium carbonate was added and incubated in the dark at room temperature for 5 min. Then, the absorbance was measured at 750 nm using a spectrophotometer. Total phenolic content was expressed as mg gallic acid/100g fresh vegetables using the linear equation based on standard calibration curve of the gallic acid (0.02-1 mg/mL).

Total flavonoid content

The total flavonoid content was determined based on previous study with minor modifications²⁶. Both raw and cooked plants and after *in vitro* digestion were extracted with 100 mL of water by homogenization using a blender for 1 min. 10 µL of supernatants were added to 1.5 mL microtube, followed by 30 µL of 5% sodium nitrate. After incubation for 5 min, 30 µL of 10% AlCl₃ solution was added. Then, 200 µL of sodium hydroxide and 240 µL of deionized water were added. The mixture was mixed using a vortex mixture and 150 µL of components were pipetted into a microplate. The absorbance was measured immediately at 540 nm using a spectrophotometer. Total flavonoid content was expressed as mg catechin/100g fresh vegetables using the linear equation based on calibration curve of catechin (0.02-1 mg/mL).

Antioxidant activities

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radicals scavenging activity (DPPH)

The free radical scavenging activity was estimated using the DPPH method with minor modifications²⁷. Both raw and cooked plants and after *in vitro* digestion were extracted with 100 mL of water by homogenization using a blender for 1 min. For antioxidant assay, 10 µL of supernatants were added to 90 µL of DPPH solution (0.2 mM in ethanol) and incubated in the dark at room

temperature for 30 min. The decrease in the solution absorbance was measured at 515 nm using a spectrophotometer. Ascorbic acid (0.002-0.1 mg/mL) was used and was prepared using the similar procedure. The DPPH radical scavenging activity was expressed as mg ascorbic acid/100g fresh vegetables.

2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)

The ABTS radical-scavenging activity was determined according to Chayaratanasin et al. with minor modification²⁷. Both raw and cooked plants and after *in vitro* digestion were extracted with 100 mL of water by homogenization using a blender for 1 min. For antioxidant assay, the radical cation (ABTS^{•+}) was prepared by mixing ABTS stock solution (7 mM in water) with 2.45 mM potassium persulfate. The mixture was incubated in the dark at room temperature for 12-16 hours. For measurements, the ABTS^{•+} solution was diluted with 0.1 M PBS, pH 7.4 to an absorbance of 0.700±0.020 at 734 nm. 10 µL of supernatants were added to 90 µL of ABTS^{•+} solution and incubated in the dark at room temperature for 6 min. The decrease in the solution absorbance was measured at 734 nm using a spectrophotometer. The ABTS scavenging activity was expressed as mg Trolox/100g fresh vegetables.

Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

Ferric reducing antioxidant power (FRAP) was determined according to Chayatanasin et al. with minor modification²⁷. Both raw and cooked plants and after *in vitro* digestion were extracted with 100 mL of water by homogenization using a blender for 1 min. For antioxidant assay, the FRAP reagent was prepared from 0.3 M sodium acetate buffer solution (pH 3.6), 10 mM 2,4,6-tripyridyl-S-triazine (TPTZ) in 40 mM HCl, and 20 mM FeCl₃ in a ratio of 10:1:1 (v/v/v). The supernatants (10 µL) were mixed with 90 µL of FRAP reagent and incubated in the dark at room temperature for 30 min. The decrease in the solution absorbance was measured at 593 nm using a spectrophotometer. The antioxidant activity was expressed as mg ferrous sulfate/100g fresh vegetables based on calibration curve of ferrous sulfate (0.02-1 mg/mL).

Statistical analysis

The data were expressed as mean \pm standard deviation (SD) of three replicates. The results were analyzed using one-way ANOVA. Differences between means were evaluated using Duncan's new multiple range test and statistical significance was tested at $P < 0.05$. The comparison between two groups was analyzed using paired sample t-test and statistical significance was tested at $P < 0.05$.

Results and Discussion

Total phenolic content and total flavonoid content

The total phenolic content and total flavonoid content of the four selected Thai local plants (Sum rong, Kum nam, Cha muang, and Cha kram) are described in Table 1 and Table 2. The total phenolic content (Table 1) and total flavonoid content (Table 2) of each plant were significantly different ($P < 0.05$). The total phenolic content of raw plants ranking was: Cha kram $>$ Kum nam $>$ Sum rong $>$ Cha muang. The raw state of Cha kram had the highest total phenolic content (0.78 ± 0.03 mg gallic acid/100g fresh vegetables), while Cha muang had the lowest total phenolic content (0.11 ± 0.01 mg gallic acid/100g fresh vegetables). The total flavonoid content of raw vegetables ranking was: Sum rong $>$ Kum nam $>$ Cha muang $>$ Cha kram. Raw Sum rong had the highest total flavonoid content (1.49 ± 0.04 mg catechin/100g fresh vegetables), while Raw Cha muang had the lowest total flavonoid content (0.10 ± 0.01 mg catechin/100g fresh vegetables).

After the cooking process, the total phenolic content and total flavonoid content of four local plants were significantly decreased in the increasing in cooking time. However, total phenolic and flavonoid content of Sum rong were significantly increase in the increasing in cooking time. Previous study reported that longer cooking time was correlated with the content of the reduction of total phenolic content, besides the breakdown of phenolic compounds, the change in cell structure and food matrix can also cause the loss of phenolic content during cooking^{7,10}. Nevertheless, cooking temperature,

pressure, and time can lead to the change of chemical composition and physical structure of foods in order to increase the number of phenolic contents²⁸. Another previous study reported that the increase of phenolics and flavonoids triggered by the increased level of free flavonols²⁹.

Antioxidant activity

The antioxidant activity of the four selected Thai local plants is shown in Figure 1. The DPPH radical scavenging activity in the raw plants was in range 0.59-3.07 mg ascorbic acid/100g fresh vegetables. The raw Cha muang had the highest DPPH radical scavenging activity (3.07 ± 0.04 mg ascorbic acid/100g fresh vegetables), followed by Kum nam, Cha kram, and Sum rong. The highest ABTS scavenging activity in the raw plants was discovered in Cha kram (1.52 ± 0.03 mg Trolox/100g fresh vegetables), followed by Cha muang, Kum nam, Sum rong. The FRAP value of the raw plants was in range 0.74-2.16 mg FeSO_4 /100g fresh vegetables, and the rank of FRAP value of the raw plants was: Kum nam $>$ Cha kram $>$ Sum rong $>$ Cha muang. This study showed that the same cooking method produces different effects on antioxidant activity.

The antioxidant activity—DPPH (figure 1a), ABTS (figure 1b), and FRAP (figure 1c)—after cooking was decreased in the increasing in cooking time. Previous study reported that cooking duration affected antioxidant capacity due to the change of texture, color, structure, and nutrition value¹⁰. However, Sum rong showed the increased in antioxidant activity during the cooking process in the increasing in cooking time, comparing with the raw. Previous study reported that the increased of antioxidant capacity can cause by the reduction of the matrix softening and the formation of the new molecules²⁴. Lutz and colleague reported that boiled artichokes had increased their antioxidant activity³⁰. Furthermore, different vegetables contain different compounds, which some compounds able to tolerate with thermal but some are not^{10,31}. Thus, different vegetables cooked with the same cooking method may have different effects of antioxidant capacity.

Total phenolic content and total flavonoid content after *in vitro* digestion

The effect of *in vitro* digestion on total phenolic content and total flavonoid content of the four selected Thai local plants are described in Table 3. The phenolic content after *in vitro* digestion ranking was Kum nam > Sum rong > Cha muang > Cha kram. Kum nam had the highest total phenolic content (0.50 ± 0.02 mg gallic acid/100g fresh vegetables). However, *in vitro* digestion, Kum nam showed no significantly different in total phenolic content compared to cooked Kum nam. Cha kram had no presented in total phenolic content, however, cooked Cha kram showed the significantly different compared to *in vitro* digestion cha kram. The total flavonoid content after *in vitro* digestion ranking was Sum rong > Kum nam > Cha muang > Cha kram. Sum rong had the highest flavonoid content (1.97 ± 0.05 mg catechin/100g fresh vegetables) after *in vitro* digestion, besides Sum rong also showed the significant difference between cooked and *in vitro* digestion. In contrast, Cha kram had no presented in total flavonoid content, and it showed the significant difference between cooked and *in vitro* digestion.

The total phenolic content and total flavonoid content after digestion of three plants (Sum rong, Kum nam, and Cha muang) showed the increasing levels in both contents compared to cooked plants without digestion. In addition, Sum rong, Kum nam, and Cha muang were increased in phenolic content of 15%, 5%, and 4%, respectively, and were increased in flavonoid content of 33%, 14%, and 3%, respectively. However, only Cha kram showed no presented in phenolic and flavonoid content compared to cooked state without digestion. Previous study reported that bioavailability of active compounds, such as phenolics depended on various factors including chemical state of the compound, plant matrix and interactions with macromolecules e.g. enzymatic activity¹⁷. Another study reported that after digestion, broccoli showed significant decrease in flavonoid content, because the pancreatin digestion compounds is associated with flavonoids which could not cross the dialysis membrane³². However, the chemical reaction in near-neutral conditions and the degradation or isomerization could be catalyzed

by the presence of oxygen and the transition of metal ions, which can affect the increasing of phenolic content³³.

Antioxidant activity after *in vitro* digestion

The antioxidant activity of the four selected Thai local plants after *in vitro* digestion is shown in Table 4. The DPPH radical scavenging activity after digestion was in range 0.66-3.41 mg ascorbic acid/100g fresh vegetables. Kum nam had the highest DPPH radical scavenging activity (3.41 ± 0.20 mg ascorbic acid/100g fresh vegetables), followed by Cha muang, Sum rong, and Cha kram. The percentage of the increase in DPPH radical scavenging activity of each plant after digestion was in range 35%-57%. The highest ABTS scavenging activity after digestion was discovered in Cha muang (9.69 ± 0.22 mg Trolox/100g fresh vegetables), followed by Kum nam, Cha kram, and Sum rong. The FRAP value after digestion was in range 0.26-0.35 mg FeSO₄/100g fresh vegetables, and the rank of FRAP value was: Kum nam > Cha muang > Sum rong > Cha kram.

The comparison of antioxidant activity of four plants between cooked and *in vitro* digestion, DPPH and ABTS reported a significant increase in all plants after digestion. However, FRAP value showed a significant decrease in all plants after digestion. Previous study reported that the increasing of antioxidant capacity after digestion caused by the nature of food matrix¹⁹, the change of enzymatic activity¹⁷, and chemical actions during the digestion process contribute to the extraction of bioactive molecules from the food matrix³³. In addition, the pH alteration can affect the increase of antioxidant activity, it has been reported that the antioxidant capacity of some fruits was increased after digestion because of the pH alteration, which pH can affect the change in structure of molecules³⁴. Nevertheless, FRAP is the only method that effects the decrease of antioxidant activity after digestion of four plants. The results from present investigation are in agreement with Neto and colleague who reported that the decreasing of FRAP value may due to the synergistic effect between phenolic compounds released from the plant matrix during digestion, which causes them to contribute the maintenance of reducing power activity at desirable levels³⁵.

Table 1 Effect of traditional cooking time on total phenolic content of selected Thai local vegetables

Type of Thai local vegetables	Raw (mg gallic acid/100g fresh vegetables)	Cooked (mg gallic acid/100g fresh vegetables)				
		5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
Sum rong (<i>Scaphium scaphigerum</i> Wall.)	0.16±0.02 ^b	0.08±0.01 ^e	0.09±0.01 ^e	0.11±0.01 ^d	0.13±0.01 ^c	0.18±0.02 ^a
Kum nam (<i>Crateva magna</i> Lour.)	0.72±0.05 ^a	0.45±0.03 ^b	0.42±0.03 ^c	0.36±0.02 ^d	0.33±0.01 ^e	0.29±0.01 ^f
Cha muang (<i>Garcinia cowa</i> Roxb.)	0.11±0.01 ^a	0.05±0.01 ^b	0.03±0.01 ^c	0.03±0.01 ^c	0.02±0.01 ^d	0.02±0.01 ^d
Cha kram (<i>Suaeda maritima</i> L.)	0.78±0.03 ^a	0.26±0.02 ^b	0.22±0.02 ^c	0.20±0.01 ^d	0.18±0.01 ^e	0.16±0.01 ^f

Superscript are expressed as significant different in the same row according to Duncan's test ($P < 0.05$).

Table 2 Effect of traditional cooking time on total flavonoid content of selected Thai local vegetables

Type of Thai local vegetables	Raw (mg catechin/100g)	Cooked (mg catechin/100g fresh vegetables)				
		5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
Sum rong (<i>Scaphium scaphigerum</i> Wall.)	1.49±0.04 ^b	1.36±0.03 ^c	1.25±0.05 ^e	1.07±0.01 ^f	1.33±0.01 ^d	1.64±0.03 ^a
Kum nam (<i>Crateva magna</i> Lour.)	0.54±0.03 ^a	0.34±0.02 ^b	0.28±0.02 ^c	0.23±0.02 ^d	0.18±0.01 ^e	0.14±0.01 ^f
Cha muang (<i>Garcinia cowa</i> Roxb.)	0.10±0.01 ^a	0.09±0.01 ^b	0.07±0.02 ^c	0.05±0.01 ^d	0.03±0.01 ^e	0.01±0.01 ^f
Cha kram (<i>Suaeda maritima</i> L.)	0.05±0.01 ^a	0.02±0.01 ^b	ND	ND	ND	ND

ND = not detected. Superscript are expressed as significant different in the same row according to Duncan's test ($P < 0.05$).

Table 3 Effect of *in vitro* digestion on total phenolic content and total flavonoid content of selected Thai local vegetables

Type of Thai local vegetables	Time (min)	Phenolic (mg gallic acid/100g fresh vegetables)		Flavonoid (mg catechin/100g fresh vegetables)	
		Cooked	<i>In vitro</i> digestion	Cooked	<i>In vitro</i> digestion
Kum nam (<i>Crateva magna</i> Lour.)	5	0.45±0.03	0.50±0.02	0.34±0.02	0.48±0.02 [*]
Cha muang (<i>Garcinia cowa</i> Roxb.)	5	0.05±0.01	0.09±0.01 [*]	0.09±0.01	0.12±0.02
Cha kram (<i>Suaeda maritima</i> L.)	5	0.26±0.02	ND	0.01±0.01	ND

ND = not detected. * expressed as significant different in paired sample t-test ($P < 0.05$)

Table 4 Effect of *in vitro* digestion on antioxidant activity of selected Thai local vegetables

Type of Thai local vegetables	Time (min)	DPPH (mg ascorbic acid/100g fresh vegetables)		ABTS (mg trolox/100g fresh vegetables)		FRAP (mg FeSO ₄ /100g fresh vegetables)	
		Cooked	<i>In vitro</i> digestion	Cooked	<i>In vitro</i> digestion	Cooked	<i>In vitro</i> digestion
		Sum rong (<i>Scaphium scaphigerum</i> Wall.)	60	0.74±0.02	1.09±0.07 [*]	0.68±0.01	4.61±0.04 [*]
Kum nam (<i>Crateva magna</i> Lour.)	5	2.84±0.04	3.41±0.20 [*]	1.42±0.02	9.58±0.26 [*]	2.00±0.02 [*]	0.35±0.01
Cha muang (<i>Garcinia cowa</i> Roxb.)	5	1.01±0.02	1.40±0.09 [*]	1.48±0.02	9.69±0.22 [*]	1.15±0.04 [*]	0.34±0.03
Cha kram (<i>Suaeda maritima</i> L.)	5	0.26±0.02	0.66±0.04 [*]	0.44±0.03	5.50±0.05 [*]	0.41±0.02 [*]	0.26±0.02

* expressed as significant different in paired t-test ($P < 0.05$)

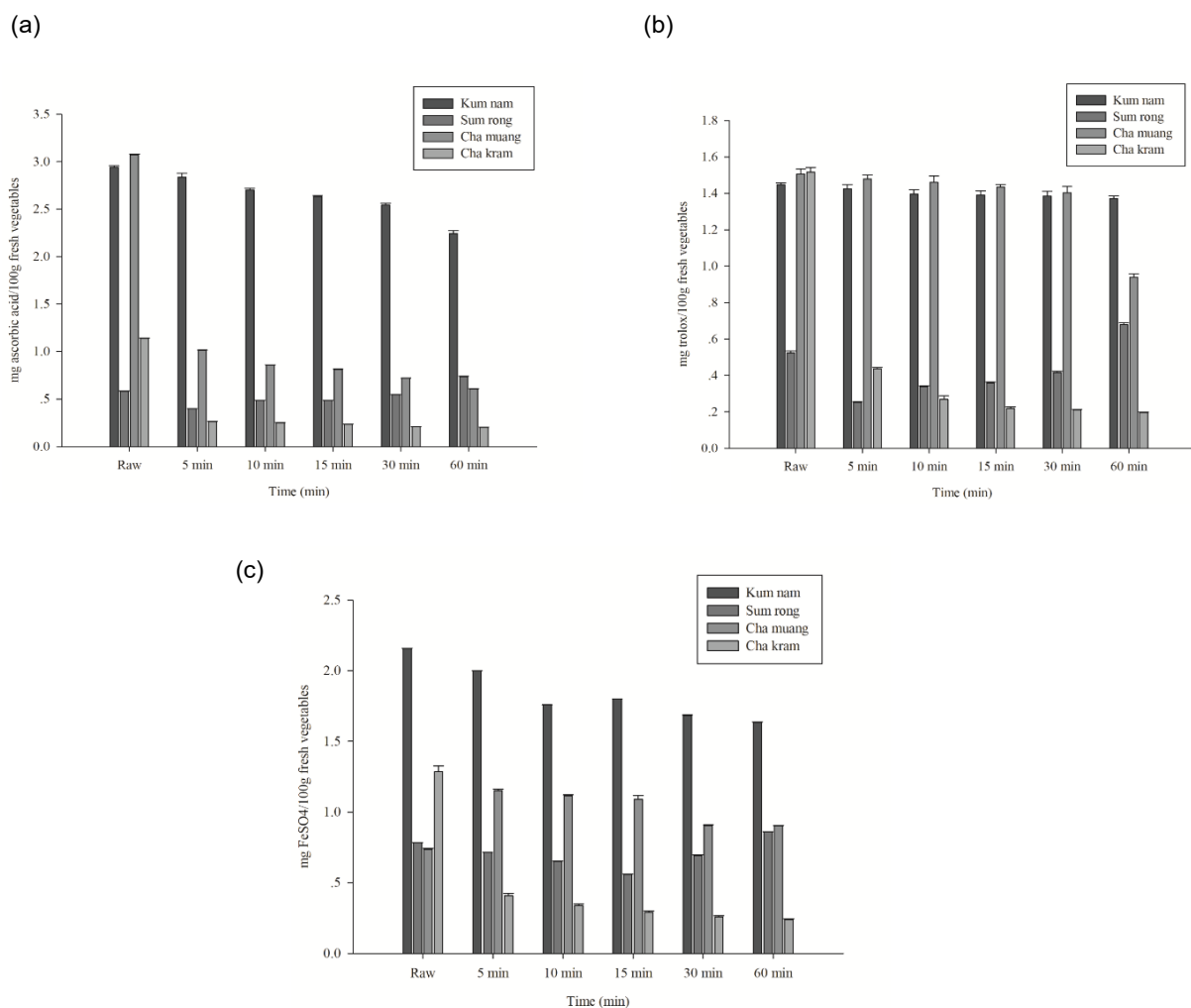


Figure 1 Effect of traditional cooking time on DPPH radical scavenging activity (a), ABTS scavenging activity (b), and FRAP activity (c) of selected Thai local vegetable

Conclusion

The findings from the present study show that the total polyphenols, flavonoid and antioxidant capacity of selected Thai local plants are significantly altered after cooking and digestion. The cooking process of four Thai local plants (Kum nam, Sum rong, Cha muang, and Cha kram) has shown an effect on total phenolic and total flavonoid content, and antioxidant activity. The phenolic and flavonoid content of Kum nam, Sum rong, and Cha muang presented after the cooking process, except Cha kram showed no content after being cooked for 10 minutes. Moreover, the DPPH and ABTS activity of all four plants was significantly increased after the cooking process, but the FRAP activity of all four plants was significantly decreased after the cooking process. After the *in vitro* digestion, the total phenolic and total flavonoid content, and antioxidant activity were raised in all four Thai local plants. In conclusion, our results demonstrated the association between cooking methods and health effects, such as phenolic, flavonoids, and antioxidant capacity after consumption. An intake of these plants may help to reduce risk of diseases caused by oxidative stress.

Acknowledgement

Kasetsart University Research and Development Institute (KURDI), Bangkok, Thailand provided funding for the research. We are grateful to Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University for generous providing the facilities.

References

- Dillard CJ, German JB. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *J Sci Food Agr*. 2000 Sep 15;80 (12): 1744-56.
- Septembre-Malaterre A, Remize F, Poucheret P. Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation. *Food Res Int*. 2018 Feb 1;104: 86-99.
- Luna-Guevara ML, Luna-Guevara JJ, Hernández-Carranza P, Ruiz-Espinosa H, Ochoa-Velasco CE. Chapter 3 - Phenolic Compounds: A Good Choice Against Chronic Degenerative Diseases. In: Atta ur R, editor. *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier; 2019;59: 79-108.
- Sarker U, Oba S. Response of nutrients, minerals, antioxidant leaf pigments, vitamins, polyphenol, flavonoid and antioxidant activity in selected vegetable amaranth under four soil water content. *Food Chem*. 2018 Jun 30;252: 72-83.
- Jiménez-Monreal AM, García-Diz L, Martínez-Tomé M, Mariscal M, Murcia MA. Influence of Cooking Methods on Antioxidant Activity of Vegetables. *J Food Sci*. 2009 Apr 1;74 (3): H97-H103.
- Nanasombat S, and Teckchuen, N. Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of Thai local vegetables. *J Med Plants Res*. 2009;3 (5): 443-9.
- Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem*. 2005 Dec 1;93 (4): 713-8.
- Şengül M, Yıldız H, Kavaz A. The Effect of Cooking on Total Polyphenolic Content and Antioxidant Activity of Selected Vegetables. *Int J Food Prop*. 2014 Mar 16;17 (3): 481-90.
- Faller ALK, Fialho E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Res Int*. 2009 Jan 1;42 (1): 210-5.
- Wachtel-Galor S, Wong KW, Benzie IFF. The effect of cooking on Brassica vegetables. *Food Chem*. 2008 Oct 1;110 (3): 706-10.
- Murador DC, Mercadante AZ, de Rosso VV. Cooking techniques improve the levels of bioactive compounds and antioxidant activity in kale and red cabbage. *Food Chem*. 2016 Apr 1;196: 1101-7.
- Tian J, Chen J, Lv F, Chen S, Chen J, Liu D, et al. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes. *Food Chem*. 2016 Apr 15;197: 1264-70.
- Kao F-J, Chiu Y-S, Chiang W-D. Effect of water cooking on antioxidant capacity of carotenoid-rich vegetables in Taiwan. *J Food Drug Anal*. 2014 Jun

- 1;22 (2): 202-9.
14. Bouayed J, Hoffmann L, Bohn T. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chem.* 2011 Sep 1;128 (1): 14-21.
 15. Ti H, Zhang R, Li Q, Wei Z, Zhang M. Effects of cooking and *in vitro* digestion of rice on phenolic profiles and antioxidant activity. *Food Res Int.* 2015 Oct 1;76: 813-20.
 16. Gibson RS, Perlas L, Hotz C. Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *P Nutr Soc.* 2007;65(2):160-8.
 17. Celep E, İnan Y, Akyüz S, Yesilada E. The bioaccessible phenolic profile and antioxidant potential of *Hypericum perforatum* L. after simulated human digestion. *Ind Crop Prod.* 2017 Dec 15;109: 717-23.
 18. Baker I, Chohan M, Opara EI. Impact of cooking and digestion, *in vitro*, on the antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of cinnamon, clove and nutmeg. *Plant Food Hum Nutr.* 2013 Dec 1;68 (4): 364-9.
 19. Chohan M, Naughton DP, Jones L, Opara EI. An investigation of the relationship between the anti-inflammatory activity, polyphenolic content, and antioxidant activities of cooked and *in vitro* digested culinary herbs. *Oxid Med Cell Longev.* 2012.
 20. Hedrén E, Diaz V, Svanberg U. Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an *in vitro* digestion method. *Eur J Clin Nutr.* 2002 Apr 4;56: 425.
 21. Hornero-Méndez D, Mínguez-Mosquera MI. Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innov Food Sci Emerg.* 2007 Sep 1;8 (3): 407-12.
 22. Van Buggenhout S, Alminger M, Lemmens L, Colle I, Knockaert G, Moelants K, et al. *In vitro* approaches to estimate the effect of food processing on carotenoid bioavailability need thorough understanding of process induced microstructural changes. *Trends Food Sci Tech.* 2010 Dec 1;21 (12): 607-18.
 23. Tagliacuzzi D, Verzelloni E, Bertolini D, Conte A. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chem.* 2010 May 15;120 (2): 599-606.
 24. Pellegrini N, Miglio C, Del Rio D, Salvatore S, Serafini M, Brighenti F. Effect of domestic cooking methods on the total antioxidant capacity of vegetables. *Int J Food Sci Nutr.* 2009 Jan 1;60 (sup2): 12-22.
 25. Pasukamonset P, Kwon O, Adisakwattana S. Alginate-based encapsulation of polyphenols from *Clitoria ternatea* petal flower extract enhances stability and biological activity under simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloid.* 2016 Dec 1;61: 772-9.
 26. Adisakwattana S, Ruengsamran T, Kampa P, Somporn W. *In vitro* inhibitory effects of plant-based foods and their combinations on intestinal α -glucosidase and pancreatic α -amylase. *BMC Complem Altern M.* 2012 Jul 31;12 (1):110.
 27. Chayaratanasin P, Barbieri MA, Suanpairintr N, Adisakwattana S. Inhibitory effect of *Clitoria ternatea* flower petal extract on fructose-induced protein glycation and oxidation-dependent damages to albumin *in vitro*. *BMC Complem Altern M.* 2015 Feb 18;15 (1): 27.
 28. Koç M, Baysan U, Devseren E, Okut D, Atak Z, Karataş H, et al. Effects of different cooking methods on the chemical and physical properties of carrots and green peas. *Innov Food Sci Emerg.* 2017 Aug 1;42: 109-19.
 29. Stewart AJ, Bozonnet S, Mullen W, Jenkins GI, Lean MEJ, Crozier A. Occurrence of Flavonols in Tomatoes and Tomato-Based Products. *J Agr Food Chem.* 2000 Jul 1;48 (7): 2663-9.
 30. Lutz M, Henríquez C, Escobar M. Chemical composition and antioxidant properties of mature and baby artichokes (*Cynara scolymus* L.), raw and cooked. *J Food Compos Anal.* 2011 Feb 1;24 (1): 49-54.
 31. Bernhardt S, Schlich E. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. *J Food Eng.* 2006 Nov 1;77 (2): 327-33.

32. Vallejo F, Gil-Izquierdo A, Pérez-Vicente A, García-Viguera C. In Vitro Gastrointestinal Digestion Study of Broccoli Inflorescence Phenolic Compounds, Glucosinolates, and Vitamin C. *J Agr Food Chem.* 2004 Jan 14;52 (1): 135-8.
33. Gunathilake KDPP, Ranaweera KKDS, Rupasinghe HPV. Change of phenolics, carotenoids, and antioxidant capacity following simulated gastrointestinal digestion and dialysis of selected edible green leaves. *Food Chem.* 2018 Mar 7;245: 371-9.
34. Chen G-L, Chen S-G, Zhao Y-Y, Luo C-X, Li J, Gao Y-Q. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion. *Ind Crop Prod.* 2014 Jun 1;57: 150-7.
35. Neto JLL, de Almeida TS, de Medeiros JL, Vieira LR, Moreira TB, Maia AIV, Ribeiro PRV, de Brito ES, Farias DF, Carvalho AFU. Impact of bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in biological systems upon the antioxidant activity of the ethanolic extract of *Triplaris gardneriana* seeds. *Biomed Pharmacother.* 2017 Apr 1;88: 999-1007.

ความชุกของพาหะธาลัสซีเมียในนิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยมหาสารคาม Prevalence of Thalassemia Carriers among Health Science Students at Mahasarakham University

จงกลณี ธนาไสย์¹, เบญจมาศ อรุณพาส²

Jongkonnee Thanasai¹, Benjamat Aroonpas²

Received: 6 August 2018 ; Revised : 4 January 2019 ; Accepted: 14 January 2019

บทคัดย่อ

โรคธาลัสซีเมียเป็นปัญหาสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยเพราะมีความชุกของพาหะสูง การควบคุมป้องกันที่ดีที่สุดคือ การตรวจกรองหาพาหะในวัยเจริญพันธุ์ก่อนแต่งงาน การศึกษาวิจัยจึงทำการตรวจหาพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญในนิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพสาขาหนึ่งในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งร้อยละ 96.4 มีภูมิลำเนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เลือดตัวอย่าง 110 รายถูกนำมาวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด ตรวจกรองฮีโมโกลบินอี ตรวจแยกชนิดของฮีโมโกลบินและหาปริมาณของฮีโมโกลบิน A₂/E และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส ผลการศึกษาพบว่าผู้เป็นพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญร้อยละ 32.7 (36/110 ราย) โดยพบพาหะของ α^0 -thalassemia ชนิด SEA (- -^{SEA}) ร้อยละ 3.6 (4/110) พาหะของ $\delta\beta$ -thalassemia ร้อยละ 0.9 (1/110) และ พาหะของ Hb E ร้อยละ 30.9 (34/110) โดยใน 34 รายนี้เป็นพาหะ Hb E ร่วมกับ α^0 -thalassemia จำนวน 3 ราย คิดเป็นความถี่ของยีน α^0 -thalassemia , $\delta\beta$ -thalassemia, และฮีโมโกลบินอี เท่ากับ 0.0182, 0.0045, และ 0.1636 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความชุกของพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญสูงถึง 1 ใน 3 โดยนิสิตเหล่านี้ต้องปฏิบัติงานในโรงพยาบาลรัฐของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโอกาสเจอผู้ป่วยได้บ่อย และการศึกษาวิจัยยังทำให้นิสิตมีความรู้ความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของโรคธาลัสซีเมีย ซึ่งอาจนำไปสู่การปรับใช้เพื่อควบคุมป้องกันโรคอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

คำสำคัญ: ความชุก พาหะธาลัสซีเมีย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Abstract

Thalassemia is an autosomal recessive inherited blood disease and a significant health problem in Northeast Thailand due to the high prevalence of carriers and high incidence of disease. However, the disease can be prevented by blood testing for thalassemia disease or carriage. This study sought to detect significant thalassemia carriers among health science students at Mahasarakham University. Venous blood was drawn from 110 health sciences students. Hematologic parameters were measured. All blood samples were tested for hemoglobin E, hemoglobin type and quantification of Hb A₂/E using cellulose acetate electrophoresis and anion exchange chromatography, respectively. Blood samples generating inconclusive results in these tests were further subject to DNA analysis by PCR. The prevalence of significant thalassemia carriers was 32.7 % (36/110) with α^0 -thalassemia carrier SEA (- -^{SEA}) deletion type 3.6 % (4/110), $\delta\beta$ -thalassemia carrier 0.9 % (1/110) and Hb E carrier 30.9 % (34/110) which is co-inherited with α^0 -thalassemia for 3 cases. The gene frequencies of α^0 -thalassemia, $\delta\beta$ -thalassemia, hemoglobin E were 0.0181,

¹ อาจารย์ กลุ่มวิชาปรีคลินิก, ²นักเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลสุทธาเวช, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Preclinic Division, ²Medical technologist, Suddhavej hospital, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Maha Sarakham 44000, Thailand.

* Corresponding author; Jongkonnee Thanasai, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Maha Sarakham 44000, Thailand. jongkonnee@msu.ac.th

0.0045, and 0.1636, respectively. This study revealed that significant thalassemia carriage is common (1 in 3) among MSU health sciences students residing in the Northeast rural area. These students increased their knowledge of thalassemia significantly after the attendance. By improving knowledge and awareness of this disorder among MSU medical staff, it should soon be possible to implement a prevention and control program for thalassemia in the Northeast region.

Keywords: Prevalence, Thalassemia carrier, Mahasarakham University

บทนำ

ธาลัสซีเมีย (thalassemia) เป็นโรคโลหิตจางที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมผ่านยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย (autosomal recessive inheritance) ที่เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทยเนื่องจากมีอุบัติการณ์สูง ในประเทศไทยพบว่ามีประมาณร้อยละ 1 ของประชากรไทย หรือประมาณ 600,000 คนป่วยเป็นโรคธาลัสซีเมีย และอีกร้อยละ 40 ของประชากรเป็นพาหะของโรคคือประมาณไม่ต่ำกว่า 20 ล้านคน ซึ่งคนที่เป็นพาหะอาจจะไม่มีอาการหรือมีอาการซีดเล็กน้อย แต่หากแต่งงานกับคนที่เป็นพาหะด้วยกัน จึงจะมีอาการแสดงของโรคในลูกที่ได้รับยีนผิดปกติจากทั้งพ่อและแม่ที่เป็นพาหะตามรูปแบบการถ่ายทอดแบบ autosomal recessive ในปีหนึ่งๆจะมีคู่สมรสที่เป็นพาหะทั้งคู่และมีความเสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคไม่ต่ำกว่าห้าหมื่นคู่ และมีทารกคลอดออกมาเป็นโรคประมาณ 12,000 คน¹ ในประชากรภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบความชุกของพาหะได้ถึงร้อยละ 30-50 ความรุนแรงของโรคนี้ไม่ได้ตั้งแต่มีความรุนแรงมากจนอาจเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือหลังคลอดหรือรุนแรงปานกลางจนต้องให้เลือดทุกเดือนและรุนแรงน้อยจนไม่มีอาการแสดงแต่ก็ทำให้คุณภาพชีวิตลดลง¹ แนวทางการป้องกันและควบคุมโรคธาลัสซีเมีย มีหลายรูปแบบและยุทธวิธี ซึ่งเหมาะสมแตกต่างกันไปตามยุคสมัย หรือภูมิภาคที่มีความชุกของพาหะและเศรษฐกิจของคนในภูมิภาค การดำเนินงานที่จะให้ผลสัมฤทธิ์ต้องทำสองอย่างควบคู่กันไป คือ (1) การป้องกันไม่ให้มีผู้ป่วยธาลัสซีเมียเกิดขึ้นใหม่ และ (2) การปรับปรุงการบริการรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย ให้มีประสิทธิผลยิ่งขึ้น¹⁻³ ซึ่งแนวทางเหล่านี้จะช่วยลดจำนวนผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียและลดค่าใช้จ่ายของประเทศในการดูแลรักษาผู้ป่วยโรคนี้ได้อีกทางหนึ่ง สำหรับช่วงอายุที่เหมาะสมในการตรวจกรองหาพาหะของโรค คือ วัยเจริญพันธุ์ก่อนแต่งงาน (premarital screening)⁴ แต่ในประเทศไทยยังมีปัญหาเรื่องงบประมาณในการตรวจกรองคนจำนวนมากอยู่ในปัจจุบันจึงนิยมทำการตรวจกรองในขณะตั้งครรภ์ (prenatal screening) เพราะสตรีตั้งครรภ์ที่มาฝากครรภ์ที่โรงพยาบาลจะถูกเจาะเลือดตรวจอย่างอื่นด้วยอยู่แล้ว แต่วิธีนี้ถือว่าเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุเพราะมีการปฏิสนธิเกิด

ขึ้นแล้วและถ้าต้องมีการสิ้นสุดการตั้งครรภ์ในรายที่ลูกในครรภ์เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรงก็จะสร้างความเสียใจแก่คู่สมรสนั้นได้

กระทรวงสาธารณสุขมีคำประกาศนโยบาย ส่งเสริมป้องกัน และควบคุมโรคธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติของประเทศไทย เมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 โดยให้ถือเป็นนโยบายแห่งชาติ ในการลดจำนวนผู้ป่วย โรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง 3 โรค ได้แก่ Hb Bart's hydrop fetalis (homozygous α^0 -thalassemia), homozygous β -thalassemia และ β -thalassemia / hemoglobin E⁵ โดยให้หญิงมีครรภ์ทุกคนได้รับการให้คำปรึกษาทางพันธุศาสตร์สำหรับโรคธาลัสซีเมียและได้รับการตรวจกรอง (screening test) หาพาหะโดยสมัครใจ หากอายุครรภ์ไม่เกิน 16 สัปดาห์ และหากพบผลเลือดผิดปกติให้ติดตามสามีมารับการตรวจเลือดเพื่อตรวจกรองพาหะ ถ้าผลการตรวจกรองผิดปกติทั้งคู่ให้ทำการตรวจยืนยัน (confirmatory test) ว่าเป็นคู่สมรสคู่เสี่ยงที่มีโอกาสมีบุตรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง และได้รับการให้คำปรึกษาในการตรวจวินิจฉัยทารกในครรภ์ก่อนคลอดและให้คำปรึกษาการสิ้นสุดการตั้งครรภ์ในรายที่ตรวจพบว่าบุตรในครรภ์เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง 1 ใน 3 โรคดังกล่าว

โรคธาลัสซีเมียเกิดจากการขาดหายไป (deletion) หรือการกลายพันธุ์ (mutation) ของยีนโกลบิน (globin) ที่ใช้ในการสังเคราะห์สายโพรตีนโกลบิน (globin chain) เพื่อรวมตัวกับ heme ได้เป็นสารประกอบฮีโมโกลบิน (hemoglobin; Hb) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจน ยีนโกลบินที่พบการขาดหายไปและการกลายพันธุ์ได้บ่อย คือ α -globin และ β -globin ทำให้เกิดโรคธาลัสซีเมียชนิดอัลฟาและบีตา (α -thalassemia และ β -thalassemia) ตามลำดับ ในคนปกติมียีน α -globin จำนวน 4 ยีนเขียนแทนด้วย $\alpha\alpha/\alpha\alpha$ และมียีน β -globin จำนวน 2 ยีนเขียนแทนด้วย β/β ในผู้ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง 3 โรคดังกล่าวเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างยีนโกลบินที่ผิดปกติในพ่อและแม่ที่เป็นพาหะ ดังนี้ (1) โรค Hb Bart's hydrop fetalis หรือโรค homozygous α^0 -thalassemia เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างยีน α^0 -thalassemia (-/- $\alpha\alpha$) จากพ่อและแม่

ทำให้ลูกมีโอกาส 1 ใน 4 ที่จะเป็นโรค homozygous α^0 -thalassemia (-/-) ซึ่งมีอาการรุนแรงมากที่สุดคือทารกตายในครรภ์หรือหลังคลอด (2) โรค homozygous β -thalassemia เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างยีน β^0 -thalassemia (β/β^0) จากพ่อและแม่ ทำให้ลูกมีโอกาส 1 ใน 4 ที่จะเป็นโรคนี้ ซึ่งเด็กที่เกิดมาจะต้องได้รับเลือดตลอดชีวิตและมีอายุสั้น และ (3) โรค β -thalassemia / hemoglobin E เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างยีน β^0 -thalassemia (β/β^0) จากพ่อหรือแม่ และยีน hemoglobin E (β^E) ซึ่งเป็นฮีโมโกลบินผิดปกติจากพ่อหรือแม่ ทำให้ลูกมีโอกาส 1 ใน 4 ที่จะเป็นโรคนี้ซึ่งเด็กจะมีอาการซีดและจำเป็นต้องได้รับเลือดเช่นกัน ดังนั้นพาหะของธาลัสซีเมียที่สำคัญที่จะต้องตรวจหา ได้แก่พาหะของ α^0 -thalassemia (-/-) พาหะของ β -thalassemia (β^0) และพาหะของ hemoglobin E (β^E)

นิสิตสาขาหนึ่งในสายวิทยาศาสตร์สุขภาพของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ส่วนมากมีภูมิลำเนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษา เมื่อสำเร็จการศึกษาจะต้องปฏิบัติงานในโรงพยาบาลรัฐของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบอุบัติการณ์ของโรคธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติสูง ทีมวิจัยจึงมีสมมติฐานว่าในนิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพสาขานี้มีภูมิลำเนาในเขตที่มีความชุกของโรคสูง น่าจะมีผู้ที่เป็พาหะธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติอยู่ด้วยและการได้รับความรู้จากการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิตและผู้ป่วยในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความชุก (prevalence) ของพาหะธาลัสซีเมียที่มีโอกาสมีบุตรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรงในนิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพสาขาหนึ่งของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้แก่ พาหะของ α^0 -thalassemia พาหะของ β -thalassemia และพาหะของ hemoglobin E และทดสอบความรู้ความเข้าใจในโรคธาลัสซีเมียก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ

วิธีการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือ นิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพสาขาหนึ่งในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกชั้นปี มีจำนวนทั้งสิ้น 300 คน นำมาคำนวณขนาดของตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องใช้ในการศึกษานี้ โดยกำหนดให้ขนาดประชากร (N) = 300 คน ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (e) = 8 % (0.08) ดังนั้นขนาดตัวอย่างประชากร (Yamane T.

1973) (n) = $N/(1+Ne^2)$ แทนค่า (n) = $300/(1+300(0.08)^2)$ = 102.74 คน หรือ 103 คน โดยการศึกษาวิจัยนี้มีการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายตามความสมัครใจของผู้เข้าร่วมโครงการจำนวน 110 คน โครงการวิจัยได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เลขที่การรับรอง 211/2557 ผู้เข้าร่วมโครงการทุกคนจะได้รับฟังข้อมูลโครงการวิจัยและลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการ (informed consent) และตอบแบบสอบถามประวัติส่วนตัว และทำแบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมียก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ (pre-test / post-test) จำนวน 20 ข้อแต่ละข้อมี 5 ตัวเลือก โดยเลือกข้อที่ถูกต้องที่สุด

การตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการโลหิตวิทยาและการตรวจวิเคราะห์ดีเอ็นเอ

อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการเข้ารับการเจาะเก็บเลือดจากหลอดเลือดดำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเก็บเลือดที่มี EDTA เป็นสารกันเลือดแข็ง นำมาตรวจกรองหาพาหะฮีโมโกลบินอีด้วยชุดน้ำยาตรวจกรอง KCU-DCIP-Clear reagent kit ตามวิธีในใบแทรกผลิตภัณฑ์ ตรวจความสมบูรณ์ของเลือดครบส่วน (Complete Blood Count; CBC) ด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ COULTER® HmX Hematology Analyzer เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของเม็ดเลือดแดงประกอบการวินิจฉัยเบื้องต้นสำหรับพาหะธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติ ได้แก่ค่า Hb, Hct, RBC count, MCV, MCH, MCHC, RDW และตรวจเสมียร์เลือด เลือดที่เหลือจะถูกนำไปตรวจหาชนิดฮีโมโกลบินด้วยวิธี cellulose acetate electrophoresis และหาปริมาณฮีโมโกลบินเอสอง (A_2) ด้วยวิธี anion exchange chromatography โดยห้องปฏิบัติการมาตรฐานของศูนย์วิจัยและพัฒนาการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ (ศวป.) คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อได้ผลการตรวจทั้งสามขั้นตอน (DCIP screening, CBC, Hb typing) ของอาสาสมัครทุกราย จะสามารถสรุปผลเบื้องต้นในรายที่เป็นพาหะของ Hb E หรือ Hb Constant Spring สำหรับรายที่สงสัยว่าจะเป็นพาหะ β -thalassemia ร่วมคือ มีผล Hb typing ปกติคือ A_2 แต่มีปริมาณร้อยละของ HbA_2 เกินค่า cut off $\geq 3.5\%$ ที่แสดงถึงการเป็นพาหะของยีน β -thalassemia และรายที่สงสัยว่าจะเป็นพาหะ α^0 -thalassemia ร่วมคือมีผลตรวจ CBC ที่ผิดปกติ จะนำเลือดมาสกัดดีเอ็นเอเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCR เพื่อตรวจหาพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญต่อไป โดยพาหะ α^0 -thalassemia จะตรวจหาเฉพาะชนิด Southeast Asian (-^{SEA}) deletion และชนิด THAI (-^{THAI}) deletion

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ข้อมูลทางชีวสังคม อัตราการตรวจพบพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญและผู้ที่เป็นโรค ความถี่ของยีน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบความรู้เกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมียก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ (pre-test / post-test) ด้วย Paired Samples T test กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ โดยใช้โปรแกรม SPSS version 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)

ผลการวิจัย

ข้อมูลชีวสังคม

นิสิตสายวิทยาศาสตร์สุขภาพสาขาหนึ่งในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 300 คน มีอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการจำนวน 110 ราย จากแบบสอบถามประวัติส่วนตัว สามารถสรุปข้อมูลชีวสังคมได้ดังนี้ จำนวนอาสาสมัครเพศชาย 41 ราย คิดเป็นร้อยละ 37.3 จำนวนอาสาสมัครหญิง 69 ราย คิดเป็นร้อยละ 62.7 อายุเฉลี่ยของอาสาสมัคร คือ 20 ปี (17-22 ปี) มีภูมิลำเนาอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 106 ราย โดยส่วนมากอาศัยอยู่ในเขตสุขภาพที่ 7 (ร้อยแก่นสารสินธุ์) คือ 96 ราย ภาคอื่นๆ 4 ราย ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Biological data of 110 health science students

Biological factors	Number (percent)
Sex	
Male	41 (37.3)
Female	69 (62.7)
Age	
≤ 20 years	78 (70.9)
> 20 years	32 (29.1)
Domicile	
North East Region	106 (96.4)
• Mahasarakham	• 21 (19.1)
• Roi-Et	• 29 (26.4)
• Kalasin	• 17 (15.5)
• Khon Kaen	• 29 (26.4)
• Other	• 10 (9.1)
Central Region	1 (0.9)
Southern Region	1 (0.9)
East Region	2 (1.8)

อัตราการตรวจพบพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญและความถี่ของยีน

จากผลการตรวจทางโลหิตวิทยาและการตรวจวิเคราะห์ดีเอ็นเอ ประกอบด้วย การตรวจกรองพาหะฮีโมโกลบินอีด้วยชุดตรวจ KGU-DCIP, การตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC), การตรวจยืนยันการเป็นโรคด้วยการตรวจชนิดของฮีโมโกลบิน (hemoglobin typing) ด้วยวิธี cellulose acetate electrophoresis และปริมาณฮีโมโกลบินเอสอง (A₂) ด้วยวิธี anion exchange chromatography และตรวจเพิ่มเติมระดับดีเอ็นเอด้วยเทคนิคทางโมเลกุล (Polymerase Chain Reaction; PCR) ในรายที่ไม่สามารถให้การวินิจฉัยได้ด้วยชนิดของฮีโมโกลบิน พบว่า อาสาสมัครทั้งหมด 110 ราย มีผล Hb typing ปกติคือ A₂A จำนวน 67 รายและมีปริมาณร้อยละของ HbA₂ ระหว่าง 1.8-3.1 ซึ่งไม่เกินค่า cut off ≥ 3.5% ที่แสดงถึงการเป็นพาหะของยีน β-thalassemia จึงไม่ได้ทำการตรวจหา ยีน β-thalassemia เพิ่มเติม มีอาสาสมัคร 11 รายที่ได้รับการตรวจหา ยีน α⁰-thalassemia ด้วยเทคนิค Allele specific-PCR เพิ่มเติมเนื่องจากผล CBC ผิดปกติ แต่ไม่พบยีน α⁰-thalassemia อาสาสมัครจำนวน 32 รายพบว่า มี Hb E ร่วมแบ่งเป็น CSEA 7 ราย และ EA 25 ราย ได้ทำการคัดเลือกรายที่มีปริมาณ Hb E น้อยกว่าร้อยละ 25 จำนวน 7 รายเพื่อตรวจหา ยีน α⁰-thalassemia เพิ่มเติม พบว่ามียีน α⁰-thalassemia ร่วมจำนวน 3 ราย ในขณะที่ผู้ที่มีผลเลือดเป็น EE 2 รายให้ผลลบต่อการตรวจหา ยีน α⁰-thalassemia อาสาสมัคร 1 รายมีผล Hb เป็น A₂ABart'sH เมื่อตรวจระดับดีเอ็นเอพบว่า ให้ผลลบต่อ α⁰-thalassemia gene (SEA deletion) และ α⁺-thalassemia gene (3.7 kb deletion) แต่ให้ผลลบต่อ α⁺-thalassemia gene (4.2 kb deletion) และ Hb Constant Spring & Pakse' gene อาสาสมัคร 1 รายมีผล Hb เป็น A₂FA เมื่อตรวจระดับดีเอ็นเอพบว่า ให้ผลลบต่อ δβ-thalassemia gene (12.6 kb deletion) แต่ให้ผลลบต่อ α⁰-thalassemia gene (SEA&THAI deletion) กล่าวโดยสรุป ผลการศึกษาพบว่า มีพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญร้อยละ 32.7 (36 ใน 110 ราย) โดยแบ่งเป็นพาหะ α⁰-thalassemia ชนิด SEA ร้อยละ 3.6 (4/110) พาหะ db-thalassemia (12.6 kb deletion, Hb typing A₂FA) ร้อยละ 0.9 (1/110) และ พาหะ Hb E ร้อยละ 30.9 (34/110) โดยใน 34 รายนี้เป็นพาหะ Hb E ร่วมกับ α⁰-thalassemia จำนวน 3 ราย นอกจากนี้ยังพบพาหะของฮีโมโกลบินผิดปกติ คือ Hb Constant Spring ร้อยละ 12.7

(14/110) โดยใน 14 รายนี้เป็นพาหะ Hb E รวมด้วย 7 ราย และพบผู้เป็นโรค hemoglobin H disease (Hb typing A_2 ABart'sH) จำนวน 1 ราย (ร้อยละ 0.91) ดังแสดงใน Table 2 ผลการตรวจทางโลหิตวิทยาของอาสาสมัครที่มีผลเลือดเป็น A_2A และไม่ได้ทำการตรวจระดับดีเอ็นเอต่อ จำนวน 56 ราย อาสาสมัครที่มีผลเลือดเป็น A_2A และได้ทำการตรวจระดับดีเอ็นเอเนื่องจากมีค่า RBC indices ที่ผิดปกติจำนวน 11 ราย และผู้ที่เป็นพาหะธาลัสซีเมียชนิดต่างๆ จำนวน 43 ราย แสดงใน Table 3 ความถี่ของยีนพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญในนิสิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพแสดงใน Table 4

ความรู้เกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมียในอาสาสมัคร ก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ

อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 110 รายจะต้องทำแบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมีย จำนวน 20 ข้อ เมื่อเซ็นยินยอมเข้าร่วมโครงการ และทำการทดสอบอีกครั้ง ด้วยข้อสอบชุดเดิมหลังจากรับฟังคำอธิบายผลการตรวจเลือด พร้อมคำแนะนำเป็นรายบุคคลจากผู้วิจัย ตัวอย่างคำถามในแบบทดสอบความรู้ ดังแสดงใน Figure 1 เมื่อนำผลการทดสอบความรู้มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ ด้วย Paired Sample T-Test พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.25 คะแนน

Table 2 Type and number of thalassemia and abnormal hemoglobin carriers of health science students

Group	Diagnosis results	Genotype	Number (percent)
1	Normal	$\alpha\alpha/\alpha\alpha, \beta/\beta$	67 (60.9)
2	Hb H disease	$-/-\alpha, \beta/\beta$	1 (0.9)
3	$\delta\beta$ -thalassemia trait	$\alpha\alpha/\alpha\alpha, \delta\beta/\beta$	1 (0.9)
4	Hb Constant Spring trait	$\alpha\alpha/\alpha^{CS}\alpha, \beta/\beta$	7 (6.4)
5	Hb E trait	$\alpha\alpha/\alpha\alpha, \beta/\beta^E$	22 (20.0)
6	Hb E trait with Hb CS trait	$\alpha\alpha/\alpha\alpha^{CS}, \beta/\beta^E$	7 (6.4)
7	Hb E trait with α^0 -thalassemia trait	$-/-\alpha\alpha, \beta/\beta^E$	3 (2.7)
8	Homozygous Hb E	$\alpha\alpha/\alpha\alpha, \beta^E/\beta^E$	2 (1.8)
Total			110 (100.0)

Table 3 Hematologic parameters of thalassemia and abnormal hemoglobin carriers and normal health science students

Hb typing	Number (percent)	RBC ($10^{12}/L$)	Hb (g/dL)	MCV (fL)	MCH (pg)	RDW (%)	% A_2 /E	%HbF
A_2A	56	4.8±0.4	13.9±1.2	87.8±4.2	29.2±1.7	12.7±3.4	2.7±0.2	0.1±0.2
A_2A (PCR)*	11	5.0±0.5	12.1±1.5	75.5±5.9	24.1±2.5	14.4±4.7	2.4±0.3	0.0±0.1
A_2 ABart'sH	1	5.0	9.4	59.9	18.9	25.1	1.0	0.0
A_2 FA	1	5.1	11.8	72.9	23.2	21.3	2.4	17.1
CSA A_2	7	4.3±0.4	12.1±1.5	84.1±5.8	27.8±2.2	12.6±4.8	2.3±0.3	0.2±0.5
CSEA	7	5.1±0.6	13.0±1.9	77.9±4.7	25.3±1.8	13.1±5	27.1±3.2	0.1±0.3
EA	25	5.4±0.6	13.6±1.4	77.4±4.0	25.2±1.6	13.7±5.6	27.1±3.5	0.6±1.1
EE	2	4.7, 6.6	10.0, 13.5	65.5, 66.0	21.1, 20.5	15.4, 14.8	96.6, 96.7	3.4, 3.3

Hematological data are presented either as mean ± SD or raw data where appropriate (n = 1 or 2)

RBC: red blood cell count; L: liter; Hb: hemoglobin; g/dL: gram per deciliter; MCV: mean corpuscular volume; fL: femtoliter; MCH: mean corpuscular hemoglobin; pg: pictogram; RDW: red cell distribution width

*อาสาสมัครที่มีผลเลือดเป็น A_2A และได้ทำการตรวจระดับดีเอ็นเอด้วยวิธี PCR เนื่องจากมีค่า RBC indices ที่ผิดปกติ

Table 4 Gene frequencies of thalassemia and abnormal hemoglobin carrier of health science students

Gene	Number of carriers	Gene Frequency
α^0 -thalassemia (SEA)	4	0.0182*
$\delta\beta$ -thalassemia	1	0.0045**
Hemoglobin E	34	0.1636***

* คำนวณความถี่ของยีน α^0 -thalassemia จากสัดส่วนของผู้ที่เป็นพาหะของ α^0 -thalassemia ต่อจำนวนอัลลีลของยีน α -thalassemia ทั้งหมดในประชากรที่ศึกษา

** คำนวณความถี่ของยีน $\delta\beta$ -thalassemia จากสัดส่วนของผู้ที่เป็นพาหะของ $\delta\beta$ -thalassemia ต่อจำนวนอัลลีลของยีน β -thalassemia ทั้งหมดในประชากรที่ศึกษา

*** คำนวณความถี่ของยีน hemoglobin E จากสัดส่วนของผู้ที่เป็นพาหะของ hemoglobin E รวมกับสองอัลลีลในผู้ที่ homozygous hemoglobin E ต่อจำนวนอัลลีลของยีน β -thalassemia ทั้งหมดในประชากรที่ศึกษา

Pre-test

โครงการวิจัย “ความชุกของพาหะธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติ ในนิสิต..... มหาวิทยาลัยมหาสารคาม”

- ภาวะที่มีความผิดปกติของยีนที่ควบคุมการสร้างสาย globin ทั้งแบบปริมาณและคุณภาพ เป็นการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบใด
 - autosomal recessive ง. X-linked dominant
 - autosomal dominant จ. ไม่มีข้อใดถูก
 - X-linked recessive
- โรค Thalassemia ชนิดใดที่มีอาการรุนแรงที่สุด ทารกตายในครรภ์หรือเสียชีวิตตั้งแต่แรกคลอด
 - β -thalassemia /Hemoglobin E ง. Homozygous α -thalassemia 1
 - Homozygous β -thalassemia จ. Hemoglobin Constant Spring
 - Homozygous α -thalassemia 2
- โรคธาลัสซีเมียที่กระทรวงสาธารณสุขของไทยประกาศให้มันโยบายป้องกันและควบคุมโรค ยกเว้นข้อใด
 - Hb Bart's hydrop fetalis
 - Homozygous Beta-thalassemia
 - Beta-thalassemia/ Hb E disease
 - Homozygous alpha-thalassemia 1
 - Hb H disease
- พาหะของฮีโมโกลบินผิดปกติชนิดใดที่พบมากที่สุดในประชากรภาคอีสาน
 - Hemoglobin E ง. α -thalassemia 1
 - β -thalassemia จ. Hemoglobin Constant Spring
 - α -thalassemia 2
- โรคเลือดจาง α -thalassemia ในคนเอเชีย เกิดจากการ mutation แบบใดมากที่สุด
 - Mediterranean; MED ง. Filiphenes; FIL
 - Southeast Asian; SEA จ. -3.7 kb
 - Thai; THAI

Figure 1 Example of questions in pre-test and post-test for thalassemia

วิจารณ์และสรุปผล

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญ 3 ชนิด คือ พาหะของ α^0 -thalassemia (-) พาหะของ β -thalassemia (β^0) และพาหะของ hemoglobin E (β^E) ในนิสิตสาขาหนึ่งในสายวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งร้อยละ 96 (106 ใน 110 ราย) ของอาสาสมัครมีภูมิลำเนาอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความชุกของพาหะธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติสูง ในอนาคตเมื่อนิสิตเหล่านี้สำเร็จการศึกษา ส่วนมากจะปฏิบัติงานในโรงพยาบาลรัฐของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีโอกาสเจอผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียได้บ่อย การศึกษาค้นคว้านี้ใช้วิธีการตรวจกรองพาหะธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติด้วยชุดตรวจ KGU-DCIP, การตรวจ CBC, การตรวจยืนยันการเป็นโรคด้วยการตรวจชนิดของฮีโมโกลบิน (hemoglobin typing) ด้วยวิธี cellulose acetate electrophoresis และปริมาณฮีโมโกลบินเอสอง (A_2) ด้วยวิธี anion exchange chromatography และจะได้รับการตรวจเพิ่มเติมระดับดีเอ็นเอด้วยเทคนิคทางโมเลกุล (Polymerase Chain Reaction; PCR) ในรายที่ไม่สามารถให้การวินิจฉัยได้ด้วยชนิดของฮีโมโกลบิน ผลการตรวจพบว่า มีพาหะ α^0 -thalassemia ชนิด SEA (- SEA) ร้อยละ 3.6 (4/110) โดยจำแนกได้เป็นพาหะร่วมของ α^0 -thalassemia กับ Hb E จำนวน 3 รายและอีก 1 รายเป็นโรคฮีโมโกลบินเอช (Hb H disease; α^- - SEA) คิดเป็นความถี่ของยีน α^0 -thalassemia เท่ากับ 0.0181 ตรวจพบพาหะ $\delta\beta$ -thalassemia ร้อยละ 0.9 (1/110) โดยพบชนิดของฮีโมโกลบินเป็น A_2 FA มีปริมาณ Hb F สูงถึงร้อยละ 17.1 เมื่อตรวจระดับดีเอ็นเอพบว่ามีกรดหายไปของเนื้อยีนบีต้าโกลบินขนาด 12.6 กิโลเบส คิดเป็นความถี่ของยีน $\delta\beta$ -thalassemia เท่ากับ 0.0045 และตรวจพบพาหะ Hb E ร้อยละ 30.9 (34/110) โดยใน 34 รายที่เป็นพาหะ Hb E นี้เป็นพาหะ Hb E ร่วมกับ α^0 -thalassemia จำนวน 3 ราย คิดเป็นความถี่ของยีนฮีโมโกลบินอีเท่ากับ 0.1636 รวมพบพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญร้อยละ 32.7 (36 ใน 110 ราย) สอดคล้องกับงานวิจัยของวิชัย เทียนถาวร และคณะ⁶ ซึ่งรายงานความชุกของพาหะธาลัสซีเมียในพื้นที่ของศูนย์เขตอนามัยในประเทศไทย โดยพบความชุกของพาหะของฮีโมโกลบินอี สูงกว่าพาหะ α^0 -thalassemia และสูงกว่าพาหะ β^0 -thalassemia ตามลำดับ ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ ศูนย์อนามัยที่ 5 ครอบคลุมจังหวัดชัยภูมิ มหาสารคาม นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และในศูนย์อนามัยที่ 6 ครอบคลุมจังหวัดอุดรธานี หนองคาย ขอนแก่น เลย กาฬสินธุ์ สกลนคร หนองบัวลำภู ในขณะที่สัดส่วนของผู้ที่เป็นพาหะธาลัสซีเมียที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ จะพบความชุกของพาหะของฮีโมโกลบินอี

สูงกว่าพาหะ β^0 -thalassemia และสูงกว่าพาหะ α^0 -thalassemia จากผลการตรวจหาพาหะธาลัสซีเมียในบุคลากรมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์⁷ ซึ่งมีภูมิลำเนาในจังหวัดของภาคใต้ ร้อยละ 89.4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละภูมิภาคในการกระจายตัวของยีน β^0 -thalassemia ซึ่งจะพบได้ในภาคใต้สูงกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่การกระจายตัวของยีน α^0 -thalassemia พบสูงในประชากรภาคเหนือจากการศึกษาในนิสิตและบุคลากรมหาวิทยาลัยพะเยาที่มีภูมิลำเนาในจังหวัดพะเยาพบว่าสูงถึงร้อยละ 16.2 (20/123 ราย)⁸ และในประชากร 7 อำเภอของจังหวัดพะเยาพบได้ร้อยละ 9.6 (86/892 ราย)⁹ การวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า ความชุกของพาหะฮีโมโกลบินคอนสแตนท์สปริง (Hb Constant Spring) ซึ่งเกิดจากการกลายพันธุ์ของยีนอัลฟาโกลบิน ทำให้ได้ฮีโมโกลบินที่ไม่เสถียรทำให้เกิดอาการคล้ายธาลัสซีเมีย พบได้สูงในประชากรที่ศึกษาเช่นกัน คือ ร้อยละ 12.7 (14/110 ราย) ซึ่งใกล้เคียงกับความชุกในประชากรจังหวัดพะเยา คือ ร้อยละ 10.5¹⁰

การทดสอบความรู้ก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ (pre-test/ post-test) ด้วยข้อสอบปรนัย 5 ตัวเลือกจำนวน 20 ข้อ เกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจในโรคธาลัสซีเมีย พบว่านิสิตมีความรู้ความเข้าใจในโรคธาลัสซีเมียเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งผู้เข้าร่วมโครงการร้อยละ 96.4 (106/110 ราย) เป็นผู้ที่มีภูมิลำเนาในภาคอีสาน ส่วนมากอยู่ในเขตสุขภาพที่ 7 (ร้อยแก่นสารสินธุ์) และต้องปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีความชุกของโรคสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการวิจัย นักเทคนิคการแพทย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ โรงพยาบาลสุทธาเวช คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. วิจารย์ พานิช. แนวทางแก้ปัญหาโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย. แพทยสภาสาร 2532; 18: 67-74.
2. สุทัศน์ ฟูเจริญ, ปราณี ฟูเจริญ. Thalassemia in Thailand : problem and prenatal diagnosis. ใน : เสาวคนธ์ อัจฉิมาร, เฉลิมศรี รัตนเศรษฐ, บรรณาธิการ. การวินิจฉัยและรักษาทารกในครรภ์. กรุงเทพมหานคร : บริษัทพิมพ์ดี จำกัด, 2535 : 90-9.

3. ถวัลย์วงศ์ รัตนสิริ. การป้องกันและควบคุมโรคธาลัสซีเมียในเวชปฏิบัติสูติศาสตร์. ศรีนครินทร์เวชสาร 2550; 22(4): 471-6.
4. จินตนา ศิรินาวิน. การป้องกันและควบคุมธาลัสซีเมีย : แนวคิดและวิธีประยุกต์ทางพันธุศาสตร์. วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์การบริการโลหิต 2534;1 :69-76.
5. นิพนธ์พร วรมงคล, จินตนา พัฒนพงศ์ธร, บรรณาธิการ. คู่มือการบริหารจัดการความรู้ “ธาลัสซีเมีย” ของประเทศไทย. กลุ่มอนามัยแม่และเด็ก สำนักส่งเสริมสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด 2548 : 3-4.
6. วิชัย เทียนถาวร, จินตนา พัฒนพงศ์ธร, สมยศ เจริญศักดิ์, รัตน์ติกา แซ่ตั้ง, พิมพ์ลักษณ์ เจริญขวัญ และ ต่อพงศ์ สงวนเสริมศรี. ความชุกของพาหะธาลัสซีเมียในประเทศไทย. วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์การบริการโลหิต 2549; 16:307-12.
7. มานิตย์ นุ้ยนุ่น, นุชจรี จินต้วง และดารารัตน์ ห่อเพชร. ความรู้และทัศนคติของบุคลากรมหาวิทยาลัย วลัยลักษณ์ ต่อธาลัสซีเมีย. วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด 2558; 27(3):240-54.
8. Narutchala Suwannakhon, Teerapat Seeratanachot, Khwanruedee Mahingsa, Pratompong Namwong³ and Torpong Sanguansermisri. Prevalence of Alpha-thalassemia Trait in the Volunteered Personals of University of Phayao. J Hematol Transfus Med 2014; 24:129-36.
9. Ekkachan Parameeyong, Payon Pengyo and Sitthichai Panyasai. Incidence of a-thalassemia 1 Carriers in Phayao Province. J Hematol Transfus Med 2014; 24:371-7.
10. สิทธิชัย ปัญญาใส, สุรียา ไชยนาคร, สุวีพรรณ กำลังมาก, จุรีพร อาษาศึก, ปิยชาติ ชัยบังคม, และ สุพรรณ พูเจริญ. ความถี่ฮีโมโกลบินคอนสแตนท์สปริงและฮีโมโกลบินปากเซในจังหวัดพะเยา. วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด 2557; 26 (1): 40-7.

ความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพศหญิง ในอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย

Prevalence of Musculoskeletal disorders among female pottery workers in Khiri Mat, Sukhothai Province, Thailand

วริยา เคนทาวัย^{1,5}, อัมรินทร์ คงทวีเลิศ^{2,5*}, ดุสิต สุจิราวัฒน์³, เพชรรัตน์ ภูอนันตานนท์⁴

Wariya Kentawai^{1,5}, Amarin Kongtawelert^{2,5*}, Dusit Sujirarat³, Petcharatana Bhuanantanondh⁴

Received: 11 February 2019 ; Revised : 5 April 2019 ; Accepted: 19 April 2019

บทคัดย่อ

อาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างเป็นปัญหาสำคัญทางสุขภาพที่สามารถพบได้ในหลากหลายอาชีพ การหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป็นอีกอาชีพหนึ่งที่มีลักษณะท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสมจึงเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อได้ง่าย การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่เป็นเพศหญิง ในอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย จำนวน 164 คน โดยประยุกต์ใช้แบบสอบถาม Standardized Nordic Questionnaire ในการสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) ผลการศึกษาพบว่า ความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมา พบมากที่สุดในระดับหลังส่วนล่าง ไหล่ และเข่า ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ได้แก่ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ($OR_{adj} = 3.41$ 95%CI=1.18-9.81) และระยะเวลาการทำงาน (ปี) ($OR_{adj} = 0.57$ 95%CI=0.26-0.97) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการดูแลสุขภาพและปรับสภาพการทำงานให้ดีขึ้น เพื่อลดการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างจากการทำงาน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มคุณภาพชีวิตและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา

คำสำคัญ: ความชุก, อาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง, หัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา

Abstract

Musculoskeletal disorders (MSDs) was found in several occupations. Pottery crafts have been improper posture which risk to muscle injury. In this Cross-sectional Descriptive Study was conducted to determine the prevalence and factors associated with musculoskeletal disorder among female pottery workers in Kirimas, Sukhothai in 164 female workers and applied Nordic questionnaires for interviewing. This study was conducted Descriptive statistics and logistic regression analysis for determine. The results found prevalence of musculoskeletal disorder in last 12 months and last 7 days. The most female pottery workers had symptom at lower back, shoulder and knee. Factors associated with

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

² อาจารย์ ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, ³อาจารย์ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, ⁴อาจารย์คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล, ⁵ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา กรุงเทพฯ

¹ Graduate Student in Master of Science, Major in Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Mahidol University

² Lecturer, Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Mahidol University, ³Lecturer, Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, ⁴Lecturer, Faculty of Physical Therapy, Mahidol University, ⁵Center of Excellence on Environmental Health and Toxicology (EHT), Bangkok Thailand

* Email: bew.wariya@gmail.com

musculoskeletal disorder were income per month ($OR_{adj} = 3.41$ 95%CI=1.18-9.81) and year's experience (year) ($OR_{adj} = 0.57$ 95%CI=0.26-0.97). The results from this study can be used in as the guideline for health promotion and the improvement of work environment in order to decrease work-related musculoskeletal disorders which affect to better quality of life and quality of work for the pottery workers.

Keywords: Prevalence, Musculoskeletal disorders (MSDs), Pottery

บทนำ

ปัจจุบันอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง (Musculoskeletal disorders) เป็นอาการเกี่ยวกับข้อต่อกล้ามเนื้อ รวมไปถึงอาการเคล็ด ตึงหรืออักเสบ ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการทำงาน⁽¹⁾ เป็นปัญหารบกวนทางสุขภาพที่พบได้บ่อยและเป็นสาเหตุสำคัญของการหยุดงาน⁽²⁾ อาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างสามารถพบได้ในหลายลักษณะงานหรือในหลายกลุ่มอาชีพ จึงทำให้เป็นปัญหาหนึ่งทางด้านอาชีวอนามัย ทั้งในประเทศที่กำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้ว^(3,4) ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคล คือ เพศ อายุ น้ำหนักตัว ปัจจัยด้านสังคม ได้แก่ ความเครียด การใช้ร่างกายอย่างหนัก การสูบบุหรี่ และปัจจัยทางด้านลักษณะงาน ได้แก่ การทำงานในท่าเดิมซ้ำ ๆ การออกแรงมาก และการที่ร่างกายอยู่ในท่าเดิมเป็นเวลานาน⁽⁵⁾ จากสถิติการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในประเทศไทย ในปี 2015-2016 มีความเสี่ยงสูงถึงร้อยละ 41 คิดเป็น 539,000 ราย⁽⁶⁾ สำหรับสถิติในประเทศไทยในปี 2561 พบสถิติการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ของแรงงานนอกระบบที่เกิดจากอิริยาบถการทำงาน มากถึงร้อยละ 43.4 คิดเป็น 1.4 ล้านคน⁽⁷⁾ จากการศึกษาสภาพการทำงานและอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในคนทำเครื่องปั้นดินเผาประเทศบราซิล พบว่า การทำงานส่วนใหญ่ยังคงมีการใช้เทคโนโลยีที่ล้าสมัย จึงทำให้เกิดการทำงานซ้ำ ๆ เช่น การทำงานในขั้นตอนการปั้นขึ้นงานและการขัดผิวขึ้นงาน จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของแขนส่วนบนสูง ซึ่งเป็นการทำงานที่ต้องใช้ความเร็วจึงทำให้เกิดการทำงานซ้ำ ๆ ในอัตราที่สูง การรายงานอาการปวดในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา พบมีอาการปวดบริเวณแขน ขาส่วนล่างและหลัง⁽⁸⁾ และจากการศึกษาภาระงานทางกายและอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างของคนทำงานเซรามิก จังหวัดลำปาง พบว่ามีอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมา พบมากถึงร้อยละ 90.15 และร้อยละ 60.49 ตามลำดับ งานหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาถือได้ว่าเป็นงานที่ต้องใช้ความประณีตและความตั้งใจในการทำงานที่สูง ซึ่งลักษณะการ

ทำงานดังกล่าว จะส่งผลถึงการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่าทางการทำงานซ้ำ ๆ การนั่งทำงานเป็นระยะเวลานาน และการนั่งบนเก้าอี้ที่ไม่มีพนักพิงหลัง^(9,10) ปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง อาชีพการทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาในเขตอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน เนื่องจากการทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่ยังคงการทำเครื่องปั้นดินเผาแบบดั้งเดิม มักจะทำส่งขายตามรายการคำสั่งซื้อของพ่อค้า ขายให้โรงงานหรือว่าหน้าร้านให้แก่ลูกค้า และในขณะที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาความชุกของการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปวางแผนการสร้างเสริมสุขภาพและลดความเสี่ยงจากการทำงาน อันจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหายังเป็นรูปธรรมและสอดคล้องกับสภาพการทำงานที่เป็นจริงของกลุ่มผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผากลุ่มนี้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา

1. **รูปแบบการวิจัย** การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (cross sectional study)

2. **ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง** ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพศหญิงอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย จำนวน 164 ราย ผู้เข้าร่วมวิจัยได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) ใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยจะเลือกกลุ่มตัวอย่างตามลักษณะการประกอบอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งลักษณะการทำงานของผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่จะนั่งติดต่อกันเป็นเวลานาน มีการเคลื่อนไหวร่างกายด้วยท่าทางที่ซ้ำ ๆ มีเอี้ยวตัว บิดตัวหรือหมุนตัวในขณะที่ทำงาน และมีการยกชิ้นงานที่หนัก

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบสอบถามประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป ข้อมูลด้านการทำงาน และแบบสอบถามซึ่งประยุกต์จาก Standardised Nordic questionnaire⁽¹¹⁾ ที่ได้แปลเป็นภาษาไทย โดยมีเนื้อหาครอบคลุมข้อมูลของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ซึ่งได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ

4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เลขที่การรับรอง MUPH 2018-084 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2561 (บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์) การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการติดต่อกับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) เพื่อให้ช่วยประสานงานกับผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาในพื้นที่ ผู้วิจัยจะทำการชี้แจงข้อมูลที่ต้องการ วิธีการเก็บข้อมูล และแบบฟอร์มทั้งหมดกับผู้ช่วยวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลกับผู้ประกอบอาชีพทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป็นอาชีพหลัก โดยใช้แบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการชี้แจงถึงวัตถุประสงค์การวิจัย การเก็บข้อมูลโดยไม่ระบุตัวตนและกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจพร้อมทั้งได้ลงลายมือชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ทำการเก็บข้อมูลในเดือน มิถุนายน 2561

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical package for the social science) version 18 ใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลทั่วไปซึ่งนำเสนอในรูปแบบตาราง ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร (Standard deviation, SD) สำหรับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square) และสถิติการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) เพื่อทำนายโอกาสของการเกิดอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ในช่วงระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

โดยข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างพบว่า เป็นเพศหญิงจำนวน 164 คน มีอายุเฉลี่ย 52.85 ปี มีการศึกษาในระดับชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 75.0 รายได้ส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 10,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 85.4 การสูบบุหรี่ส่วนใหญ่ไม่สูบบุหรี่ ร้อยละ 99.4 ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 97.6 และส่วนใหญ่ไม่ออกกำลังกาย ร้อยละ 51.2 โรคประจำตัวที่พบบมากที่สุด คือ โรคความดันโลหิตสูง รองลงมาโรคไขข้ออักเสบและโรคภูมิแพ้ ตามลำดับ ลักษณะการทำงานส่วนใหญ่จะนั่งหรือยืนทำงานเป็นเวลานาน ร้อยละ 73.8 อวัยวะของร่างกายที่มีการเคลื่อนไหวมากที่สุด คือ มือและนิ้วมือ แขน/ต้นแขน และไหล่ ตามลำดับ ระยะเวลาการทำงานจะทำงานน้อยกว่า 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ร้อยละ 47.6 ส่วนใหญ่จะทำงานมากกว่า 20 ปี ร้อยละ 38.4 จำนวนชิ้นงานที่ผลิตต่อวันเฉลี่ยอยู่ที่ 87.35 ชิ้น และส่วนใหญ่ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาจะทำงานในขั้นตอนการขึ้นรูป รองลงมาจะเป็นขั้นตอนการเตรียมดิน การตากเครื่องปั้นดินเผา การเผาชิ้นงาน และการแกะสลักหรือสร้างลวดลาย ร้อยละ 87.8, 66.5, 65.9, 63.4, และ 52.4 ตามลำดับ ในขั้นตอนการเตรียมดินจะมีลักษณะงานที่ต้องยืนทำงานตลอดเวลา มีการใช้แรงในการยกดินเหนียวและแต่งดินที่ผ่านการผสมซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม ขั้นตอนการขึ้นรูปคนทำงานจะมีลักษณะการทำงานที่ต้องนั่งทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน มีการบิด เอี้ยวลำตัว โน้มลำตัวขณะปั้นชิ้นงานหรือหยิบอุปกรณ์ ขั้นตอนการแกะสลักหรือสร้างลวดลายในขั้นตอนนี้จะมีการใช้มีดแกะสลักชิ้นงานตามลวดลายที่วาดไว้หรือจะนั่งขัดชิ้นงานจนชิ้นงานเกิดความเงา ส่วนในขั้นตอนการตากชิ้นงานและขั้นตอนการเผาชิ้นงาน ทั้ง 2 ขั้นตอนจะมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน มีการทำงานที่ต้องเดินกลับไปกลับมาและการยกชิ้นงาน 3-4 ชิ้นต่อครั้งเพื่อที่จะนำออกไปตากแดด/ผึ่งลมหรือนำเข้าเตาเผา จากขั้นตอนการทำงานทั้งหมดนี้จะมีท่าทางการทำงานที่ซ้ำ ๆ กัน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงอิริยาบถการทำงานและการบาดเจ็บจากการทำงานที่พบบมากที่สุด คือ การออกแรงมากเกินไป สิ่งแปลกปลอมเข้าตา เครื่องมือแทง/ทิ่ม/บาด/หนีบ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

Table 1 Number and percentage of personal factors and occupational factors among female pottery workers (n=164)

Factors	Number	Percentage
Age (year) (Mean±S.D. = 52.85 ± 9.696 Min-Max = 85-23)		
< 50	49	29.9
> 50	115	70.1
Education		
Not study	3	1.8
Junior high school	123	75.0
Senior high school	25	15.2
Vocational certificate	10	6.1
Vocational diploma	3	1.8
Income (baht/month)		
< 10,000	140	85.4
> 10,000	24	14.6
Smoking		
Never	163	99.4
Currently smoke	1	0.6
Alcohol drinking		
Never	160	97.6
Currently drink	4	2.4
Exercise (time/week)		
Rarely/Never	84	51.2
1 – 2	30	18.3
3 – 5	28	17.1
> 5	22	13.4
Underlying disease (choose more than 1 choice)		
Hypertension	24	14.6
Dyslipidemias	10	6.1
Allergy	7	4.3
Job description		
Sit or standing for a long time	121	73.8
Sit and stand	43	26.3
Movement repeating of the body (choose more than 1 choice)		
Head and neck	18	11.0
Shoulder	115	70.1
Arm and upper arm	151	92.1
Wrist and finger	154	95.7
Trunk and back	27	16.5
Leg and feet	73	44.5d

Table 1 Number and percentage of personal factors and occupational factors among female pottery workers (n=164)
(Cont.)

Factors	Number	Percentage
Duration of worker (hours/week) (Mean±S.D. =38.73±16.11 Min-Max = 4-84)		
< 40	78	47.6
40 – 48	34	20.7
> 48	52	31.7
Working time (year) (Mean±S.D. =19.40±10.04Min-Max = 1-70)		
< 20	75	45.7
> 20	89	54.3
Produced per day (Mean± S.D. = 87.35±61.275 Min-Max =5-600)		
< 50	59	36.0
51-100	76	46.3
> 100	29	17.7
Type of worker. (choose more than 1 choice)		
Preparing clay	109	66.5
Forming	144	87.8
Carving	86	52.4
Drying with the sun	108	65.9
Burning	104	63.4
Injury in working (choose more than 1 choice)		
Overexertion	57	34.8
Foreign bodies in the eye	42	25.6
Accidents from tools	33	20.1
Get heat from pottery	25	15.2
Falling objects	27	16.5
Heat exhaustion	9	5.5

ผลการศึกษา

ความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 72.6 พบตำแหน่งที่มีความชุกสูง 3 อันดับแรกได้แก่ หลังส่วนล่าง (ร้อยละ 72.6) เข่า (ร้อย

ละ 47.5) และไหล่ (ร้อยละ 43.3) สำหรับความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในช่วง 7 วันที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 59.1 พบตำแหน่งที่มีความชุกสูง 3 อันดับแรกในบริเวณเดียวกัน ได้แก่ หลังส่วนล่าง (ร้อยละ 58.5) เข่า (ร้อยละ 37.2) และไหล่ (ร้อยละ 29.8) (ตารางที่ 2)

Table 2 The Prevalence of musculoskeletal disorders

Parts of the body of musculoskeletal disorders (choose more than 1 choice)	Prevalence			
	12 month		7 day	
	number	percentage	number	percentage
neck	20	12.2	16	9.8
shoulder	71	43.3	49	29.8
upper back	6	3.7	4	2.4
elbow/lower arms	47	28.6	28	17.1
wrist/hand	66	40.2	40	24.4
lower back	119	72.6	96	58.5
thigh	38	23.2	30	18.3
knee	78	47.5	61	37.2
ankle/feet	6	3.7	6	3.6
overall	119	72.6	97	59.1

การทดสอบปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ (p -value < 0.05) คือ ระยะเวลาการทำงาน (ปี) รายได้เฉลี่ยต่อเดือนและลักษณะงาน เมื่อทำการทดสอบปัจจัยที่หลายๆ ตัวแปรพร้อมกันโดยคัดเลือกปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องแต่ละตัวที่มีค่า p -value < 0.1 ซึ่งมีจำนวน 2 ตัวแปร (ระยะเวลาการทำงาน (ปี), รายได้เฉลี่ยต่อเดือน) พบว่า ไม่พบปัจจัยที่ส่งผลต่อการ

เกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา แต่ในช่วง 7 วันที่ผ่านมา พบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ($OR_{adj} = 3.41$ 95%CI=1.18-9.81) ระยะเวลาการทำงาน มากกว่า 20 ปี ($OR_{adj} = 0.57$ 95%CI=0.26-0.97) (ตารางที่ 3)

Table 3 Crude and Adjust odds ratio of MSDs (n=164)

Factors	Crude	p-value	Adjust	p-value
	OR (95% CI)		OR (95% CI)	
Income (baht/month)				
< 10,000	1		1	
> 10,000	3.02 (1.06-8.54)	0.037*	3.41(1.18-9.81)	0.023*
Working time (year)				
< 20	1		1	
> 20	1.19 (0.59-2.36)	0.618	0.57 (0.26-0.97)	0.041*
Age (Year)				
<50	1			
>50	1.12 (0.57-2.21)	0.733		

Table 3 Crude and Adjust odds ratio of MSDs (n=164) (Cont.)

Factors	Crude	p-value	Adjust	p-value
	OR (95% CI)		OR (95% CI)	
Duration of worker (hours/week)				
< 40	1			
40 – 48	1.41 (0.61-3.26)	0.413		
> 48	1.41(0.56-2.32)	0.717		
Number of pieces a day				
< 50	1			
51-100	1.56 (0.78-3.12)	0.202		
> 100	2.14 (0.84-5.48)	0.110		

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาพบว่า ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผามีความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมา ร้อยละ 72.6 และร้อยละ 59.1 ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่พบอาการผิดปกติมากที่สุดได้แก่ หลังส่วนล่าง เข่า และไหล่ เนื่องจาก ลักษณะการทำงานมักจะนั่งหรือยืนเป็นเวลานานหรือนั่งสลับยืนอยู่บ่อยครั้ง จึงทำให้การเกร็งกล้ามเนื้อบริเวณหลัง ไหล่ และเข่า ในขณะที่ทำงาน จากการศึกษากลุ่มอาชีพทำเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัด ลำปาง พบความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างมากที่สุดคือบริเวณ หลังส่วนล่าง หลัง และเข่า⁽¹²⁾ และจากการศึกษาความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในโรงงานโรงงานเผาอิฐจังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมา พบความชุกสูงสุด 4 อันดับแรกในบริเวณเดียวกัน คือ หลังส่วนล่าง ไหล่ แขนท่อนบน และเข่า⁽⁵⁾ เนื่องจาก ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกัน จึงมีแนวโน้มที่จะทำให้ความชุกของการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในบริเวณเดียวกัน

ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาในช่วง 7 วันที่ผ่านมา ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนมากกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท มีโอกาสในการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง 3.41 เท่า เมื่อเทียบกับผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีรายได้น้อยกว่า 10,000 บาท เนื่องจาก ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผามักจะมีการผลิตชิ้นงานให้ทันตามรายการคำสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า ซึ่งการทำเครื่องปั้นดินเผาในแต่ละวันโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 87 ชิ้น

ต่อวัน และจากการศึกษาความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในอุตสาหกรรมอิฐ ประเทศศรีลังกา พบว่า คนงานทำอิฐที่ต้องการมีรายได้ที่เพิ่มขึ้น จะต้องมีการทำงานให้เร็วขึ้นจากเดิม เนื่องจากคนงานที่จะได้รับเงินเพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นงานที่ทำได้ ซึ่งส่วนใหญ่คนงานจะมีเป้าหมายในการทำอิฐ 1,500 – 2,000 ชิ้นต่อวัน จึงก่อให้เกิดการใช้แรงที่มีความถี่สูง การใช้แรงที่มากและมีความถี่สูง จึงส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างได้⁽¹³⁾ ดังนั้น เมื่อผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาได้รับการส่งเสริมค่าเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น มีการผลิตชิ้นงานมากขึ้น รวมถึงระยะเวลาการทำงานที่อาจมีจำกัดจึงทำให้ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา มีการทำงานล่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นจากเดิม จึงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างได้ และจากการศึกษา ความผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงานในโรงงานโรงงานเผาอิฐ พบว่า ผู้ที่มีรายได้ในระดับปานกลาง มีผลต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง รวมไปถึงปัจจัยทางด้านจิตใจและสังคม^(5,14) และผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีระยะเวลาการทำงานมากกว่า 20 ปี มีโอกาสในการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง 0.57 เท่า เมื่อเทียบกับผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีระยะเวลาการทำงานน้อยกว่า 20 ปี เนื่องจาก ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่จะมีระยะเวลาในการทำงานมากกว่า 20 ปี ส่วนใหญ่จะทำงานน้อยกว่า 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ จึงทำให้ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีระยะเวลาการทำงาน (ปี) ที่มาก จะสามารถปรับท่าทางในการทำงาน เพื่อลดความเมื่อยล้าและ

มีอุปกรณ์ช่วยเสริม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง⁽¹³⁾ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปัจจัยเสี่ยงของกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนบนของผู้ประกอบอาชีพกรีดยางพารา พบว่า ผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานที่น้อยจะทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างเพิ่มมากขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากการขาดประสบการณ์ในการทำงานที่เพียงพอ จึงมักจะไม่ทราบหรือรู้ถึงระดับของความเมื่อยล้าและอาการผิดปกติของร่างกายที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน ไม่มีเทคนิคที่ใช้ในการผ่อนคลายเมื่อเกิดอาการปวด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาวะตึงเครียดของกล้ามเนื้อให้กับร่างกายได้มากกว่าผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานที่มาก⁽¹⁵⁻¹⁶⁾

โดยสรุปการศึกษานี้ เป็นการศึกษาหาความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งพบว่าความชุกอยู่ในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมา ร้อยละ 72.6 และร้อยละ 59.1 ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่มีอาการผิดปกติมากที่สุด ได้แก่ หลังส่วนล่าง ข่า และไหล่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยส่วนบุคคลและปัจจัยทางด้านการทำงานที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างเนื่องจาก ลักษณะท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การนั่งหรือยืนทำงานเป็นระยะเวลานาน การออกแรงมากเกินไป ในขณะที่เตรียมดินหรือยกชิ้นงาน การทำงาน และการทำงานโดยใช้ท่าทางซ้ำ ๆ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอิริยาบถในการทำงาน เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าว ย่อมส่งผลต่อภาวะสุขภาพของผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาทั้งในระยะสั้นและระยะยาว กล่าวคือในระยะสั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาลดลง เกิดความรู้สึกไม่สบายในขณะทำงานและยังส่งผลถึงการทำงานที่ไม่คล่องตัว จึงอาจส่งผลเสียต่อการเกิดอุบัติเหตุจนต้องหยุดงานได้ และเมื่อผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผายังคงมีท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม ก็อาจจะส่งผลในระยะยาวต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างได้ ดังนั้น ผลจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังโรคจากการทำงาน เป็นแนวทางในการส่งเสริม สร้างความตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพของตนเอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดอันตรายจากการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในคนทำงานอาชีพนี้ต่อไป

การศึกษานี้เป็นการศึกษาภาคตัดขวางในกลุ่มผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งเป็นการศึกษาในระยะสั้น จึงเป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและอาจทำให้ไม่พบปัจจัยอื่น ๆ

ที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานหรือท่าทางในการทำงาน และในการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) เพื่อทำนายโอกาสของการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง นั้นจะเห็นค่าระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งค่อนข้างที่จะกว้าง แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปอาจจำเป็นต้องมีการเพิ่มกลุ่มตัวอย่างให้มากขึ้นเพื่อให้ค่าระดับของความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ คำถามเกี่ยวกับอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างเป็นคำถามเกี่ยวกับอาการย้อนหลัง จึงทำให้ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาจำเหตุการณ์ที่มีอาการปวดเมื่อยที่ผ่านมาได้ไม่ครบถ้วน ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการสอบถามถึงอาการปวดในระยะเวลาที่สั้นลง และสอบถามถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่จะส่งผลต่ออาการปวดเมื่อยในระหว่างการทำงานเพิ่มเติม เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการพิจารณาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและหาแนวทางเพื่อช่วยลดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในกลุ่มผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการฝึกอบรมและให้คำปรึกษาแก่ผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา เพื่อให้มีท่าทางการทำงานที่ถูกต้องและลดการบาดเจ็บจากการทำงาน
2. ควรมีการให้ความรู้และสร้างความตระหนักต่อปัญหาการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างจากการทำงาน
3. ควรมีการจัดสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสม ทั้งการกำหนดช่วงเวลาการทำงานและการจัดวางอุปกรณ์การทำงานให้เหมาะสม
4. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้อาจนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาท่าทางการทำงานและลดความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง เช่น การปรับเปลี่ยนอิริยาบถในการทำงาน การจัดกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพ การออกกำลังกายและการผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เพื่อลดความชุกของอาการปวดตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น หลังส่วนล่าง ข่า และแขน
5. ควรใช้ Ergonomic Assessment tools โดยการสังเกต (observation) เช่น Rapid Upper Limb Assessment (RULA) หรือ Rapid Entire Body Assessment (REBA) ใน

การประเมินท่าทางในการทำงานเพื่อหาปัญหาที่แท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาในอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยทุกท่าน รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. สุวิพันธ์ ทวีพิริยะจินดา, สีสม แจ่มอุลิตรัตน์, อ่องนุ สันข พงศ์. ท่าทางการทำงานที่เป็นอันตรายและความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและโครงร่าง อันเกี่ยวเนื่องจากการทำงาน ในคนงานโรงพยาบาลนครราชสีมา นครินทร์. the national graduate research conference. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 30 ธันวาคม 2561];1015-22. เข้าถึงได้จาก: <https://tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/download/47398/80579/>.
2. เพชรรัตน์ แก้วดวงดีและคณะ. ความชุกและปัจจัยด้านท่าทางการทำงานที่สัมพันธ์กับอาการปวดหลังส่วนล่างในกลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมสิ่งทอ (แหวน) จังหวัดขอนแก่น. ศรีนครินทร์เวชสาร [อินเทอร์เน็ต]. 2554 [เข้าถึงเมื่อ 8 ธันวาคม 2561]; 26(4):317-24. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/SRIMEDJ/article/download/12979/11652>.
3. อรรถพล แก้วนวล,บรรพต โลหะพูนตระกูล,กลางเดือนโพชานา. ความชุกของความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานในอาชีพต่างๆ. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 30 ธันวาคม 2561]; 12(2):53-64. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/phjbuu/article/download/71404/84315/>.
4. รุ่งทิพย์ พันธุมธากุลและคณะ. ความชุกของภาวะความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในชาวนา:กรณีศึกษาตำบลศิลา อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด [อินเทอร์เน็ต]. 2554 [เข้าถึงเมื่อ 30 ธันวาคม 2561]; 23(3):297-303. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/ams/article/download/66231/54180>.
5. ชารีฟ สะมะแอและคณะ. ความผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน ในกลุ่มคนงานโรงงานเผาอิฐ จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 8 ธันวาคม 2561]; 20(1):9-16. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/download/90078/70806/>
6. State of Musculoskeletal Health 2017 [Internet]. 2017 [cited 2018 December 31]. Available from: <https://www.arthritisresearchuk.org/~media/Files/Press-releases/StateOfMusculoskeletalHealth2017.ashx?la=en>
7. กองสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สรุปผลที่สำคัญ การสำรวจแรงงานนอกระบบ พ.ศ. 2561. ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา: กรุงเทพมหานคร; 2561. [เข้าถึงเมื่อ 30 ธันวาคม 2561]; เข้าถึงได้จาก: www.nso.go.th/sites/2014/Pages/สำรวจ/ด้านสังคม/แรงงาน/แรงงานนอกระบบ.aspx
8. Melzer AC, Iguti AM. Working conditions and musculoskeletal pain among Brazilian pottery workers. Cadernos de saude publica [internet]. 2010 [cited 2018 December 21];26(3):492-502. Availablefrom: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2010000300007.
9. วันเพ็ญ ทรงคำ, ชวพรพรรณ จันทร์ประสิทธิ์, ธาณี แก้วธรรมานุกุล. ปัจจัยอันตรายในการทำงานและภาวะสุขภาพของคนงานผลิตเครื่องปั้นดินเผา. Journal of Safety and Health [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 1 ธันวาคม 2561];7(26):6-16. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JSH/article/view/146613?articlesBySameAuthorPage=2>
10. ประภรณ์ วิไล, อภิญญา วิไล. ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในภาคเหนือประเทศไทย. การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4 [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 17 มีนาคม 2562]; 82-91. เข้าถึงได้จาก : https://cscd.kku.ac.th/uploads/proceeding/070714_135413.pdf
11. I. Kuorinka BJt, A. Kilbom, H. Vinterberg t t , F. Biering-S6rensen , G. Andersson , et al., Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. Applied Ergonomics. 1987;18 (3):233-7.
12. สัจจิรา โยชิน. ภาวะสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพทำเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมืองลำปาง. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2553.
13. I.B.Fernando W, De Silva V, Sundarapperuma T.

- Prevalence of work related musculoskeletal disorders in brick industry workers in Chilaw Sri Lanka [internet] 2016. [cited 2019 March 18] ;21(1):9-15 Available from: <https://jracs.sljol.info/articles/abstract/10.4038/jracs.v21i1.15/>
14. Barbe MF, Barr AE. Inflammation and the pathophysiology of work-related musculoskeletal disorders. Brain, behavior, and immunity. [internet] 2006 [cited 2019 January 16] ;20(5):423-9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16647245>
 15. พรสวรรค์ ชนธรวงศ์. การศึกษาปัจจัยเสี่ยงจากการทำงานต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกของทันตแพทย์กลุ่มหนึ่ง. วารสารทันตสาธารณสุข [อินเทอร์เน็ต]. 2554 [เข้าถึงเมื่อ 16 มกราคม 2562] ;16(2):9-23. เข้าถึงได้จาก: dental2.anamai.moph.go.th/download/Journal/v16no2_1.pdf.
 16. พรทิพย์ ใจจง. ปัจจัยเสี่ยงของกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนบนในผู้ประกอบอาชีพกรีดยางพารา. ชลบุรี: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา; 2557.

การค้นหากฎความสัมพันธ์ข้อมูลชนิดใหม่เพื่อพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์

The Search of Data Association Rules of New Undergraduate Students to Develop the Online Curricular Public Relations System

อนันต์ ปิณะเต¹

Anan Pinate¹

Received: 17 October 2018 ; Revised : 11 December 2018 ; Accepted: 14 January 2019

บทคัดย่อ

การรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในแต่ละปีการศึกษาจะมีผู้สนใจเข้าศึกษาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการประชาสัมพันธ์ข้อมูลหลักสูตรเพื่อให้ผู้ที่สนใจเข้าศึกษาได้ศึกษารายละเอียดการคัดเลือกจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก จากปัญหาด้านการประชาสัมพันธ์หลักสูตร คือปัญหาเอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตร (แผ่นพับประชาสัมพันธ์) ที่ไม่เพียงพอกับผู้สนใจเข้าศึกษาซึ่งมีจำนวนมาก ด้วยงบประมาณการผลิตเอกสารประชาสัมพันธ์ของคณะมีจำกัด จึงไม่สามารถจ้างผลิตเอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตรได้เพียงพอในแต่ละปีการศึกษา งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) โดยการหารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูลด้านสารสนเทศการรายงานตัวนิสิตใหม่ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าในการทดลอง และนำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ จากการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้นักเรียนสนใจเลือกเรียนในสาขาวิชามากที่สุด คือปัจจัยรายได้ของบิดาและมารดาารวมกันต่อปี, ปัจจัยอาชีพของบิดา, ปัจจัยอาชีพของมารดา, และปัจจัยสาเหตุที่เข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตามลำดับ และผู้วิจัยสามารถนำรูปแบบที่เกิดขึ้นมาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ได้

คำสำคัญ : กฎความสัมพันธ์ การประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์

Abstract

In each year, there are many students who are interested in the selection recruitment to study for a bachelor degree of Mahasarakham University. Thus, information about the curriculum is essential for those who require more admission details. A problem of curricular public relations is the numbers of documents (public relations brochures) for promoting the curriculum to a large number of students applying for the university was limited, but the production level of documents was too low and inadequate for promoting the curriculum in each year. This research has shown by use of Association Rules technique by searching for the model from the information data of new undergraduate students' enrollment which was the data input in the experiment and getting the acquired model to be improved as the online curricular public relations model. The research found that the most effective factors for students in selecting the fields of study were parents' annual income, the parents' occupations, and the cause factor to study in Mahasarakham university subsequently. The researcher also managed to use the improved model as the online curricular public relations system.

Keywords : Association Rule, Online Curricular Public Relations

¹ นักวิชาการคอมพิวเตอร์ชำนาญการ กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Computer Technical Officer Professional Level, Division of Academic Affair, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm 44150 Thailand.

บทนำ

กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีพันธกิจในการประชาสัมพันธ์และแนวทางการศึกษาต่อ และรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี จากประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่องนโยบายการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (Thai University Central Admission System : TCAS)¹ ซึ่งจะดำเนินการในปีการศึกษา 2561 เป็นต้นไป หลักการสำคัญของ TCAS คือ นักเรียนควรอยู่ในห้องเรียนจนจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6, ผู้สมัครแต่ละคนมีเพียง 1 สิทธิในการตอบรับในสาขาวิชาที่เลือกเพื่อความเสมอภาคและสถาบันอุดมศึกษาทุกแห่งที่สังกัดกระทรวงศึกษาจะต้องเข้าระบบ Clearing House เพื่อบริหาร 1 สิทธิของผู้สมัคร จากนโยบายการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ การประชาสัมพันธ์และแนวหลักสูตรที่เปิดสอนในมหาวิทยาลัยจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้นักเรียนที่สนใจเข้าศึกษาได้ทราบข้อมูลและต้องการที่จะศึกษาในมหาวิทยาลัย กองบริการการศึกษา ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการประชาสัมพันธ์และแนวทางการศึกษา รวมถึงการรับสมัคร การคัดเลือกบุคคลที่สนใจที่จะเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีให้มีคุณสมบัติตรงตามที่สาขาวิชากำหนด²

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่สำคัญโดยการใช้เทคนิคกฎความสัมพันธ์ (Association Rule) ซึ่งเป็นการหารูปแบบที่เกิดขึ้นเพื่อนำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์และแนวข้อมูลหลักสูตรออนไลน์ ผู้วิจัยต้องการทราบข้อมูลรูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูลด้านสารสนเทศจากข้อมูลประวัติการรายงานตัวนิสิตใหม่ จากข้อมูลการประชาสัมพันธ์และแนวทางการศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีหลักสูตรที่เปิดรับสมัครทั้งหมด 86 หลักสูตร 20 คณะ จากข้อมูลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินิยมขั้นพื้นฐาน O-NET ระดับช่วงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 (ม.6) ปีการศึกษา 2559 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนนักเรียนทั้งหมด 129,718 คน³ ดังนั้นหลักสูตรที่มหาวิทยาลัยมหาสารคามเปิดรับในแต่ละปีการศึกษามีจำนวนมาก และจำนวนนักเรียนที่มากในแต่ละปีการศึกษาทำให้เอกสารแนะนำหลักสูตร (แผ่นพับประชาสัมพันธ์) ก็มีจำนวนมากเช่นเดียวกัน การประชาสัมพันธ์ในแต่ละปีการศึกษาต้องใช้เอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตรเป็นจำนวนมากซึ่งต้องให้เพียงพอกับนักเรียนที่สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทำให้แต่ละหลักสูตรต้องใช้เงินงบประมาณในการจัดทำเอกสารประชาสัมพันธ์เป็นจำนวนมากในแต่ละปีการศึกษา และจากหลักสูตรที่มีมากทำให้นักเรียนหนึ่งคนก็จะได้รับเอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตรเป็นจำนวนมาก แต่บางครั้งนักเรียนที่ได้รับเอกสารประชาสัมพันธ์อาจจะ

ไม่ได้สนใจในบางหลักสูตร ทำให้นักเรียนไม่สนใจที่จะศึกษาข้อมูลในเอกสารและบางครั้งนักเรียนก็จะทิ้งเอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตรเหล่านั้น ทำให้บางครั้งการออกประชาสัมพันธ์และแนวของมหาวิทยาลัยไม่มีเอกสารประชาสัมพันธ์หลักสูตรเพียงพอกับนักเรียนที่สนใจ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการนำเทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูลด้านสารสนเทศซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการรายงานตัวนิสิตใหม่⁴ มาใช้เป็นข้อมูลทดลอง เพื่อหารูปแบบ (Model) และนำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์และแนวข้อมูลหลักสูตรออนไลน์ เพื่อช่วยในการประชาสัมพันธ์และนำหลักสูตรที่จะสามารถลดเอกสารประชาสัมพันธ์และนำหลักสูตร รวมถึงเงินงบประมาณที่ใช้ในการผลิตเอกสารประชาสัมพันธ์ของหลักสูตร และที่สำคัญของการประชาสัมพันธ์ คือนักเรียนที่สนใจเข้าศึกษาสามารถเข้าถึงรายละเอียดข้อมูลการประชาสัมพันธ์หลักสูตรได้สะดวก รวดเร็ว และทั่วถึงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

วัตถุประสงค์

เพื่อค้นหารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูลการรายงานตัวนิสิตใหม่ด้านข้อมูลสารสนเทศโดยใช้เทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) และนำผลการทดลองที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์และแนวหลักสูตรออนไลน์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในการค้นหากฎความสัมพันธ์ข้อมูลนิสิตใหม่ เพื่อพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ ประกอบไปด้วย การทำเหมืองข้อมูล และเทคนิคกฎความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การทำเหมืองข้อมูล

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) วิธีการทางสถิติ (Statistical Methods) วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือวิธีอื่นๆ โดยจุดประสงค์ของการทำเหมืองข้อมูล คือการวิเคราะห์หาแนวโน้ม หาความสัมพันธ์ หากฎหรือการหารูปแบบของข้อมูล ซึ่งเป็นความรู้ที่ถูกซ่อนอยู่ภายใต้ข้อมูลขนาดใหญ่ เหมืองข้อมูลถือเป็นส่วนหนึ่งของการค้นหาข้อมูลความรู้ในฐานข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการค้นหาข้อมูลแล้วแปลงข้อมูลที่ได้ให้เป็นสารสนเทศ (Knowledge discovery in databases : KDD)^{5,6}

การทำเหมืองข้อมูล เปรียบเสมือนวิวัฒนาการหนึ่งในการจัดเก็บข้อมูลและตีความหมายข้อมูล จากเดิมที่มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างง่าย ๆ มาสู่การจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลที่สามารถดึงข้อมูลสารสนเทศมาใช้ จนถึงการทำเหมืองข้อมูลที่สามารถค้นพบความรู้ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตั้งรูปแบบแนวโน้มและกฎเกณฑ์จากข้อมูลที่มี เพื่อนำมาประเมินกลยุทธ์การทำงานของหน่วยงาน และปรับปรุงความได้เปรียบในการแข่งขันซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้มากในงานด้านการตลาด⁶ เช่น การรักษาลูกค้า หรือการป้องกันภัยจากการโกง โดยการทำความเข้าใจข้อมูลสามารถช่วยชี้แนวทางการตัดสินใจและคาดการณ์ผลลัพธ์ให้แก่ผู้ใช้ สามารถค้นหารูปแบบของข้อมูลที่ซ่อนอยู่ในเอกสาร รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและยังทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้รวดเร็วขึ้นอีกด้วย

2. ความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์ (Association)⁷ โดยหลักการทำงาน คือการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลภายในกลุ่มข้อมูลเพื่อใช้ลักษณะของข้อมูลหนึ่งในการบอกถึงลักษณะที่จะเกิดขึ้นกับอีกตัวหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน ตัวอย่างเช่น การระบุว่าในกลุ่มของนักเรียนที่สมัครเรียนสาขาวิชาพยาบาลศาสตร์แล้วจะเป็นเพศหญิงนั้นมีโอกาสเกิดขึ้นร่วมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาความสัมพันธ์นั้นสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สนับสนุนหรือพัฒนางานที่เกี่ยวข้องกับฐานข้อมูลนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับคือการค้นหากฎความสัมพันธ์ที่ปรากฏข้อมูลร่วมกันบ่อย

การค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลในฐานข้อมูลได้พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยนักวิจัยจากศูนย์วิจัย IBM (International Business Machines Corporation) ประเทศสหรัฐอเมริกา มีจุดประสงค์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ที่น่าสนใจซึ่งซ่อนอยู่ในข้อมูลการซื้อสินค้าของลูกค้าว่าจะซื้อสินค้าใดบ้างร่วมกันในตะกร้ารถเข็นในห้างสรรพสินค้า (Market Basket Analysis)⁷ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการซื้อสินค้าของลูกค้า เช่นเมื่อลูกค้าซื้อนมแล้วจะซื้อขนมปังด้วย การค้นหากฎความสัมพันธ์มีขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการค้นหากฎความสัมพันธ์ที่ปรากฏร่วมกันบ่อยซึ่งจะมีขั้นตอนกระบวนการการทำงานนานที่สุด ดังนั้นในการเลือกขั้นตอนวิธีในการค้นหากฎความสัมพันธ์จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล เพื่อให้ลดระยะเวลา และเนื้อที่หน่วยความจำในการประมวลผลการทำงาน กระบวนการค้นหากฎความสัมพันธ์⁸ มีขั้นตอนการค้นหากฎความสัมพันธ์ที่ปรากฏร่วมกันบ่อยทั้งหมดกลุ่มข้อมูลเหล่านั้นจะต้องมีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับ

ค่าสนับสนุนขั้นต่ำที่ผู้ใช้กำหนดจึงจะถือว่าเป็นกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อย และขั้นตอนการนำกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏบ่อยมาสร้างกฎความสัมพันธ์ซึ่งกฎความสัมพันธ์จะเป็นที่ยอมรับได้หากตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของกฎนั้นมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำที่ผู้ใช้กำหนด

3. อัลกอริธึมเอพริออรี

อัลกอริธึมเอพริออรี (Apriori Algorithm)⁹ คิดค้นโดย Apriori ในปี ค.ศ. 1993 เป็นอัลกอริธึมที่นิยมใช้ในการสร้างกฎความสัมพันธ์ โดยอัลกอริธึมเอพริออรีเป็นอัลกอริธึมดั้งเดิมที่ใช้หาพรีควอนท์ไอเทมเซต (Frequent itemset) การทำงานอัลกอริธึมเอพริออรี มีขั้นตอนการทำงาน⁹ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านชั้นข้อมูลจากฐานข้อมูลครั้งแรก เพื่อบันทึกค่าความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูลที่ปรากฏทั้งหมดในฐานข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบค่าความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูล เพื่อบันทึกค่าสนับสนุนโดยหากชั้นข้อมูลนั้นๆ มีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนขั้นต่ำก็จะถือว่าเป็นกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยที่มีขนาดของชั้นข้อมูล 1 ชั้นข้อมูล L_1 : Frequent1 – itemsets

ขั้นตอนที่ 3 นำ L_1 ที่ได้มาสร้างกลุ่มข้อมูลทำซึ่งที่มีขนาดชั้นข้อมูล 2 ชั้นข้อมูล C_2 : Candidate2 – itemsets

ขั้นตอนที่ 4 อ่านชั้นข้อมูลจากฐานข้อมูลอีกครั้งเพื่อบันทึกค่าความถี่ของ C_2 และตัด C_2 ที่มีค่าสนับสนุนน้อยกว่าค่าสนับสนุนขั้นต่ำหาก C_2 มีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนขั้นต่ำก็จะเป็น L_2

ขั้นตอนที่ 5 ทำในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ซ้ำจนกว่าไม่สามารถสร้าง C_k จาก L_{k-1} ได้เมื่อ k คือขนาดของชั้นข้อมูลจึงทำการสิ้นสุดการสร้างกลุ่มข้อมูลทำซึ่งและจบการทำงานทำให้ได้กลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยทั้งหมด

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการรายงานตัวเข้าศึกษาของนิสิตใหม่ ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตั้งแต่ปีการศึกษา 2558 ถึง 2560 จำนวน 33,066 คน โดยได้ใช้เทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) อัลกอริธึมเอพริออรี (Apriori Algorithm) เพื่อวิเคราะห์การเลือกเรียนในสาขาวิชาของนิสิตซึ่งได้จากการกรอกแบบสำรวจข้อมูลด้านสารสนเทศออนไลน์ สามารถนำผลการทดลองที่ได้เพื่อหารูปแบบ (Model) กฎการตัดสินใจ (Decision Rule) ที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์แนะนำหลักสูตรออนไลน์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้รับข้อมูลและ

เอกสารการประชาสัมพันธ์หลักสูตรของแต่ละสาขาวิชาเพื่อให้ตรงตามพฤติกรรมของผู้สนใจเข้าศึกษาผ่านเว็บไซต์ งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานและกรอบแนวคิดการวิจัยโดยมีรายละเอียดดัง Figure 1

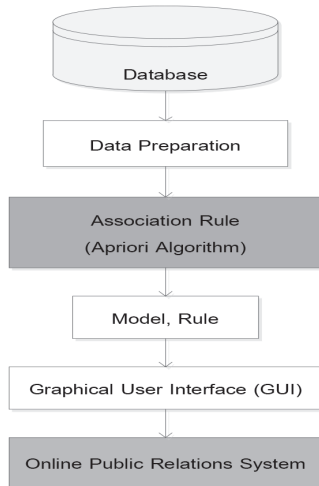


Figure 1 Conceptual framework

จาก Figure 1 คือกรอบแนวคิดและขั้นตอนการทำวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนฐานข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ คือข้อมูลจากฐานข้อมูล (Database) ระบบการขึ้นทะเบียนนิสิตใหม่ซึ่งข้อมูลจากการกรอกแบบรายงานตัวออนไลน์ โดยเป็นข้อมูลด้านสารสนเทศของนิสิตใหม่ระดับปริญญาตรี จากกองทะเบียนและประมวลผลมีข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ข้อมูลปัจจัย เพศ, สถานภาพการสมรสของบิดามารดา, เป็นบุตรคนที่, การอุปการะด้านการเงินระหว่างเรียน, ค่าใช้จ่ายระหว่างศึกษา, อาชีพบิดา, อาชีพมารดา, รายได้บิดา, รายได้มารดา, สถานภาพบิดา, สถานภาพมารดา, จำนวนพี่น้อง, เป็นบุตรคนที่, สาเหตุที่เข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตัวอย่างข้อมูลสารสนเทศนิสิตใหม่จากเว็บไซต์ดัง Figure 2

Figure 2 Students Report Online

2. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

หลังจากได้ข้อมูลจากฐานข้อมูล ขั้นตอนต่อไปคือการเตรียมข้อมูล (Data Preparation) โดยการแปลงข้อมูล (Data Transformation) เพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมสำหรับการประมวลผล โดยข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลการรายงานตัวนิสิตใหม่ออนไลน์ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยด้านต่างๆ ซึ่งต้องทำการแทนค่าข้อมูลให้กับปัจจัยนั้นๆ และรายละเอียดข้อมูลปัจจัย ตัวอย่างข้อมูลที่ไดจากการรายงานตัวนิสิตใหม่ออนไลน์และการแทนค่าข้อมูล มีรายละเอียดดัง Figure 3

การแทนค่าข้อมูล

ปัจจัย	รายละเอียด	การแทนค่า
รายได้บิดา (Father Income)	น้อยกว่า 150,000 บาทต่อปี	Father income1
	150001 ถึง 300,000 บาทต่อปี	Father income2
	มากกว่า 300,000 บาทต่อปี	Father income3
สถานภาพบิดา (Father status)	มีชีวิตอยู่	Father status1
	ถึงแก่กรรม	Father status2
สาเหตุเลือกศึกษา	มีสาขาวิชาหลากหลาย	Causes 1
ในมหาวิทยาลัย	ใกล้บ้านจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย	Causes2
มหาสารคาม (Causes of MSU)	ค่าธรรมเนียมการศึกษาเหมาะสม	Causes3
	เป็นสถานศึกษาที่มีชื่อเสียง	Causes4

ข้อมูลการรายงานตัวนิสิตใหม่ออนไลน์

23 . สาเหตุที่เข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เนื่องจาก	ใกล้บ้านจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย
31 . สถานภาพของบิดา	มีชีวิต
32 . รายได้บิดา	< 150,000 บาทต่อปี
33 . สถานภาพของมารดา	มีชีวิต
34 . รายได้มารดา	< 150,000 บาทต่อปี

Figure 3 Substitution factor

จาก Figure 3 แสดงการแทนค่าข้อมูลให้กับข้อมูลปัจจัย และรายละเอียดข้อมูลปัจจัย จากภาพตัวอย่างผู้วิจัยได้แทนค่าข้อมูล ปัจจัยเพศ (Sex) มีรายละเอียดปัจจัย คือ เพศชาย แทนค่า (Male) เพศหญิง แทนค่า (Female) ปัจจัยรายได้บิดา (F_ Income) มีรายละเอียดปัจจัย คือรายได้น้อยกว่า 150,000 บาทต่อปี แทนค่าด้วย (FI1) รายได้ 150,001 ถึง 300,000 บาทต่อปี แทนค่าด้วย (FI2) รายได้มากกว่า 300,001 บาทต่อปี แทนค่าด้วย (FI3) และปัจจัยสาเหตุที่เลือกศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (Causes) มีรายละเอียดปัจจัย คือมีสาขาวิชาหลากหลายสามารถเลือกเรียนได้ตรงกับความต้องการ แทนค่าด้วย (CA1) ใกล้บ้านจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย แทนค่าด้วย (CA2) ค่าธรรมเนียมการศึกษาเหมาะสม แทนค่าด้วย (CA3) เป็นสถานศึกษาที่มีชื่อเสียง แทนค่าด้วย (CA4) การแทนค่าข้อมูลในแต่ละปัจจัย และรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง มีรายละเอียดดัง Table1

Table 1 Variable sample

Sex	F_Income	M_Income	P_Income	Causes	C_Father	C_Mother	Faculty
Female	F13	MI1	PI3	CA2	CF1	CM1	FAC_01
Male	F13	MI3	PI5	CA2	CF1	CM2	FAC_01
Male	F12	MI2	PI6	CA4	CF6	CM4	FAC_09
Female	F13	MI1	PI3	CA1	CF2	CM5	FAC_10
Female	F11	MI2	PI2	CA5	CF3	CM3	FAC_20
Female	F13	MI3	PI3	CA2	CF4	CM8	FAC_12
Male	F13	MI2	PI1	CA3	CF3	CM2	FAC_11
Female	F11	MI1	PI2	CA4	CF2	CM3	FAC_04
Female	F11	MI2	PI3	CA2	CF1	CM5	FAC_16
Male	F11	MI3	PI3	CA1	CF3	CM4	FAC_04
Female	F12	MI2	PI3	CA3	CF4	CM1	FAC_13
Female	F13	MI2	PI3	CA1	CF2	CM4	FAC_10
...

3. ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลที่ได้จากการเตรียมข้อมูลแล้ว ขั้นตอนการทดลองโดยจะใช้เทคนิควิธีการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) อัลกอริทึมเอพริออรี (Apriori Algorithm) ไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ข้อความ (.CSV) โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรม R เป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โปรแกรม R เป็น Open Source Software ผู้เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมนี้คือ Robert Gentleman และ Ross Ihaka จากภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยไอคแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์ ปี ค.ศ. 1997^{10,11}

การค้นหากฎความสัมพันธ์จากข้อมูลชนิดใหม่ เพื่อหารูปแบบที่จะนำไปพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ โดยใช้อัลกอริทึมเอพริออรี (Apriori Algorithm) ซึ่งการกำหนด Itemset โดยนำปัจจัยที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์กำหนดในแต่ละชุดอาจมีปัจจัย 3 ปัจจัยหรือมากกว่านั้น เช่นสาเหตุที่เลือกศึกษาในมหาวิทยาลัย, รายได้บิดา, รายได้มารดา จากนั้นสร้างรายการชุดข้อมูลที่ปรากฏบ่อย (Frequent Itemset) โดยชุดข้อมูลที่มีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนที่น้อยที่สุดทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่สามารถหาได้อีกการหา Frequent Itemset จะกระทำวนซ้ำจนกว่าจะไม่สามารถหา Frequent itemset ของขนาดข้อมูลที่ใช้ในการทำเหมืองข้อมูลได้

4. ขั้นตอนการสร้างกฎ

การสร้างกฎหรือรูปแบบที่ได้จากการทดลองซึ่งกฎที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ของปัจจัยในการเลือกสาขาวิชา

การสร้างกฎความสัมพันธ์ซึ่งอยู่ในรูปของกฎ “ถ้า...แล้ว...” (IF...Then...) โดยแต่ละกฎจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนด้านซ้ายของกฎ “ส่วนถ้า” ส่วนด้านขวาของกฎ “ส่วนแล้ว” ส่วนซ้ายของกฎอาจมีเงื่อนไขมากกว่าหนึ่งเงื่อนไขที่เป็นจริงที่จะทำให้ส่วนด้านขวาของกฎเป็นจริง เช่น “ถ้า A แล้ว B” ใช้สัญลักษณ์แทน “A -> B” หากเกิด A แล้วจะเกิด B ด้วยโดยกฎดังกล่าวจะเป็นตัวแบบเพื่อค้นหารูปแบบของข้อมูลการเลือกสาขาวิชาเพื่อเป็นข้อมูลต้นแบบในการพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ กฎความสัมพันธ์สามารถวัดความแม่นยำของกฎด้วยค่าสนับสนุน (Support value) ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นในการเกิดข้อมูลทั้งสองรายการ การหาค่าความเชื่อมั่น (Confidence) เป็นการหาค่าความน่าจะเป็นเมื่อเกิดข้อมูล A แล้วโอกาสที่จะเกิดข้อมูล B มากน้อยเพียงใด และการหาค่าความสอดคล้อง (Lift) เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความน่าสนใจหรือตรวจสอบความเกี่ยวข้องในกฎความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นหากเกิดเหตุการณ์หนึ่ง แล้วเกิดเหตุการณ์หนึ่งควบคู่กันมีมากเพียงใด

การหาค่าสนับสนุน $A \rightarrow B$ โดย A แทนรายการข้อมูลแรกและ B แทนรายการข้อมูลที่เกิดร่วมกัน¹²

$$support(A \rightarrow B) = P(A \cap B) \tag{1}$$

การหาค่าความเชื่อมั่น $A \rightarrow B$ โดย A แทนรายการข้อมูล A และ B แทนรายการข้อมูลที่จะเกิดถัดไปหลังจากที่ทราบค่าสนับสนุนแล้ว

$$Confidence(A \rightarrow B) = P(A | B) \tag{2}$$

การหาค่าความสอดคล้องของกฎความสัมพันธ์ของ A และ B

$$Lift(A \rightarrow B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A) \cdot P(B)} \quad (3)$$

โดยที่

$P(A)$ คือ สัดส่วนจำนวนรายการข้อมูล A ต่อทรานแซกชันทั้งหมด

$P(B)$ คือ สัดส่วนจำนวนรายการข้อมูล B ต่อทรานแซกชันทั้งหมด

5. ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบโดยการนำผลการทดลองมาพัฒนาเป็นโปรแกรม (Graphical User Interface : GUI) การพัฒนาระบบการประชาสัมพันธ์แนะนำหลักสูตรออนไลน์ ซึ่งระบบสามารถใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ การเขียนชุดคำสั่งโปรแกรมผู้วิจัยได้เขียนชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา PHP เนื่องจากเป็นภาษาที่สามารถเข้าใจง่าย และเป็นภาษาที่มีประสิทธิภาพสามารถประมวลผลได้ทุกระบบปฏิบัติการ (Platform)¹³ ขั้นตอนการพัฒนาทั้งหมดมีทั้งหมด 5 ขั้นตอนดัง Figure 4

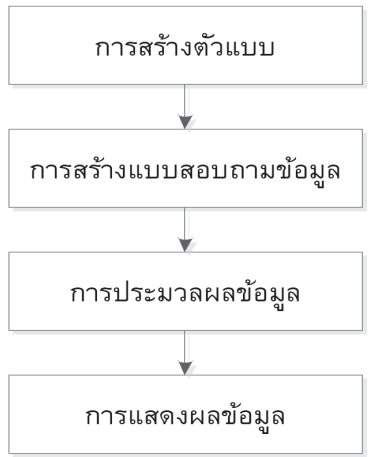


Figure 4 System Development

(1) การสร้างตัวแบบ เป็นกระบวนการสร้างระบบโดยการนำผลที่ได้จากการทดลอง การค้นหาความสัมพันธ์โดยใช้ฐานข้อมูลทะเบียนนิสิต ซึ่งเป็นข้อมูลจากรายงานตัวออนไลน์ของนิสิตใหม่ระดับปริญญาตรี ซึ่งข้อมูลตั้งแต่ปีการศึกษา 2558 – 2560 เป็นข้อมูลด้านสารสนเทศ

(2) การสร้างแบบสอบถามข้อมูล เป็นการพัฒนาระบบเพื่อให้ผู้ใช้ได้กรอกข้อมูลแบบสอบถามผ่านระบบออนไลน์ซึ่งระบบจะเป็นสามารถรับข้อมูลที่ผ่านการกรอกจากผู้ใช้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลข้อมูล

(3) การประมวลผลข้อมูล เป็นขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ประมวลผลเป็นข้อมูลจากการกรอกข้อมูลของผู้ใช้ผ่านระบบแบบสอบถามออนไลน์ ระบบจะประมวลผลข้อมูลของผู้ใช้กับรูปแบบ (Model) ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สร้างจากตัวแบบ

(4) การแสดงผลข้อมูล เป็นขั้นตอนของระบบแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่าผลที่ได้จากการกรอกข้อมูลแบบสอบถามออนไลน์เป็นอย่างไร

ผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาการทดลองข้อมูลการรายงานตัวเข้าศึกษาของนิสิตใหม่ ด้วยการใช้เทคนิคการค้นหาความสัมพันธ์ (Association Rule) อัลกอริธึมเอพริออรี (Apriori Algorithm) ด้วยโปรแกรม R และนำผลการทดลองที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์แนะนำหลักสูตรออนไลน์ ผลการทดลองพบว่าสามารถสร้างกฎความสัมพันธ์จากข้อมูลพฤติกรรมความสนใจ การเลือกเรียนในสาขาวิชาของนิสิต จากการทดลองผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นพบว่ามีความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดจำนวนกฎความสัมพันธ์จึงกำหนดค่าความเชื่อมั่นต่ำสุด และค่าสนับสนุนต่ำสุดนั้นหมายความว่า จะสนใจเฉพาะกฎความสัมพันธ์ที่มีค่าความเชื่อมั่นและค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าความเชื่อมั่นต่ำสุด และค่าสนับสนุนต่ำสุด และกำหนดว่ากฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องไม่ซ้ำกัน ดังนั้นแต่ละเงื่อนไขสามารถมีผลลัพธ์ได้เพียงเงื่อนไขเดียวเท่านั้น ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดัง Table 2

Table 2 Result data

Rule	LHS	RHS	Support	Confidence	lift
[1]	{C_Father=CF1,Causes=CA3,P_Income=PI3}	{Faculty=FAC_20}	0.001	1.000	20.000
[2]	{C_Father=CF1,Causes=CA3,P_Income=PI5}	{Faculty=FAC_01}	0.001	1.000	20.000
[3]	{C_Father=CF3,C_Mother=CM1,P_Income=PI6}	{Faculty=FAC_09}	0.002	0.980	19.600
[4]	{C_Father=CF3,C_Mother=CM1,P_Income=PI5}	{Faculty=FAC_18}	0.001	0.970	19.400
[5]	{C_Father=CF3,Causes=CA4,P_Income=PI7}	{Faculty=FAC_02}	0.001	0.970	19.400
[6]	{C_Father=CF4,C_Mother=CM3,Causes=CA4}	{Faculty=FAC_12}	0.001	0.950	19.000
[7]	{C_Mother=CM7,Causes=CA3,P_Income=PI4}	{Faculty=FAC_08}	0.001	0.950	19.000
[8]	{C_Father=CF2,C_Mother=CM5,P_Income=PI4}	{Faculty=FAC_14}	0.001	0.945	18.900
[9]	{C_Father=CF2,C_Mother=CM5,P_Income=PI5}	{Faculty=FAC_02}	0.001	0.940	18.800
[10]	{C_Father=CF2,C_Mother=CM1,P_Income=PI8}	{Faculty=FAC_17}	0.001	0.920	18.400
[11]	{C_Father=CF4,C_Mother=CM1,P_Income=PI8}	{Faculty=FAC_11}	0.001	0.910	18.200
[12]	{C_Father=CF4,Causes=CA2,P_Income=PI5}	{Faculty=FAC_15}	0.001	0.900	18.000
[13]	{C_Father=CF5,C_Mother=CM4,Causes=CA2}	{Faculty=FAC_04}	0.001	0.890	17.800
[14]	{C_Father=CF7,C_Mother=CM7,P_Income=PI3}	{Faculty=FAC_06}	0.001	0.880	17.600
[15]	{C_Mother=CM4,Causes=CA1,P_Income=PI7}	{Faculty=FAC_07}	0.001	0.860	17.200
...

จากผลการทดลอง Table 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างบางส่วนของการทดลองการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ผลการทดลองที่ได้จะประกอบด้วย กฎทางซ้าย Left Hand Side (LHS) ซึ่งเป็นกฎข้ออ้างอิง (Premise), กฎทางด้านขวา Right Hand Side (RHS) ซึ่งเป็นกฎข้อสรุป (Conclusion) และค่าสนับสนุน (Support) คือค่าที่แสดงถึงความถี่ของกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้น, ค่าความเชื่อมั่น (Confidence) คือแสดงร้อยละของ

ความเชื่อมั่นของกฎความสัมพันธ์เมื่อรูปแบบทางด้านซ้ายของกฎความสัมพันธ์ (LHS) เกิดขึ้น แล้วรูปแบบทางด้านขวาของกฎความสัมพันธ์ (RHS) จะเกิดขึ้น และค่า Lift คือค่าที่แสดงว่าการเกิด LHS และ RHS มีความสัมพันธ์ต่อกันมากเพียงใด การอธิบายกฎที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ดังตัวอย่างบางส่วนของผลการทดลอง Table 3

Table 3 Describe the result

Rule No.	Caption	Confidence
1	<i>ถ้า</i> บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพรับราชการ และ เหตุผลที่ผู้สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม คือ ค่าบำรุงการศึกษา/ค่าธรรมเนียมการศึกษาที่เหมาะสม และ รายได้ของบิดาและมารดา รวมกันต่อปีระหว่าง 100,001 – 200,000 บาท แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <i>คณะนิติศาสตร์</i>	100.00 %
2	<i>ถ้า</i> บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพรับราชการ และ เหตุผลที่ผู้สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม คือ ค่าบำรุงการศึกษา/ค่าธรรมเนียมการศึกษาที่เหมาะสม และ รายได้ของบิดาและมารดา รวมกันต่อปีระหว่าง 300,001 – 400,000 บาท แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <i>คณะแพทยศาสตร์</i>	100.00 %
3	<i>ถ้า</i> บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพพนักงานหรือลูกจ้างเอกชน และ มารดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพรับราชการ และ รายได้ของบิดาและมารดา รวมกันต่อปีระหว่าง 400,001 – 500,000 บาท แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <i>คณะวิทยาการสารสนเทศ</i>	98.00 %
4	<i>ถ้า</i> บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพพนักงานหรือลูกจ้างเอกชน และ มารดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพรับราชการ และ รายได้ของบิดาและมารดา รวมกันต่อปีระหว่าง 300,001 – 400,000 บาท แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <i>วิทยาลัยดุริยางคศิลป์</i>	97.00 %

Rule No.	Caption	Confidence
5	ถ้า บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพพนักงานหรือลูกจ้างเอกชน และ เหตุผลที่ผู้สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม คือ เลือกเป็นอันดับแรกเพราะเป็นสถาบันที่มีคุณภาพและมีชื่อเสียง และ รายได้ของบิดาและมารดารวมกันต่อปีมากกว่า 500,000 บาท แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <u>คณะเภสัชศาสตร์</u>	97.00 %
6	ถ้า บิดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพรับจ้าง และ มารดาของผู้ที่สนใจเข้าศึกษามีอาชีพพนักงานหรือลูกจ้างเอกชน และ เหตุผลที่ผู้สนใจเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม คือ เลือกเรียนเป็นอันดับแรกเพราะเป็นสถาบันที่มีคุณภาพและมีชื่อเสียง แล้ว มีโอกาสที่จะสนใจเข้าศึกษา <u>คณะการบัญชีและการจัดการ</u>	95.00 %

จากผลการทดลองด้วยการหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) ข้อมูลที่ใช้ทดลองมีทั้งหมด 20 คณะ สามารถสร้างเป็นกฎการตัดสินใจ (Decision rule) และนำกฎการตัดสินใจดังนี้

IF C_Father=CF1 AND Causes=CA3
AND P_Income=PI3 THEN Faculty=FAC_20
IF C_Father=CF1 AND Causes=CA3
AND P_Income=PI5 THEN Faculty=FAC_01
IF C_Father=CF3 AND C_Mother=CM1
AND P_Income=PI6 THEN Faculty=FAC_09
IF C_Father=CF3 AND C_Mother=CM1
AND P_Income=PI5 THEN Faculty=FAC_18
IF C_Father=CF3 AND Causes=CA4
AND P_Income=PI7 THEN Faculty=FAC_02
IF C_Father=CF4 AND C_Mother=CM3
AND Causes=CA4 THEN Faculty=FAC_12

จากระบบการประชาสัมพันธ์ข้อมูลหลักสูตรแบบเดิม โดยการประชาสัมพันธ์ผ่านเว็บไซต์ ของข้อมูลหลักสูตรของคณะต่างๆ เป็นไฟล์ Portable Document Format : PDF ซึ่งเป็นรูปเล่มระเบียบการประชาสัมพันธ์ข้อเสียของรูปแบบเดิมคือมีข้อมูลที่มากเกินไปและไม่เป็นสัดส่วนของข้อมูลหลักสูตรการประชาสัมพันธ์แบบเดิมมีรายละเอียดดัง Figure 5



Figure 5 Original System

จากผลการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรระบบใหม่ โดยการนำวิธีการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลซึ่งสามารถสร้างกฎการตัดสินใจและสามารถนำผลการทดลองที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์ ดัง Figure 6

Figure 6 Home program

หน้าระบบสำหรับผู้ใช้ออกข้อมูลสารสนเทศของผู้ใช้ เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จระบบจะประมวลผลข้อมูล และแสดงผลข้อมูลประชาสัมพันธ์คณะดัง Figure 7

ผลการค้นหา	
คณะวิศวกรรมศาสตร์	รายละเอียดหลักสูตร
คณะวิทยาการสารสนเทศ	รายละเอียดหลักสูตร
คณะวิทยาศาสตร์	รายละเอียดหลักสูตร
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รายละเอียดหลักสูตร
คณะเทคโนโลยี	รายละเอียดหลักสูตร

Figure 7 Test Result

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูล การรายงานตัวนิสิตใหม่ด้านข้อมูลสารสนเทศโดยเทคนิคการ ค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) และนำรูปแบบที่ได้จากการทดลองมาพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์แนะนำข้อมูล หลักสูตรออนไลน์ จากการนำข้อมูลด้านสารสนเทศนิสิตใหม่ ที่ รายงานทั้งหมด 20 คณะมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการทดลอง ผล การทดลองพบว่าสามารถสร้างกฎการตัดสินใจความสนใจในการ เลือกเรียนทั้งหมด 80 กฎ จากความเชื่อมั่นที่ 0.5 (Confidence 50%) และปัจจัยที่ส่งผลทำให้นักเรียนสนใจเลือกเรียน ในสาขาวิชามากที่สุด คือปัจจัยรายได้ของบิดาและมารดา รวม กันต่อปี, ปัจจัยอาชีพของบิดา, ปัจจัยอาชีพมารดา และปัจจัย สาเหตุที่เข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยตามลำดับ จากผลการ ทดลองสามารถนำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์ และแนะนำข้อมูลหลักสูตรออนไลน์ได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทดลองการหารูปแบบโดยการค้นหากฎ ความสัมพันธ์จากการข้อมูลการรายงานตัวนิสิตใหม่ จากข้อมูล ที่ได้ อาจไม่เพียงพอถึงปัจจัยต่อความสนใจของนักเรียนในการ เลือกเรียนในสาขาวิชา ปัจจุบันการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษา ในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (TCAS) อาจมีปัจจัยต่างๆ ของนักเรียนในการเลือกเรียนในสาขาวิชา เช่นปัจจัยด้านเขต พื้นที่ของโรงเรียนต่อการเลือกเรียนในมหาวิทยาลัยซึ่งการคัด เลือกระบบใหม่ได้แบ่งเขตพื้นที่การสมัครเข้าศึกษาในแต่ละ รอบการคัดเลือกหรือปัจจัยด้านคุณสมบัติของการเข้าศึกษา เช่นการคัดเลือกด้วยแฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) เป็นต้น ซึ่ง ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเลือกเรียนในสาขาวิชาต่างๆ ใน อนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำปัจจัยการรับบุคคลเข้าศึกษาใน ระดับอุดมศึกษาระบบใหม่ มาทำการทดลองเพื่อให้การ ประชาสัมพันธ์ด้านหลักสูตรของมหาวิทยาลัยมหาสารคามมี ประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุน อุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม ประจำปี 2561

เอกสารอ้างอิง

1. สมาคมที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.). ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ นโยบายการคัดเลือกบุคคล เข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่.

2. กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ระเบียบ การรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ประจำปีการศึกษา 2561.
3. สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน). ฐานข้อมูลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET).
4. กองทะเบียนและประมวลผล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ระบบขึ้นทะเบียนนิสิตใหม่.
5. ฉัตรเกล้า เจริญผล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Introduction to Data Mining 2013.
6. อนันต์ ปิณะเต, ฉัตรเกล้า เจริญผล, แกมกาญจน์ สม ประเสริฐศรี. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือกกลุ่ม สาขาวิชาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่. 33, ฉบับที่. 6, ประจำเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม 2557.
7. กฤษณะ ไวยมัย, ชิตชนก สงศิริ, ธนาวิทย์ รักธรรมานนท์. การใช้เทคนิคด้าต้าไมน์นิ่งเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์; NECTEC Technical Journal, Vol.3, No.11; 2001 July-October 2001.
8. ประมูล สุขสกาฟ่อง, พยุง มีสัง. การทำเหมืองข้อมูลกฎ ความสัมพันธ์ด้วยวิธีค่าถ่วงน้ำหนักสูงสุดจากกราฟบริบูรณ์ แบบสมมาตร; วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, ปีที่12, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2559.
9. ณัฐริดา สุวรรณโณ, อันธิกา สิงห์เอี่ยม. การหาปัจจัยที่ส่ง ผลต่อความเสี่ยงของนักศึกษาเรียนอ่อนด้วยเทคนิคกฎ ความสัมพันธ์ กรณศึกษา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; วารสารวิทยาการจัดการ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน 2554.
10. Yanchang Zhao. Association Rule Mining with R “Short Coures on R and Data Minig 2016”.
11. Eakasit Pacharawongsakda. Advanced Predictive Modeling with R & RapidMiner Studio7.
12. บุษราภรณ์ มหัทธชัย, ครรชิต มัลลียงศ์, เสมอแซ สม หอม, ณัฐยา ตันตราพันธ์. กฎความสัมพันธ์ของรายวิชา ที่มีผลต่อการพัฒนาบัณฑิตศึกษาโดยใช้อัลกอริทึมพอริโอ ริ; การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร, ครั้งที่ 3, 2559.
13. อนันต์ ปิณะเต. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสมัครในสาขาวิชาโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, ปีที่. 35, ฉบับที่. 4, ประจำเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม 2559.

การวิเคราะห์การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อเส้นทางการไหลของน้ำบริเวณโดยรอบจุดสิ้นสุดโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

An Analysis of Build-Up Growth Impacts to Water Stream Line of Motorway-6 Project End Point in Muang District of Nakhon Ratchasima Province

ปฏิวดี ฤทธิเดช,¹ สาธิต แสงประดิษฐ์,² นุชนาถ บัวศรี,² นฤเศรษฐ์ ประเสริฐศรี,² ชีรญา อุทธา²
และเบญจมาภรณ์ พุ่มหิรัญโรจน์³

Patiwat Littidej,¹ Satith Saengpradit,² Nutchanat Buasri,² Narueset Prasertsri,² Theeraya Uttha²
and Benjamabhorn Pumhirunroj³

Received: 6 August 2018 ; Revised : 23 January 2019 ; Accepted: 20 February 2019

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอันเนื่องจากการเติบโตของเมืองที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จังหวัดนครราชสีมาก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการ วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือเพื่อประเมินอัตราการเติบโตและสร้างแผนที่ของสิ่งปลูกสร้างจากข้อมูลเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพดาวเทียมระหว่าง พ.ศ.2556-2559 สำหรับทำนายการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างของปี พ.ศ.2564 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการศึกษาพบว่าถนนมอเตอร์เวย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการขยายตัวของชุมชนเมืองมากที่สุด ในขณะที่พื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มากที่สุด พื้นที่สิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเปลี่ยนเป็นการเติบโตแบบกระจายตามแนวถนนมอเตอร์เวย์มากกว่าถนนสายรอง พื้นที่สิ่งปลูกสร้างจากการจำลองส่งผลให้เส้นทางน้ำไหลในลำดับที่ 1 ถึง 2 มีความยาวนานน้อยลง และมีทิศทางไหลออกห่างจากแม่น้ำสายหลัก (ลำตะคอง) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบปัญหาเรื่องความถูกต้องในการคาดการณ์รูปแบบการขยายตัวจากการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งพบว่ามีความถูกต้องในระดับปานกลาง (60 %) ภายใต้ขอบเขตหน่วยพื้นที่ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร จากการประยุกต์นี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการวางแผนจัดการชุมชนได้ในระดับหนึ่ง แต่ควรให้ความสนใจในเรื่องของค่าความถูกต้องและการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการจำลองแบบ ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองมีความเป็นไปได้ในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้าง, มอเตอร์เวย์ 6 (บางปะอิน-นครราชสีมา), แบบจำลอง CA-Markov, เส้นทางการไหลของน้ำ, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

Due to rapid growth of Nakhon Ratchasima province. Land use and Land cover change (LULC) change takes place in surrounding end point of Motorway of Nakhon Ratchasima municipality and its vicinity, various types of environmental impacts occur in the area. Main objectives of the study are to assess built-up growth rate and mapping from transition matrix of satellite image during 2013-2016. Results of the built-up growth prediction of land cover in 2021 using CA-Markov showed that Motorway road was the strongest predictor variable and the most vulnerable land

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ² ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

^{1,2} อาจารย์ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

¹ Assist. Prof., ^{1,2} Faculty of Informatics, Mahasarakham University

* Corresponding : Patiwat Littidej, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand : patiwat_noof@hotmail.com

use lost was miscellaneous. Urban and built-up areas had continuously increased while agricultural and forest had continuously decreased. Urban growth pattern was linear strip development but its pattern was changed to be a scattered development. The simulated area results in a shorter flow of water in stream order 1 to 2. The direction of the flow of water away from the main river (Lamtaklong). However, the forecast of urban growth pattern remains problematic because the model performed with a relatively moderate predictive ability (60 %) at a spatial unit of 1 km. x 1 km. This application of the CA-Markov model demonstrated an ability to address a range of local planning issue, but spatial accuracy and variable selection were among the factors that must be further considered for practical application.

Keywords: Built-Up growth, Motorway-6 (M-6 Bangpain-Nakhon Ratchasima), CA-Markov model, Stream flow, Geographic Information System (GIS)

บทนำ

จากการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้ความต้องการทางด้านสาธารณูปโภคมีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะด้านการคมนาคมขนส่ง ทำให้ทางหลวงในปัจจุบันไม่สามารถรองรับความต้องการเดินทางและขนส่งสินค้าของประชาชนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรแออัดเดินทางล่าช้าเกิดอุบัติเหตุทางถนนบ่อยครั้ง และนำไปสู่ความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างมหาศาล ด้วยสภาพเศรษฐกิจ สังคม และการพัฒนาประเทศที่เปลี่ยนไปจากเดิม โดยให้ความสำคัญของการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง เพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการเดินทางและขนส่งสินค้าภายในประเทศ เชื่อมโยงเข้ากับระบบขนส่งทั้งทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ ซึ่งส่งเสริมบทบาทของประเทศไทยในการเป็นศูนย์กลางด้านการคมนาคมขนส่งและโลจิสติกส์ของภูมิภาค ซึ่งจะเห็นได้จาก การที่รัฐบาลได้ผลักดันให้มีการดำเนินการอนุมัติการลงทุนโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) 3 สาย ได้แก่ 1. สายบางปะอิน-สระบุรี-นครราชสีมา ระยะทาง 196 กม. 2. สายบางใหญ่-กาญจนบุรี 96 กม. 3. สายพญา-มาบตาพุด 32 กม. ซึ่งจากโครงการดังกล่าว ทำให้มีการเข้ามาซื้อที่ดินของกลุ่มนายทุนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ตามแนวโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างไร้ทิศทาง และทำให้เกิดการใช้พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกรณีตัวอย่างบริเวณทางหลวงพิเศษหมายเลข 6 สายบางปะอิน-นครราชสีมา ซึ่งเป็นทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายที่สามของประเทศไทย และมีเศรษฐกิจใกล้เคียงกับโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองที่ได้รับการอนุมัติในข้างต้น เมื่อมีการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและสิ่งปกคลุมดิน

บางครั้งมีการเติบโตที่ผิดรูปไปขวางเส้นทางการระบายน้ำ ในการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะสร้างแบบจำลองทำนายอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดทางหลวงพิเศษหมายเลข 6 และถนนเลี้ยวเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา ปัจจุบันมีการวิจัยด้านการทำนายการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการศึกษามากมายต่อเนื่องและมีการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่ออธิบายรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างรอบชุมชนเมืองที่มีความซับซ้อน ทั้งนี้^{1,2} ได้กล่าวว่าการจำลองแบบคือกระบวนการทำซ้ำรูปแบบจากการสังเกตภายใต้ตัวแปรที่ทราบค่า (Known Factors) เพื่อคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคต โดยที่³ พบว่าขั้นตอนของการกำหนดเงื่อนไข (Transition Rules) มีความสำคัญมากที่สุดในการคำนวณการสร้างแบบจำลอง โดยที่⁴ สรุปว่าขั้นตอนของการคาดการณ์แนวโน้มโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนของการสร้างมาตรวัด (Calibration) โดยศึกษาและจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลัง และ 2) ขั้นตอนของการคาดการณ์แนวโน้ม (Prediction) ทั้งนี้ในปัจจุบัน แบบจำลองมีพัฒนาการที่รวดเร็วและได้กลายเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจที่สำคัญ ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากพัฒนาการด้านข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่นข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่มีความสามารถสูง ส่งผลให้แบบจำลองการขยายตัวของชุมชนเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์และวางแผนเพื่อแก้ปัญหาเชิงพื้นที่⁴ จำแนกข้อมูลพื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM เพื่อจำลองแบบการขยายตัวของเมือง⁵ ประยุกต์ทฤษฎี Cellular Automata (CA) ในแบบจำลองการขยายตัวของเมืองภายใต้หลักการพื้นฐานการวิเคราะห์แบบตารางกริดซึ่งได้จากการจำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM² วิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่เมืองย้อนหลังจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาขีดจำกัดการขยายตัวของพื้นที่เมืองที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ด้วยการคำนวณ

Pixel ภาพด้วย Kernel 3×3 ยังได้จำแนกข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎี Cellular Automaton (CA) โดยวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎีทางสถิติแบบ Stochastic เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่จากการวิเคราะห์ Pixel รอบข้างที่มีผลต่อ Pixel กลาง⁶ ศึกษาวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณห้วยหินลาด จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลาผนวกกับแบบจำลอง Markov Chain Model เพื่อศึกษาถึงวิวัฒนาการการใช้ที่ดิน 5 ประเภทหลัก และมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับจังหวัดนครราชสีมาคือมีถนนสายหลักตัดผ่าน^{7,8} ได้ใช้แบบจำลอง Markov Chain Model ศึกษาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วัง เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมปี พ.ศ. 2538 ปี พ.ศ. 2543 และปี พ.ศ. 2545 เพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดินในอีก 8 ปีข้างหน้าด้วยแบบจำลอง Markov Chain Model เพื่อใช้วางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม

ในการวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหวังเพื่อศึกษาทั้งอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและจำลองการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่สองข้างทางตามแนวถนนที่ใช้วิจัยเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำไหล โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ซึ่งเป็นแบบจำลองทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และข้อมูลพื้นฐานที่สกัดได้จากภาพถ่ายดาวเทียม พ.ศ. 2556-2559 ซึ่งเป็นช่วงปีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีรูปแบบขยายตัวไปตามแนวถนนเชื่อมต่อสายย่อย การวิจัยนี้จะมีส่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการนำไปกำหนดอัตราการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณโดยรอบมอเตอร์เวย์ เพื่อใช้วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตและจัดการทรัพยากรที่ดินให้สอดคล้องกับศักยภาพของที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มรอบกำหนดซ้ำ (Iterations) ที่เหมาะสมสำหรับใช้กำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง CA-Markov ที่ใช้กับพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา
- 2) เพื่อหาอัตราการเติบโตและสร้างแผนที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้างของพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา
- 3) เพื่อวิเคราะห์ผลการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อลักษณะเส้นทางน้ำไหลของน้ำ

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ ๆ มีสิ่งปกคลุมใกล้เคียงกันและมีปัจจัยขับเคลื่อน (Driving force) เหมือนกัน ในการวิจัยนี้ใช้การนำภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ เมืองนครราชสีมา ขนาดความกว้าง 1,000 เมตร และความยาว 13 กิโลเมตร ตามแนวจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ดังแสดงใน Figure 1-2 มาสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงและรอบกำหนดซ้ำที่เหมาะสม จะได้ผลเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์การวนรอบซ้ำและจำนวนช่วงภาพที่เหมาะสมที่จะใช้แบบจำลอง CA-Markov มาทำนายการอัตราการเติบโตสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ จังหวัดนครราชสีมาหรือที่คนส่วนใหญ่จะเรียกว่าโคราช (Korat) และจะเป็นการวิเคราะห์แนวโน้มการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเส้นทางน้ำไหลของน้ำในขั้นตอนสุดท้ายโดยรายละเอียดของการทำงานทั้งหมดแสดงรายละเอียดดัง Figure 3 โดยมีพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ตั้งอยู่ใน ต.ปรุใหญ่ มีเขตพื้นที่ติดต่อกับตำบลข้างเคียง ดังนี้ ทิศเหนือติดกับ ต.พุดซา และ เทศบาลนครนครราชสีมา, ทิศใต้ ติดกับ เทศบาลนครนครราชสีมา ต.หนองจะบก, ทิศตะวันออก ติดกับ ต.หนองจะบก, ทิศตะวันตก ติดกับ ต.พลกรัง, ต.บ้านใหม่ และ ต.สุรนารี ขนาดของความยาวถนนที่ใช้ในงานวิจัย มีความยาว 15.68 กิโลเมตร ระยะกั้นชนมีขนาด 500 เมตร ออกจากเส้นทางถนน โดยมีพื้นที่ศึกษารวม ทั้งหมด 15.62 ตารางกิโลเมตร (ตร.กม.)

ขั้นตอนการวิจัยหลักคือการจำลองการขยายตัวของประเภทการใช้ที่ดินของสิ่งปลูกสร้าง เพราะว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นทางน้ำไหล การศึกษานี้ทำการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ พื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างทุกประเภท รวมทั้งย่านการค้า ที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการและเส้นทางคมนาคม 2) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ได้แก่ พื้นที่โล่ง พื้นที่ถม เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ เช่นพื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน เป็นต้น 3) พื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้น 4) พื้นที่ป่าไม้ และทำการจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) จากการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเพิ่มความสูงของพื้นที่ ๆ มีการเปลี่ยนแปลงจากคลาสนั้น ๆ มาเป็นสิ่งปลูกสร้างจะทำการจำลองเพิ่มระดับความสูงเชิงพื้นที่ของคลาสนั้น ๆ เพิ่มขึ้นจากระดับความสูงเดิมเป็น 2 เมตร การศึกษานี้จะสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับวิเคราะห์การเป็นเส้นทางน้ำในพื้นที่อื่น ๆ ได้

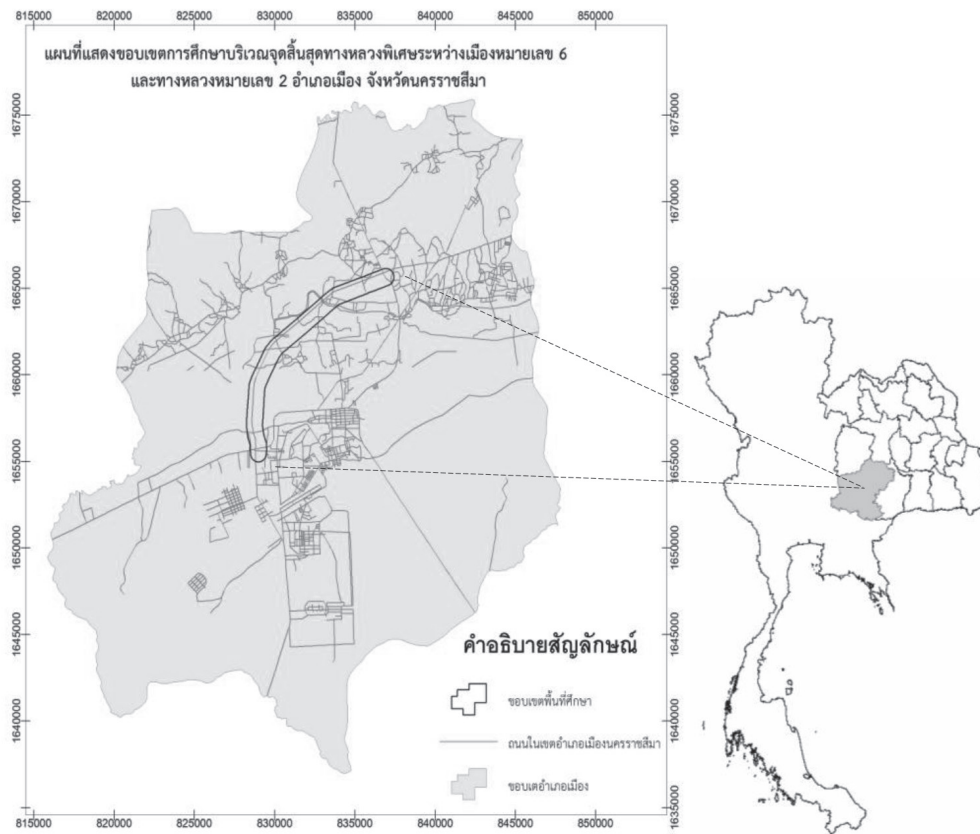


Figure 1 the extent of study area in Muang district of Nakhon Ratchasima province

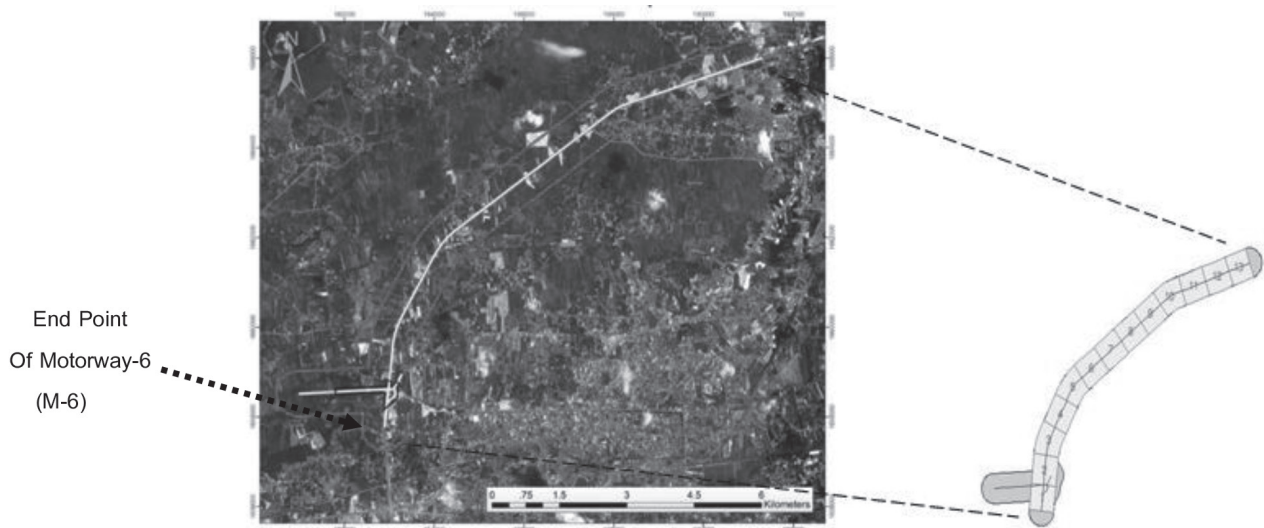


Figure 2 end point of Motorway-6 connected by by-pass road (road no.2 or Mittrapap road) and covered with 13 polygons of spatial unit for built-up growth simulation

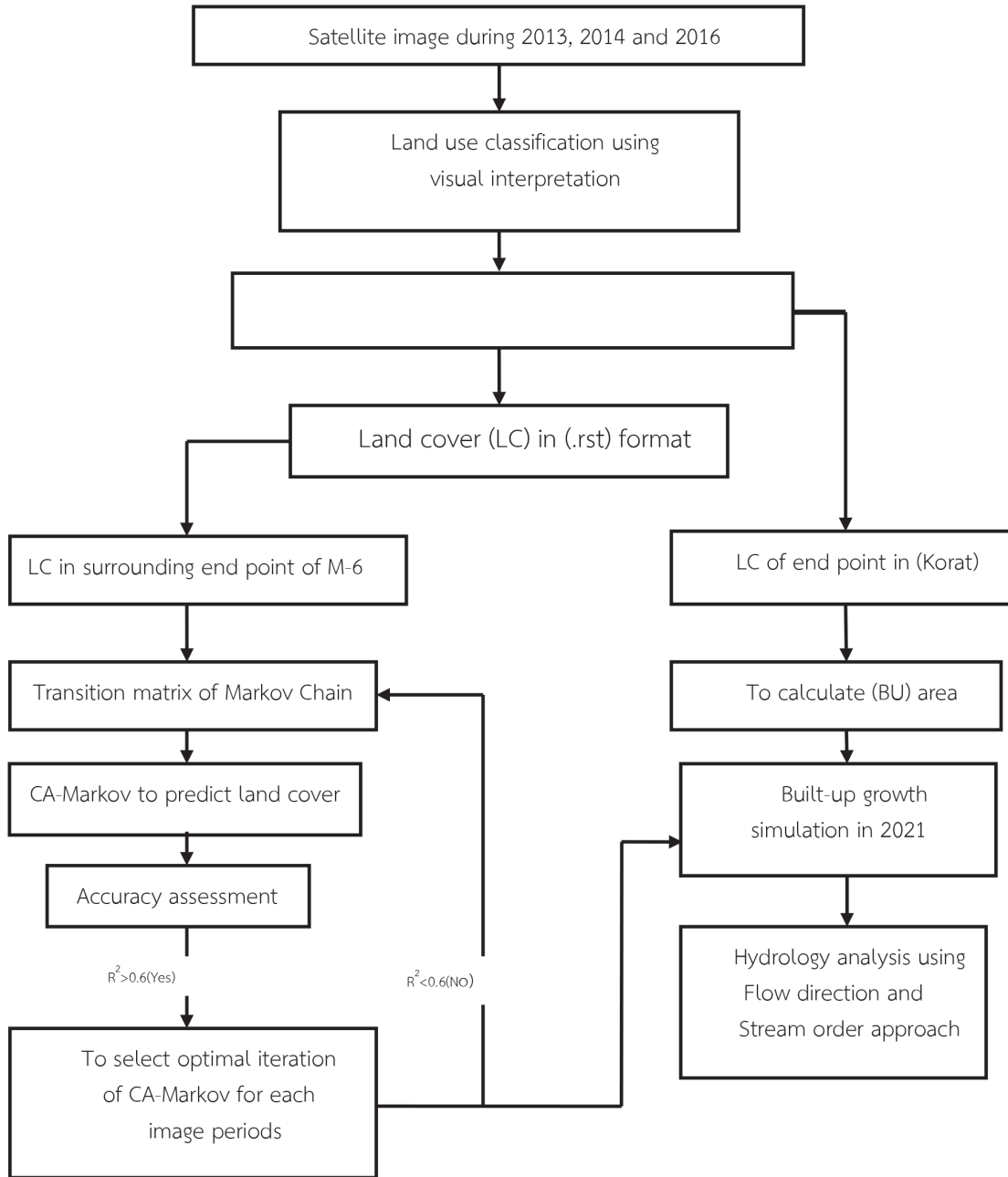


Figure 3 Framework of the study

แบบจำลองทำนายอัตราการเติบโตสิ่งปลูกสร้าง

Cellular Automata (CA) คือเทคนิคในการจำลองสถานการณ์ที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเมืองที่มีความหลากหลาย เช่น การเจริญเติบโตของชุมชนเมือง การเติบโตของเมืองในอดีต และพัฒนาการของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น CA เป็นแบบจำลองเชิงพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของขบวนการต่าง ๆ ในพื้นที่แสดงในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่หรือในรูปแบบของแผนที่ หลักการทำงานของ CA อาศัยการคำนวณความเปลี่ยนแปลงจากจุดภาพข้างเคียงโดยกำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะมีการคำนวณซ้ำเป็นรอบ ๆ จนกว่าจะสามารถกำหนดตำแหน่งการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาได้ครบ

ถ่วงตามเงื่อนไขที่ตั้งเอาไว้

แบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Model) เป็นขบวนการที่มีการเคลื่อนจากสภาพหนึ่งไปอีกสภาพหนึ่ง โดยประยุกต์เอาทฤษฎีความน่าจะเป็นมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสถานการณ์จากช่วงเวลาหนึ่งไปยังอีกช่วงเวลาหนึ่ง แบบจำลองมาร์คอฟเป็นการทำนายสถานการณ์ของระบบ ณ เวลาถัดไป (t+1) โดยจะต้องรู้ถึงสถานะของระบบในช่วงเวลา (t) ซึ่งหลักของแบบจำลองมาร์คอฟ คือ การใช้ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในสมการที่ 1 อันเป็นผลสรุปความน่าจะเป็นที่จุดภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดิน 1 ประเภท (i) ณ ช่วงเวลาหนึ่ง (t) เปลี่ยนไปเป็นการใช้ที่ดินประเภทอื่น

(j) เมื่อเวลาเปลี่ยนไปช่วงเวลาหนึ่ง (t+1) โดย $\Pr(X_r = j | X_s = i)$ เมื่อ $r = t - s, 0 \leq s < t, 1 \leq i, j \leq k$ ผลรวมของความน่าจะเป็นจะมีค่าเท่ากับ 1

$$S(t+1) = P_{ij} x_s(t) \quad (1)$$

โดยที่ $s(t+1), s(t)$ คือสถานะ ณ เวลา t หรือ t+1, คือ เมทริกซ์ของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงที่คำนวณจากสมการ

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ $(0 \leq P_{ij} < 1 \text{ and } \sum_j P_{ij} = 1, (ij = 1, 2, \dots, n))$

เมื่อ P_{ij} คือ โอกาสของการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภาพที่ i สิ่งปกคลุมประเภท j และ K คือ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รูปแบบการใช้งานของแบบจำลองจะต้องทำการสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพสองช่วงเวลา และใช้เมทริกซ์นี้มาทำการสร้างกฎการเปลี่ยนแปลงและแผนที่ความน่าจะเป็นของการทำนายสิ่งปกคลุมดินตามการกำหนดรอบวนซ้ำที่เหมาะสม ผลที่ได้จะแสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการกำหนดรอบวนซ้ำ โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะทำให้พื้นที่ตำแหน่งนี้จะถูกทำการเพิ่มความสูงพื้นที่ขึ้นไป 2 เมตร โดยมีสมมติฐานที่ว่าเป็นการถมที่ดินเพื่อทำการก่อสร้าง ซึ่งจะต้องทำการอัปเดตความสูงเชิงเลขในทุกเซลล์ใหม่ เพื่อที่จะใช้จำลองการไหลของเส้นทางน้ำต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. แนวโน้มสิ่งปกคลุมดินของจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ หมายเลข 6 (นครราชสีมา) และการคำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง

นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2556, 2557 และ 2559 มาทำการจำแนกด้วยวิธีการแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบของการแปลตีความด้วยสายตา ประกอบด้วย รูปร่าง (Shape) ขนาด (Size) รูปแบบ (Pattern) ความเข้มของสีและสี (Tone and Color) เนื้อภาพ (Texture) เงา (Shadow) ตำแหน่งที่ตั้ง (Site)

และความเกี่ยวพัน (Association)³ ทำการจำแนกข้อมูลออกเป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย 1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ พื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างทุกประเภท รวมทั้งย่านการค้าที่อยู่อาศัย สถานบริการราชการและเส้นทางคมนาคม 2) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ได้แก่ พื้นที่โล่ง พื้นที่ถม เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ เช่นพื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน เป็นต้น 3) พื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น 4) พื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติและป่าปลูก ผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2556 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.46 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.82 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.69 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.55 ตารางกิโลเมตร ผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2557 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.55 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.85 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.71 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.49 ตารางกิโลเมตร และผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2559 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.89 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.54 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.71 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.47 ตารางกิโลเมตร จากผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่า พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและถนนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยส่วนใหญ่ประเภทสิ่งปกคลุมดินที่เปลี่ยนแปลงมาเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างคือ พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่แหล่งน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องสาเหตุเนื่องมาจากมีการถมที่ดินในพื้นที่แหล่งน้ำเดิมเพื่อที่จะทำการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง เช่น โครงการหมู่บ้านจัดสรร และที่อยู่อาศัยประเภทอื่น ๆ เป็นต้น และตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นตามแนวถนนเลียบเมืองและพื้นที่ใกล้จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ดค่อนข้างจะคงที่แต่มีลดลงเล็กน้อยในปี พ.ศ.2559 ชั้นข้อมูลสิ่งปกคลุมดินเหล่านี้จะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปแบบของไฟล์ (.rst) เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม Idrisi 17.0 ใช้หาค่าเมทริกซ์ของการเปลี่ยนแปลงรอบวนซ้ำที่เหมาะสม และจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลอง CA-Markov จะมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ในการวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง (Transition matrix) และช่วงปีของภาพถ่ายดาวเทียมอยู่ระหว่าง 2556-2559 โดยใช้พื้นที่ต้นแบบในการสร้างและทดสอบแบบจำลองในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์นครราชสีมาโดยแสดงในบล็อกที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และแสดงใน Figure 2 เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองสามารถที่จะคาดการณ์สิ่งปกคลุมดินได้

แม่นยำในระดับที่น่าพอใจ โดยจะแสดงผลการจำลองผลเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงตาม Table 1 ในการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ตั้งแต่รอบที่ 1-10 สำหรับวิเคราะห์หาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพแต่ละช่วงปีและนำไปสร้างแผนที่สิ่งปกคลุมดินเปรียบเทียบความแม่นยำเชิงตำแหน่งของรูปปิดที่จำลองมาจากแบบจำลองและขนาดพื้นที่รูปปิดต้องทับกันกับรูปปิดที่แปลจากภาพดาวเทียมและนำมาตรวจสอบความแม่นยำด้วยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 ระหว่างแผนที่ที่สร้างจากแบบจำลอง CA-Markov เป็นฐานเปรียบเทียบกับข้อมูลที่แปลตีความด้วยสายตาทั้ง 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดัง Table 1 พบว่าแบบจำลอง CA ที่สร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงจากภาพระหว่างช่วงปี 2556/2557 มีค่า R^2 ที่มีค่ามากกว่า 0.9 เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของสิ่งปกคลุมดินที่แปลด้วยสายตาจากการกำหนดรอบกำหนดซ้ำตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 4 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อกำหนดรอบกำหนดซ้ำที่สูงขึ้นเนื่องจากว่าช่วงของภาพที่นำมาใช้คำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงมีความห่างกันน้อยทำให้การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินยังมีไม่มาก แต่การกำหนดรอบซ้ำที่จะสามารถกำหนดได้จริงกับความห่างของช่วงเวลาของภาพที่ใช้เป็นฐานจำเป็นจะต้องกำหนดรอบที่ไม่มากเกินไปและมีค่า R^2 ที่พอยอมรับได้ โดยเมื่อกำหนดรอบซ้ำไม่เกิน 3 ทำให้ค่า R^2 มากกว่า 0.6 ในทุก ๆ การทดสอบความถูกต้อง ดังนั้นควรกำหนดรอบซ้ำที่ใช้อยู่ในช่วง 1-3 สำหรับความห่างของช่วงภาพทุก ๆ 1 ปี สำหรับพื้นที่ ๆ มีลักษณะเป็นจุดสิ้นสุดทางหลวงในจังหวัดอื่น ๆ ที่จะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินได้

2. รอบวนซ้ำที่เหมาะสมกับช่วงภาพ

การทดสอบจำนวนรอบวนซ้ำที่เหมาะสมในการกำหนดเป็นพารามิเตอร์ของ CA-Markov จะกำหนดค่าตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 10 โดยปกติโดยทั่วไปแล้วการกำหนดรอบวนซ้ำจะอ้างอิงจากระยะห่างระหว่างของช่วงปีของภาพที่ใช้สร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง แต่ในการวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดจำนวนรอบวนซ้ำหลาย ๆ รอบสำหรับสร้างแผนที่สิ่งปกคลุมดินที่มีระยะห่างระหว่างของช่วงปีของภาพตั้งแต่ พ.ศ. 2556/2557, 2556/2559, และ 2557/2559 เพื่อที่จะดูแนวโน้มของการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเป็นหลักโดยใช้วิธีการวัดความถูกต้องด้วยตำแหน่งและประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่สร้างจากแบบจำลอง CA-Markov เปรียบเทียบกับภาพที่แปลด้วยสายตาของปี พ.ศ.2559 ผลการเปรียบเทียบแสดงดัง Table 2 ผลการทดสอบจำนวนรอบวนซ้ำที่เหมาะสมพบว่าจำนวนรอบวนซ้ำตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 3 มีผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มากกว่า 0.8 สำหรับการทดสอบทุกครั้ง โดย R^2 ระหว่าง CA Markov ที่สร้างจากภาพ พ.ศ.2556/2557 เทียบกับภาพที่แปลด้วยตาของปี พ.ศ.2559 เพื่อพิสูจน์ว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้ดีในระดับที่พอยอมรับได้หรือไม่สำหรับช่วงภาพที่มีระยะห่าง 3 ปี ผลสำหรับรอบกำหนดซ้ำที่ 1, 2, และ 3 มีค่า (R^2) เท่ากับ 0.91, 0.87, และ 0.85 ตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบกับช่วงภาพที่มีระยะห่างกันมากขึ้น และจะใช้การกำหนดรอบวนซ้ำรอบเท่ากับ 3 มาทำการสร้างแผนที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง ณ จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และแนวถนนเลี่ยงเมืองรวมทั้งหมด 13 บล็อกตามแนวถนนเลี่ยงเมืองนครราชสีมา หมายเลข 2

Table 1 Result comparison of land cover simulation using CA-Markov with visual interpretation in block 2 of end point of Motor-6 based satellite image on March (2556/2557)

Iteration Year/ R^2	CA-Markov with visual interpretation (Year 2556-2557)			CA-Markov with visual interpretation (Year 2557-2558)			CA-Markov with visual interpretation (Year 2558-2559)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559	2557	2558	2559
1	0.99	0.71	0.64	0.84	0.94	0.72	0.98	0.94	0.72
2	0.96	0.70	0.63	0.67	0.75	0.64	0.91	0.75	0.64
3	0.93	0.69	0.62	0.65	0.72	0.62	0.87	0.72	0.62
4	0.90	0.67	0.61	0.58	0.660	0.60	0.81	0.66	0.60
5	0.86	0.66	0.61	0.53	0.59	0.56	0.74	0.59	0.56
6	0.83	0.64	0.59	0.52	0.58	0.555	0.71	0.58	0.55
7	0.81	0.63	0.58	0.51	0.56	0.55	0.64	0.56	0.55
8	0.78	0.62	0.56	0.49	0.55	0.54	0.62	0.551	0.54
9	0.76	0.60	0.54	0.47	0.53	0.52	0.61	0.53	0.52
10	0.735	0.59	0.53	0.45	0.50	0.495	0.58	0.50	0.49

Table 2 The average result of R^2 with land cover simulation using CA-Markov with visual interpretation in block 3 to 13 of end point of Motor-6 based satellite image on March 2556/2557, 2556/2559, and 2557/2559 compared with image on March 2559

Iteration	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2556/2557	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2556/2559	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2557/2559
	with	with	with
	(Interpretation) Year 2559	(Interpretation) Year 2559	(Interpretation) Year 2559
1	0.91	0.90	0.89
2	0.87	0.87	0.87
3	0.85	0.85	0.85
4	0.81	0.81	0.82
5	0.79	0.78	0.79
6	0.77	0.76	0.78
7	0.75	0.74	0.76
8	0.74	0.71	0.74
9	0.72	0.70	0.72
10	0.71	0.68	0.70

3. อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้าง (Built-Up Growth Rate, BUGR)

อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างเป็นดัชนีที่สร้างขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่ารอบการกำหนดซ้ำโดยมุ่งหวังให้การนำดัชนีนี้ถูกใช้เป็นตัวกำหนดการถ่วงรอบการกำหนดซ้ำและช่วงเวลาของภาพถ่ายที่เหมาสมสำหรับใช้ทำนายการเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างในพื้นที่อื่น ๆ เช่น จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์นครปฐม-กาญจนบุรี ที่กำลังจะสร้างในอนาคต เป็นต้น อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างดังสมการที่ 3 เป็นอัตราส่วนที่คำนวณจากพื้นที่ของสิ่งปลูกสร้างต่อขนาดของพื้นที่บล็อกย่อยที่ถูกแบ่งเพื่อที่จะศึกษาถึงรูปแบบและแนวโน้มการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างตามระยะทางที่ห่างจากจุดสิ้นสุดของมอเตอร์เวย์

$$BUGR = \frac{\text{Built-Up Area}}{\text{Total area of block}} \quad (3)$$

เมื่อ Built-Up Area คือ จำนวนทั้งหมดของสิ่งปลูกสร้างที่ตกอยู่ในบล็อกนั้น ๆ และ Total area of block คือ พื้นที่รวมของแต่ละบล็อกย่อยจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร

การสร้างดัชนีการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างนำมาจากการคาดการณ์พื้นที่การใช้ที่ดินจาก CA-Markov (กำหนดรอบซ้ำที่ 1, 2 และ 3) ของภาพปี 2557/2559 ผลของดัชนี

การเติบโตของสิ่งปลูกสร้างแสดงดังตารางที่ 3, 4, และ 5 พบว่า บล็อกที่อยู่ใกล้จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ในระยะ 2 กิโลเมตร มีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.155(15.5%) ถึง 0.241(24.1%) สำหรับรอบวนซ้ำที่ 1 และ 2 จะมีความใกล้เคียงกัน ส่วนบล็อกที่อยู่ห่างจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ที่มีค่ามากกว่า 0.21(21%) คือตั้งแต่บล็อกที่ 10 หรือระยะ 10 กิโลเมตรจากจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ และมีความแตกต่างกันมากขึ้นของอัตราการเติบโตที่เพิ่มขึ้นสำหรับรอบกำหนดที่ 3 ตั้งแต่ระยะ 1 ถึง 4 กิโลเมตร โดยมีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.124 (12.4%) ถึง 0.314 (31.4%) และระยะ 9 ถึง 13 กิโลเมตร มีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.124 (12.4%) ถึง 0.314 (31.4%) 0.122 (31.4%) ถึง 0.355 (35.5%) โดยการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนมาจากพื้นที่เบ็ดเตล็ด ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำและถนนไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการกำหนดรอบวนซ้ำที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างสูงขึ้น แต่การเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะไม่แตกต่างกันมากในช่วงระยะห่างจากจุดสิ้นสุดช่วง 5 ถึง 8 กิโลเมตร ทั้งทางด้านจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และจุดสิ้นสุดถนนเลี้ยวเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา-ขอนแก่น

4. การฉายภาพการเติบโตสิ่งปลูกสร้าง

พื้นที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่น ๆ นำมาจากการคาดการณ์พื้นที่การใช้ที่ดินจาก CA-Markov (กำหนดรอบวนซ้ำที่ 1, 2 และ 3) แสดง

Figure 4 และการฉายภาพสิ่งปลูกสร้างและปกคลุมดินอื่น ๆ ในปี พ.ศ.2564 หรืออีก 5 ปีข้างหน้าโดยสร้างจากเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพปี 2557/2559 และกำหนดรอบวนซ้ำที่ 5 ดังแสดงใน Figure 5 ผลการฉายภาพของการกำหนดรอบวนซ้ำตั้งแต่ 1 ถึง 3 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะกระจายตัวอยู่รอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และจุดเชื่อมทางแยกของถนนเลี้ยว

เมืองหมายเลข 2 (มิตรภาพ) ซึ่งในพื้นที่นี้มีสิ่งปลูกสร้างอยู่หนาแน่นก่อนที่จะมีการอนุมัติก่อสร้างมอเตอร์เวย์ทำให้สิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่แล้วในพื้นที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองในการคำนวณค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงทำให้ผลของการคาดการณ์ด้วยรอบกำหนดซ้ำที่ไม่ห่างกันมากจึงพบว่าพื้นที่จะกระจุกตัวอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเดิมที่มีอยู่แล้ว

Table 3 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 1 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 1)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.155	12.505	0.182	0.009
2	1	0.241	12.421	0.180	0.059
3	1	0.099	12.423	0.178	0.050
4	1	0.084	9.541	0.231	0.023
5	1	0.060	9.536	0.080	0.011
6	1	0.102	9.541	0.048	0.022
7	1	0.025	9.536	0.056	0.022
8	1	0.016	9.536	0.042	0.016
9	1	0.064	9.536	0.052	0.021
10	1	0.210	9.540	0.054	0.005
11	1	0.048	9.537	0.047	0.014
12	1	0.193	9.554	0.042	0.045
13	1	0.352	9.781	0.108	0.058

Table 4 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 2 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 2)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.155	6.739	0.182	0.009
2	1	0.242	6.657	0.180	0.059
3	1	0.101	9.856	0.178	0.050
4	1	0.085	6.976	0.231	0.023
5	1	0.060	6.971	0.080	0.009
6	1	0.103	6.975	0.048	0.021
7	1	0.025	6.970	0.056	0.020
8	1	0.016	6.970	0.042	0.013
9	1	0.217	6.981	0.052	0.020
10	1	0.369	9.393	0.053	0.005
11	1	0.172	2.376	0.047	0.014
12	1	0.228	2.393	0.042	0.044
13	1	0.359	2.608	0.108	0.059

Table 5 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 3 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 3)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.283	3.646	0.182	0.009
2	1	0.314	3.655	0.181	0.059
3	1	0.143	12.028	0.178	0.052
4	1	0.120	8.296	0.231	0.023
5	1	0.084	8.293	0.080	0.009
6	1	0.126	8.296	0.048	0.021
7	1	0.031	8.292	0.056	0.019
8	1	0.017	8.292	0.042	0.013
9	1	0.216	8.298	0.052	0.020
10	1	0.348	8.328	0.053	0.005
11	1	0.122	5.603	0.047	0.014
12	1	0.197	5.618	0.042	0.044
13	1	0.355	5.839	0.109	0.056

ผลการฉายภาพสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ.2564 พบว่ามีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างประมาณ 1.96 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ด 12.74 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ป่า 0.67 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่แหล่งน้ำ 0.42 ตารางกิโลเมตร พื้นที่สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีตำแหน่งของการเพิ่มขึ้นอยู่ใกล้กับจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ และขยายออกไปตามแนวถนนสายย่อยที่เชื่อมกับถนนเลียบเมือง พื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงอย่างต่อเนื่องส่วนใหญ่เป็นพื้นที่การเกษตรที่มีการถมที่ดินไว้แล้วเพื่อเตรียมก่อสร้างบ้านจัดสรรและอาคารพาณิชย์ ส่วนพื้นที่ป่าและแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในทุก ๆ รอบการกำหนดวนซ้ำ ซึ่งจะเป็นภาพที่ใช้ในการนำไปสร้างแผนที่ความสูงเชิงเลขสำหรับใช้จำลองการไหลของเส้นน้ำดังแสดงใน

Figure 6 เป็นการจำลองลำดับเส้นการไหลของน้ำในระดับ 1 และ 2 ของการจำลองการไหลของน้ำจากระดับความสูงเชิงเลขจากการแปลภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2559 และการจำลองการไหลของเส้นน้ำปี พ.ศ.2564 จะจำลองจากระดับความสูงเชิงเลขที่คำนวณจากการกำหนดรอบวนซ้ำที่ 5 ดังแสดงใน Figure 5 และผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงเส้นการไหลของน้ำแสดงใน Table 6 โดยพื้นที่รูปปิดที่มีความสูงเชิงเลขเพิ่มขึ้น 2 เมตร เป็นพื้นที่ที่แบบจำลองทำการคาดการณ์แล้วว่าจะเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างในปี พ.ศ. 2564 ส่งผลต่อทิศทางการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลงไม่ไหลลงสู่ลำตะคอง และทำให้มีโอกาสท่วมขังในพื้นที่หาลำตะคองมีมากขึ้น

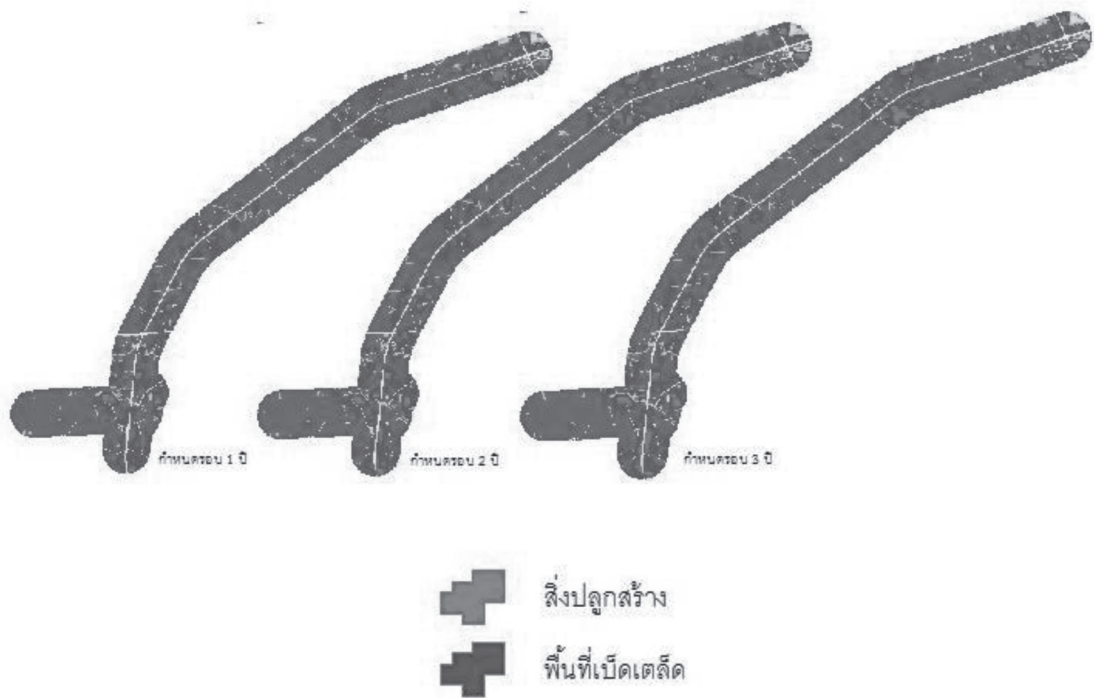


Figure 4 the major land cover class of Year (2564) based on CA-Markov model using iteration = 1, 2, and 3 and image 2557/2559

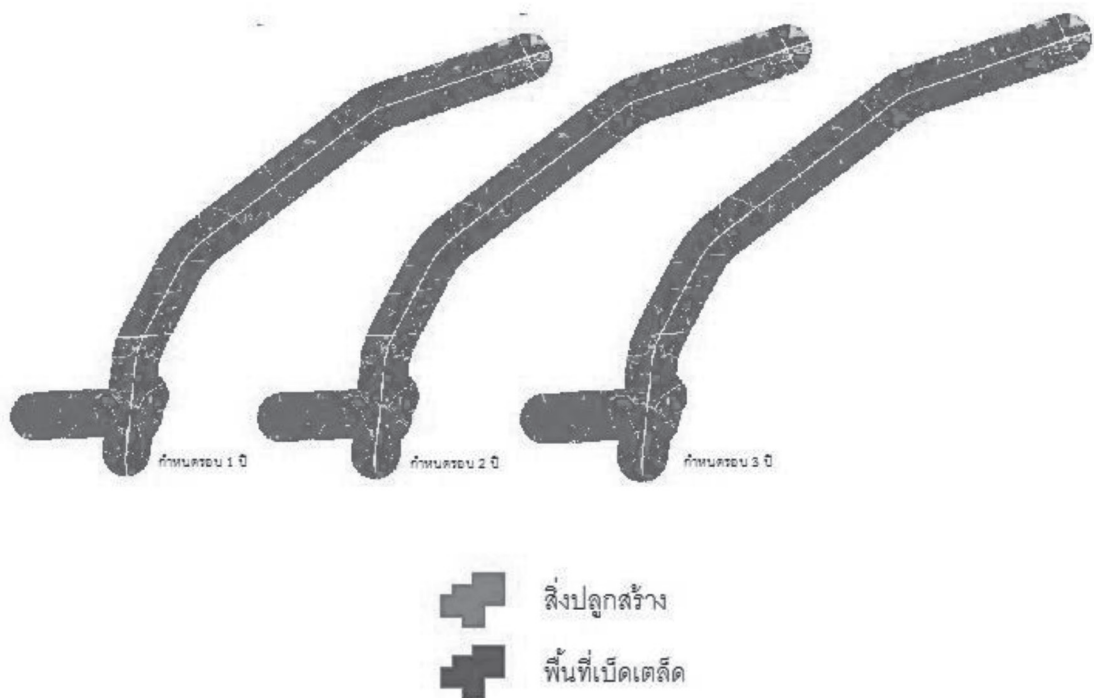


Figure 5 the land cover of Year (2564) based on CA-Markov model using iteration = 5 and image 2557/2559

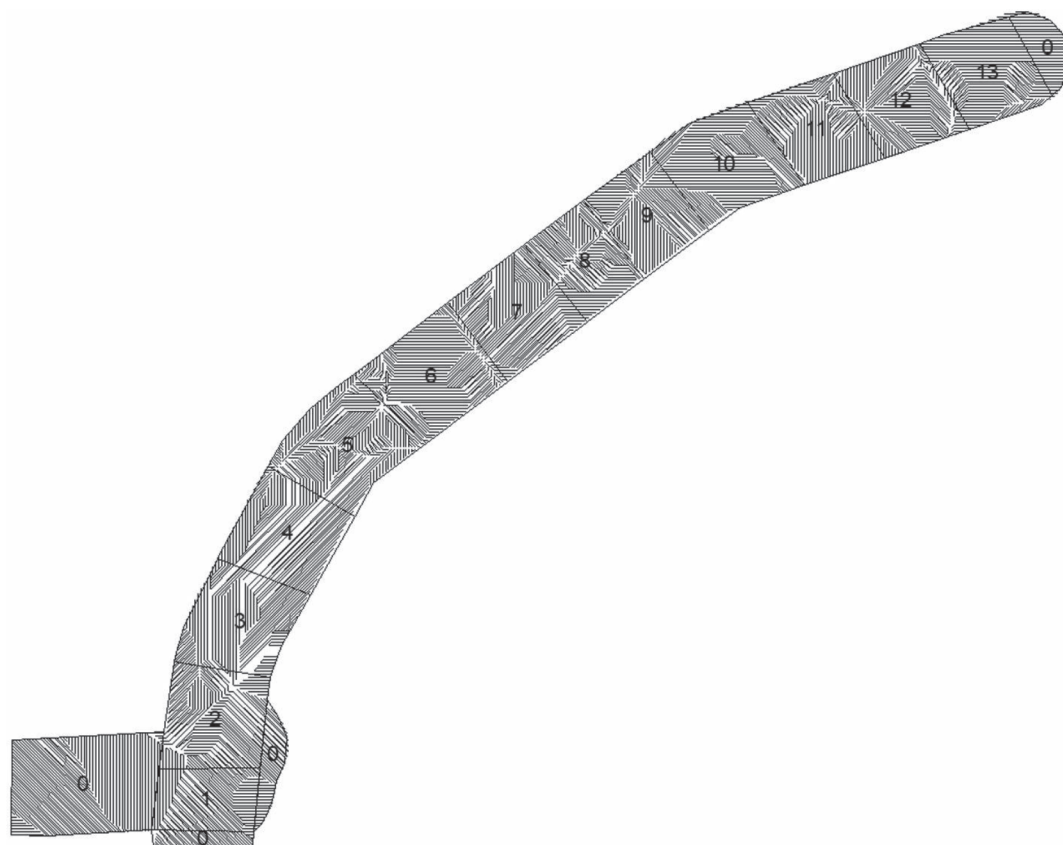


Figure 6 Stream flow generated from stream order 1 and 2 based on DEM derived from land cover Year (2559)

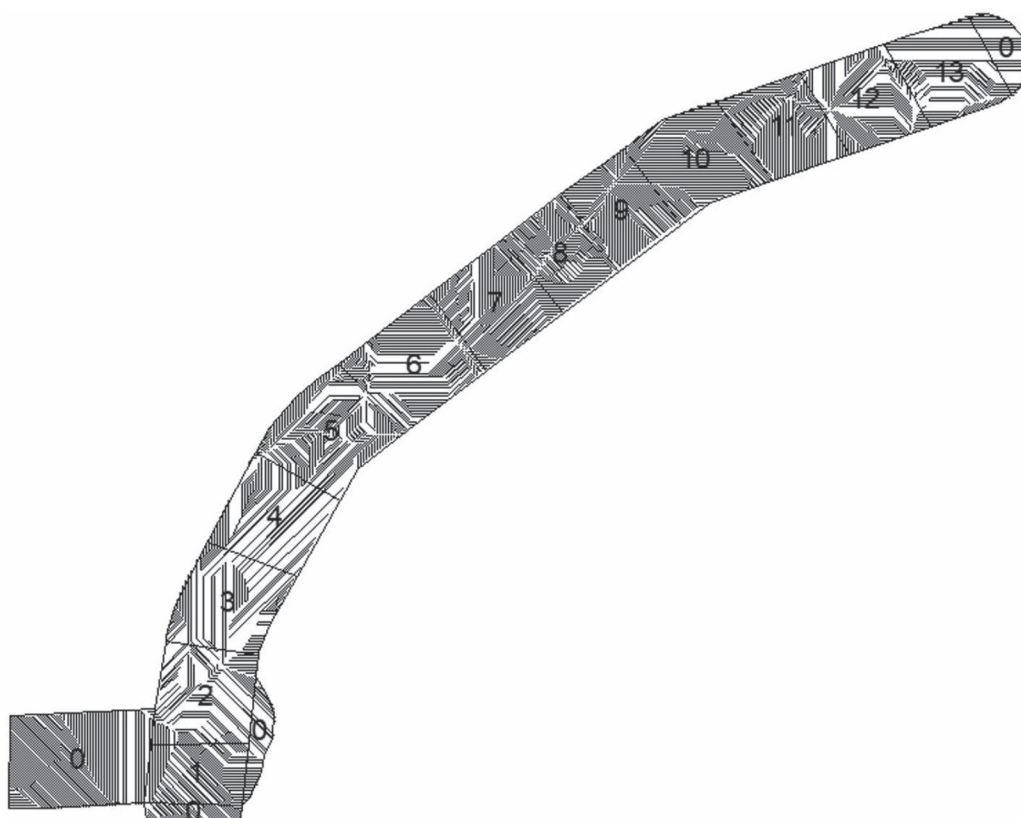


Figure 7 Stream flow generated from stream order 1 and 2 of Year (2564) based on DEM derived from land cover simulation 2557/2559 with iteration = 5

Table 6 Comparison of stream order Year 2559/2564 in term of stream length and number of stream line

Block number	Stream order Year (2559)	Stream order Year (2564)
	Order 1 and 2 (Length KM./no. stream line)	Order 1 and 2 (Length KM./no. stream line)
1	62/36	59/34
2	63/38	25/18
3	62/37	23/17
4	63/38	24/19
5	64/39	29/28
6	65/42	30/29
7	64/92	63/91
8	63/34	63/34
9	65/98	65/98
10	67/102	67/101
11	60/35	42/27
12	71/45	24/17
13	73/46	21/15

5. ผลกระทบต่อเส้นทางน้ำไหลจากการเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง

สิ่งปกคลุมดินประเภทสิ่งปลูกสร้างที่มีการขยายตัวจะแสดงเป็นสีแดงใน Figure 4 และ 5 พื้นที่เหล่านี้จะถูกนำมาสร้างเป็นชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลข (DEM) ที่ทำการเพิ่มระดับความสูงขึ้นไปอีก 2 เมตร เพื่อนำชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลขมาวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางไหลของน้ำในการศึกษานี้จะใช้การเปรียบเทียบความยาวเส้นทาง (stream length) และจำนวนลำดับเส้นทาง (number of stream line) ประจำแต่ละบล็อก โดยจะใช้ลำดับการไหลของเส้นทางไหลของน้ำ (stream order) ในระดับที่ 1 และ 2 รวมกัน เนื่องจากว่าเป็นระดับที่เป็นการไหลขั้นต้นของลำน้ำ เป็นจุดที่สร้างการไหลของน้ำให้ไหลจากที่สูงไปที่ต่ำ โดยผลการศึกษาแสดงใน Table 6 พบว่า จากการวิเคราะห์เส้นลำดับการไหลของน้ำด้วยข้อมูลความสูงเชิงเลขปี พ.ศ.2559 พบว่าบล็อกที่ 13 และ 12 มีลำดับเส้นทางไหลของน้ำที่ 1 และ 2 มากที่สุด ที่ 73 และ 72 กิโลเมตรตามลำดับ และจำนวนเส้นทางไหลมีจำนวนมากที่สุดในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 98 และ 102 เส้นตามลำดับ จำนวนเส้นทางไหลของน้ำมากจะส่งผลให้การระบายน้ำไหลลงสู่แม่น้ำสายหลักได้รวดเร็วกว่าและมีความเสี่ยงต่อการท่วมขังน้อยกว่า

บล็อกที่มีจำนวนลำดับเส้นทางและความยาวเส้นทางน้อย จากการจำลองการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในปี พ.ศ.2564 พบว่าความยาวเส้นทางไหลมีจำนวนมากที่สุดในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 67 และ 65 กิโลเมตร และจำนวนเส้นทางไหลของน้ำมากสุด ในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 98 และ 101 เส้นตามลำดับ

ความยาวเส้นทางไหลและจำนวนเส้นทางน้ำไหลในบล็อกที่เป็นตำแหน่งของจุดสิ้นสุดคือบล็อกที่ 3 และบล็อกที่อยู่ใกล้ ๆ จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์คือบล็อกที่ 2, 4, 5, และ 6 ตามลำดับ มีจำนวนลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบผลของทั้ง 2 ปี เนื่องจากว่าบล็อกเหล่านี้มีจำนวนของการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้างมากกว่าบล็อกที่อยู่ห่างจากจุดสิ้นสุดโครงการ แต่ก็มีบล็อก 12 และ 13 ที่อยู่ห่างจุดสิ้นสุดโครงการแต่มีการลดลงของจำนวนเส้นทางไหลของน้ำด้วยเนื่องจากว่ามีการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้าง ถึงแม้ว่าบล็อกจะมีระยะทางไกลจากจุดสิ้นสุด แต่เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนที่หนาแน่นและมีแรงดึงดูดมาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่นี้มากกว่าพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา การที่ความสูงของพื้นที่ที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมา 2 เมตร ส่งผลให้จากเดิมที่เป็นพื้นที่ที่เป็นแนวทางไหลของน้ำ แต่เมื่อถูกเปลี่ยนไปเป็นสิ่งก่อสร้างทำให้ความต่อเนื่องของเส้นทางขาดช่วงไป และน้ำไม่

ไหลไปลงในแม่น้ำสายหลัก อิทธิพลของการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างถ้ามีความต่อเนื่องกันในแบบของรูปปิดต่อเนื่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำได้มากกว่าพื้นที่ที่มีรูปปิดที่อยู่กระจายกัน เนื่องจากกว่ารูปปิดที่อยู่ติดกันจะทำให้การวิเคราะห์จำนวนลำดับเส้นน้ำมีลำดับของต้นน้ำมีจำนวนและขนาดลดน้อยลง รวมทั้งทำให้ความยาวเส้นน้ำลดลงด้วยการศึกษานี้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นบล็อกย่อยเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงความใกล้เคียงจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จะส่งผลต่อการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างได้อย่างไร ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าภายในระยะไม่เกิน 5 กิโลเมตร จากจุดสิ้นสุดที่จะมีการขยายตัวมากกว่าพื้นที่บล็อกอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำที่เห็นได้ชัดเจนกว่าพื้นที่ที่อยู่ไกลกว่า แต่การไหลจริงในธรรมชาติจะไม่ถูกกีดกันหรือขวางทางน้ำจากการแบ่งขอบเขตของบล็อก แต่การศึกษานี้จะทำให้สามารถมองภาพการคาดการณ์ได้ว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียงกับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวจะสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไป

สรุปผลการวิจัย

การขยายตัวของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะขยายตัวตามแนวของถนนมอเตอร์เวย์เป็นส่วนใหญ่จะเห็นได้ว่าในปี พ.ศ.2564 พื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวเกือบเต็มความจุของบล็อกพื้นที่ศึกษา และอัตราการขยายตัวจะกระจุกตัวอยู่ใกล้บริเวณจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ โดยมีแนวโน้มอัตราการเติบโตของสร้างปลูกสร้างเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเข้าไปใกล้บริเวณจุดสิ้นสุดทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง อัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง (BUGR) ยิ่งอัตราเข้าใกล้ 1 หมายถึงพื้นที่การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างในบล็อกนั้น ๆ กำลังขยายตัวอย่างสูงและมีโอกาสที่จะอ้อมตัวได้เร็วมากขึ้นในพื้นที่บล็อกที่ 1 และ 2 ซึ่งมีอัตรา BUGR มากกว่า 0.1 (10%) ต่อขนาดบล็อกเฉลี่ย 1 ตารางกิโลเมตร เป็นอัตราการขยายตัวที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ ๆ อยู่ห่างจากตัวแปรขับเคลื่อนคือจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และทางเชื่อมทางแยกถนนเลี่ยงเมือง และจะพบว่ารูปแบบการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ในรูปแบบกระจายแบบมีทิศทางไปตามแนวถนนสายรอง และเมื่ออยู่ห่างจากจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จะมีการขยายตัวไปตามแนวถนนเลี่ยงเมืองในระยะห่างจากถนนประมาณ 100-300 เมตร

แนวทางการใช้งานของแบบจำลองทำนายการใช้ประโยชน์ที่ดินต้องมีการกำหนดขอบเขตของหน่วยพื้นที่ย่อย (Spatial unit) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ โดยในการศึกษานี้พบว่ากำหนดขอบเขตไม่เกิน 1 กิโลเมตร และจากการตรวจสอบความถูกต้องเชิง

ตำแหน่งของการคาดการณ์จากแบบจำลอง CA-Markov พบว่ามีความถูกต้องในระดับปานกลาง (60 %) การศึกษาครั้งต่อไปควรต้องทดสอบโดยการสร้างรูปแบบของหน่วยเชิงพื้นที่ขึ้นมาและไม่ควรกำหนดให้มีขอบเขตที่เกินกว่า 5 กิโลเมตร จากปัจจัยตัวแปรที่มีอิทธิพล เช่น ถนนสายหลัก แบบจำลองจะสามารถคาดการณ์ได้ดีในช่วงระยะทางไม่ห่างจากตัวแปรที่มีอิทธิพล และควรที่จะกำหนดขอบเขตพื้นที่ให้ครอบคลุมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการคาดการณ์ รวมทั้งความหนาแน่นของคลาสต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะทำให้แบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้แม่นยำมากขึ้น

การคาดการณ์อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างบริเวณโดยรอบจุดสิ้นสุดโครงการทางหลวงพิเศษ หมายเลข 6 พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ด้วยการสร้างจากแบบจำลอง CA-Markov จากข้อมูลปีฐานระหว่างปี พ.ศ.2556-2559 พบว่า ช่วงกำหนดรอบวนซ้ำที่เหมาะสมของแบบจำลอง CA-Markov ในการคาดการณ์ภาพที่มีช่วงห่างกัน 1 ปี สามารถกำหนดค่ารอบกำหนดซ้ำได้ตั้งแต่ในช่วง 1-3 โดยที่ยังมีค่าสัมประสิทธิ์ที่พอยอมรับได้ ($R^2 > 0.8$) และค่อยลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงการทำหนดวนซ้ำมากกว่า 7 ปี ในการศึกษานี้จะได้รูปแบบของการกำหนดจำนวนรอบวนซ้ำที่ใช้กับช่วงห่างของปี ที่เหมาะสมสำหรับคำนวณหาค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการจำลองรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างได้ทั้งขนาดและทิศทางจะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงแนวทางการไหลและจำนวนเส้นการไหลของน้ำได้

จากผลการศึกษานี้ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเชิงพื้นที่มีผลต่อการวิเคราะห์การไหลของน้ำทั้งในด้านความยาวการไหลสะสมของเส้นน้ำ จำนวนเส้นลำดับการไหลของเส้นน้ำ โดยถ้ามีจำนวนสิ่งปลูกสร้างอยู่ติดกันมาก จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่เคยเป็นพื้นที่รับน้ำเปลี่ยนเป็นพื้นที่ขังน้ำ เนื่องจากน้ำไม่มีจุดไหลออก (Outlet) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งต่อไปในพื้นที่อื่น ๆ หรือใกล้เคียงที่มีการนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาช่วยวิเคราะห์อาจจะเพิ่มเติมในส่วนของชั้นข้อมูลโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (Tri Irregular Network, TIN) มาร่วมใช้วิเคราะห์เส้นการไหลของน้ำจะทำให้แสดงทิศทางการไหลได้สมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งการวิเคราะห์การไหลสะสมของน้ำ (Flow accumulation) จะช่วยให้สามารถมองภาพการไหลสะสมของน้ำและจุดที่จะใช้ระบายน้ำออกจากพื้นที่บล็อกได้ และการศึกษาจะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะด้านการไหลและอุปสรรคการไหลของน้ำจากการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อไปในพื้นที่อื่น ๆ ได้ในอนาคต งานวิจัยนี้จะทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียนำไปวางแผน

การเพื่อลดผลกระทบด้านการระบายน้ำได้ เช่น การเพิ่มเส้นทางน้ำไหลในรูปแบบท่อระบายน้ำ การเตรียมพื้นที่รับน้ำเพื่อรองรับฝนตกหนักมากกว่าปกติได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะวิทยาการสารสนเทศ งบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560 และหน่วยวิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และหน่วยวิจัย Climate Changes, Mitigation and Adaptation Research Unit; CMARE) คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาจารย์เบญจมาภรณ์ พุ่มหิรัญโรจน์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติเชิงพื้นที่ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและทรัพยากรที่จำเป็นในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Wu Fulong. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. *Geographical Information Science*. pp. 795-818; 2002.
2. Wu Fulong. A Parameterized Urban Cellular Model Combining Spontaneous and Self-Organising. *Geocomputation: Innovation in GIS 7*. Taylor & Francis, pp. 73-85; 2000.
3. Ward D.P., A.T. Murray, S.R. Phinn. An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions. 1999.
4. Jantz Clair, ScoH J Goetz, Mary K Shelley. Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, pp. 251-271; 2003.
5. พิษณะ คงยังยืน. การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกยางพาราในจังหวัดจันทบุรี: หลักการการวิเคราะห์เชิงวิถุภาพและแบบจำลอง. *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 10(1), 96-107. 2558.
6. พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตินกุล และวารินทร์ จิระสุขทวีกุล. วิวัฒนาการการใช้ที่ดินห้วยหินดาด จังหวัดระยอง. *สถานี*

วิจัยห้วยหินดาด กลุ่มลุ่มน้ำ ส่วนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ. 2538.

7. วราภรณ์ สีहनทวงศ์. การศึกษาแนวโน้มสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วังเพื่อการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2545.*
8. ฐานิตย์ วงศ์วิเศษ. แบบจำลองเพื่อการศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล อ่าเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี, *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2548.*

โปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวภายใต้ข้อบังคับด้านความปลอดภัย

A Travel Itinerary Planning Application under Safety Constraints

จิติมนต์ อังสกุล¹, สรชัย กมลลิ้มสกุล², ธรา อังสกุล³*

Jitimon Angskun¹, Sorachai Kamollimsakul², Thara Angskun³*

Received: 2 January 2019 ; Revised : 11 February 2019 ; Accepted: 23 April 2019

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้แต่ละปีมีรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาบ่งชี้ว่าความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยในการเดินทางท่องเที่ยวถือปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยว แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยด้านการวางแผนการท่องเที่ยวซึ่งคำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยนั้นยังมีน้อยและไม่ครอบคลุม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอโปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขข้อบังคับด้านความปลอดภัย โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการท่องเที่ยว 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความปลอดภัยในอดีต ด้านความปลอดภัยในปัจจุบัน และด้านการสนับสนุนความปลอดภัย โดยโปรแกรมประยุกต์ที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการกรองสถานที่และเส้นทางที่ไม่ปลอดภัย กระบวนการวางแผนเส้นทางการเดินทางตามเงื่อนไขของเวลาด้วยขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด และกระบวนการจัดอันดับแผนการเดินทางตามความปลอดภัยด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย โดยโปรแกรมประยุกต์นี้จะนำเสนอแผนการเดินทางท่องเที่ยวในรูปแบบแผนที่ ผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อความสามารถในการใช้งานได้ของโปรแกรมประยุกต์โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุดในทุกมิติ ($\bar{x} = 4.45$, S.D. = 0.43)

คำสำคัญ: การวางแผนการเดินทาง, ความปลอดภัย, กระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย, โปรแกรมประยุกต์

Abstract

The tourism industry has grown continuously. It generates a large amount of income for the country each year. Past data indicates that safety confidence is one of the major factors affecting tourism. Unfortunately, there are only a few existing research studies on travel planners that consider those safety factors. These research works are not comprehensive. Hence, this research proposes a travel itinerary planning application under safety constraints. Safety factors in tourism can be classified into three classes such as past danger, present danger and safety support. There are 3 main processes which are the filtering of unsafe locations and routes, route planning process under time constraints using the progressive routing algorithm, and the process of travel plans ranking based on an analytic network process. The application presents the travel plan in a map. The usability evaluation of experts indicates that the overall scores are in the highest level in every aspect ($\bar{x} = 4.45$, S.D. = 0.43).

Keywords: Travel Planning, Safety, Analytic Network Process, Application

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, อาจารย์ ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000,

¹ Assist. Prof., ² Lecturer, ³ Assist. Prof., School of Information Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* Corresponding author; Thara Angskun, School of Information of Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand. angskun@sut.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย มีจำนวนประมาณ 57,000,000 คน คิดเป็นร้อยละ 82.4 ของประชากรทั้งหมด¹ ทำให้ธุรกิจต่าง ๆ ต้องมีการปรับตัว โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเป็นพื้นฐานในการเข้าถึงลูกค้าให้ตรงกลุ่มเป้าหมายมากขึ้น ธุรกิจด้านการท่องเที่ยวก็เป็นธุรกิจหนึ่งที่ได้ให้ความสำคัญต่อการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตมาใช้ จะเห็นได้จากจำนวนเว็บไซต์แนะนำสถานที่ท่องเที่ยว แนะนำโรงแรม เว็บไซต์ธุรกิจขายแพ็คเกจทัวร์ต่าง ๆ ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

ในปี พ.ศ. 2559 มีนักท่องเที่ยวต่างชาติที่เดินทางมาเที่ยวประเทศไทยจำนวน 32.59 ล้านคน ทำให้มีรายได้เข้าประเทศ 1.64 ล้านล้านบาท และมีรายได้จากนักท่องเที่ยวชาวไทย 8.69 แสนล้านบาท โดยปัญหาอุปสรรคหนึ่งที่สำคัญของการท่องเที่ยว คือ ปัญหาอาชญากรรม² นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีปัญหาอื่น ๆ อีก อาทิ การระบาดของโรคระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันร้ายแรง หรือซาร์ส (SARS Severe: Acute Respiratory Syndrome) การระบาดของไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ 2009 การก่อการร้าย และการปิดสนามบิน³ โดยปัญหาเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยว ทำให้จำนวนนักท่องเที่ยวลดลง และส่งผลกระทบต่อรายได้ของธุรกิจอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ดังนั้นปัจจัยด้านความปลอดภัยนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการเลือกสถานที่และวางแผนเดินทางท่องเที่ยวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคปัจจุบันที่นักท่องเที่ยวนิยมขับขี่พาหนะเดินทางท่องเที่ยวด้วยตนเอง ด้วยเหตุนี้โปรแกรมประยุกต์วางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยจึงเข้ามามีบทบาทในการสนับสนุนการเดินทางท่องเที่ยวเพื่อรองรับกับรูปแบบการท่องเที่ยวที่เปลี่ยนไป

โปรแกรมประยุกต์หรือระบบวางแผนท่องเที่ยวที่ให้บริการนักท่องเที่ยวในปัจจุบันมีหลายประเภท อาทิ การวางแผนตามเส้นทางการเดินทาง การวางแผนตามสถานที่ที่น่าสนใจ การวางแผนตามสภาพอากาศ และการวางแผนตามตัวแทนการท่องเที่ยว⁴ ซึ่งแต่ละโปรแกรมประยุกต์ก็จะแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่จะพัฒนาให้ตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยว

Soo and Liang⁵ ได้นำเสนอระบบแนะนำการท่องเที่ยวที่ให้ความสำคัญกับข้อจำกัดด้านงบประมาณและเวลา Ambite *et al.*⁶ ได้พัฒนาระบบวางแผนท่องเที่ยวที่สนับสนุนการเดินทางด้วยเครื่องบิน รถยนต์ส่วนตัว และรถแท็กซี่ Ardissono *et al.*⁷ ได้พัฒนาระบบที่คำนึงถึงเวลาปิด-เปิดของสถานที่ท่องเที่ยว Navabpour *et al.*⁸ ได้พัฒนาระบบวางแผนการท่องเที่ยวโดยอาศัยสถาปัตยกรรมเชิงบริการ (Service Oriented

Architecture) ซึ่งวางแผนได้ทั้งการเดินทางด้วยเครื่องบิน รถประจำทาง และรถไฟ ในขณะที่ Ngamsanit *et al.*⁹ ได้วิจัยและพัฒนาระบบโดยคำนึงถึงความต้องการของนักท่องเที่ยว ในด้านการประหยัดพลังงาน และการไปเยี่ยมชมสถานที่ให้ได้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด Kim *et al.*¹⁰ ได้พัฒนาระบบแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว พร้อมกับแสดงตำแหน่งของสถานที่บนแผนที่ Wu *et al.*¹¹ ได้พัฒนาระบบวางแผนท่องเที่ยวที่คำนึงถึงสภาพอากาศ Lim *et al.*¹² ได้พัฒนาระบบวางแผนการเดินทางส่วนบุคคลซึ่งใช้คลังรูปถ่ายเพื่อหาความนิยมของสถานที่ Mikhailov *et al.*¹³ ได้พัฒนาระบบวางแผนการเดินทางออฟไลน์สำหรับสมาร์ทโฟนโดยคำนึงถึงปัจจัย เช่น ตำแหน่งปัจจุบัน สภาพอากาศ การจราจรและเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ Rani *et al.*¹⁴ ได้พัฒนาระบบวางแผนการเดินทางโดยอาศัยเทคนิคการจัดกลุ่มและปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเพื่อสร้างแผนการเดินทางที่มีระยะทางและระยะเวลาน้อยที่สุด Wibowo *et al.*¹⁵ ได้พัฒนาระบบวางแผนการเดินทางเพื่อให้สามารถเดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวและร้านอาหารในเวลาที่เหมาะสม

สำหรับงานวิจัยที่ให้ความสำคัญกับประเด็นด้านความปลอดภัยในการท่องเที่ยว ได้แก่ Andre *et al.*¹⁶ ได้ออกแบบระบบในการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขนส่งสาธารณะ ซึ่งต้นแบบของระบบจะคำนึงถึงปัจจัย 3 ด้าน คือ ความปลอดภัย สภาพอากาศ และโอกาสในการออกกำลังกาย โดยนำข้อมูลอาชญากรรมมาใช้ในการประเมินด้านความปลอดภัย ส่วน Niraki and Kim¹⁷ ได้พัฒนาระบบวางแผนเส้นทางส่วนบุคคล ภายใต้ปัจจัยด้านต่าง ๆ เช่น สถานที่ท่องเที่ยว สภาพอากาศ สิ่งอำนวยความสะดวก และความปลอดภัย โดยปัจจัยด้านความปลอดภัยในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลเกี่ยวกับลานจอดรถ ตู้โทรศัพท์ ศูนย์การแพทย์ ศูนย์บริการ และสถานที่ตำรวจมาใช้ในการวางแผนการท่องเที่ยว Li *et al.*¹⁸ และคณะนำเสนอระบบวางแผนเส้นทางซึ่งคำนึงถึงความปลอดภัยโดยอาศัยข้อมูลสถิติอุบัติเหตุของเส้นทางนั้นควบคู่กับพยากรณ์อากาศเพื่อคำนวณหาดัชนีความเสี่ยงของเส้นทาง Liu *et al.*¹⁹ และคณะนำเสนอระบบวางแผนท่องเที่ยวซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดปัจจัยในการพิจารณาได้เองเพิ่มเติมจากปัจจัยต้นทุนและเวลาที่ระบบกำหนดให้โดยปริยาย เช่น ปัจจัยด้านความปลอดภัย

จากงานวิจัยในอดีตจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านความปลอดภัยในการท่องเที่ยวยังมีจำนวนน้อย และพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนไม่ครบถ้วน ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอโปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวที่คำนึงปัจจัยด้านความปลอดภัย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความปลอดภัยในอดีต ด้าน

ความไม่ปลอดภัยในปัจจุบัน และด้านการสนับสนุนความปลอดภัย พร้อมกับนำกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย (Analytic Network Process) มาใช้ในการจัดอันดับสถานที่ท่องเที่ยวและเส้นทาง รวมทั้งนำเสนอแผนการเดินทางท่องเที่ยวผ่านแผนที่ของโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่ออำนวยความสะดวกในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ให้กับผู้ใช้งาน

ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความปลอดภัยได้ ดัง Table 1

Table 1 A comparison of this research to related work

Research work	Planning		Considered Factors				Key Techniques
	Routing	Itinerary	Budget	Time	Weather	Safety	
Soo and Liang ⁵	✓	✓	✓	✓	-	-	Resolution of constraint violation
Ambite et al. ⁶	✓	-	-	✓	-	-	Hierarchical constraint planner
Ardissono et al. ⁷	-	✓	-	✓	-	-	Web services
Navabpour et al. ⁸	✓	-	-	✓	-	-	Service oriented architecture
Ngamsanit et al. ⁹	✓	-	-	✓	-	-	Progressive routing algorithm
Kim et al. ¹⁰	✓	-	-	-	-	-	Tag similarity matching
Wu et al. ¹¹	-	✓	-	✓	✓	-	Greedy and neighborhood search
Lim et al. ¹²	-	✓	-	✓	-	-	Orienteering problem
Mikhailov et al. ¹³	✓	✓	-	✓	-	-	Context-oriented, Graph theory
Rani et al. ¹⁴	✓	✓	-	✓	-	-	K-means, Traveling salesman
Wibowo et al. ¹⁵	-	✓	-	✓	-	-	Genetic Algorithm
Andre et al. ¹⁶	✓	-	-	-	✓	✓	Web services, Think aloud
Niraki and Kim ¹⁷	✓	-	-	-	-	✓	Analytic hierarchical process (AHP)
Li et al. ¹⁸	✓	-	-	-	✓	✓	Mixed-integer programming, Cloud
Liu et al. ¹⁹	✓	✓	✓	✓	-	optional	Linear temporal logic, A* Search
This research	✓	✓	-	✓	-	✓	Analytic Network Process (ANP)

สถาปัตยกรรมของโปรแกรมประยุกต์

โปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความปลอดภัย มุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยเป็นสำคัญ ผู้ใช้ทำหน้าที่

ป้อนข้อมูลการเดินทางเป็นข้อมูลนำเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์ จากนั้นโปรแกรมประยุกต์จะประมวลผลเพื่อแนะนำเส้นทางที่เหมาะสมตามระดับความปลอดภัย พร้อมกับนำเสนอแผนการเดินทางท่องเที่ยวผ่านแผนที่ ซึ่งกรอบแนวคิดการทำงานของโปรแกรมประยุกต์จะแสดงดัง Figure 1

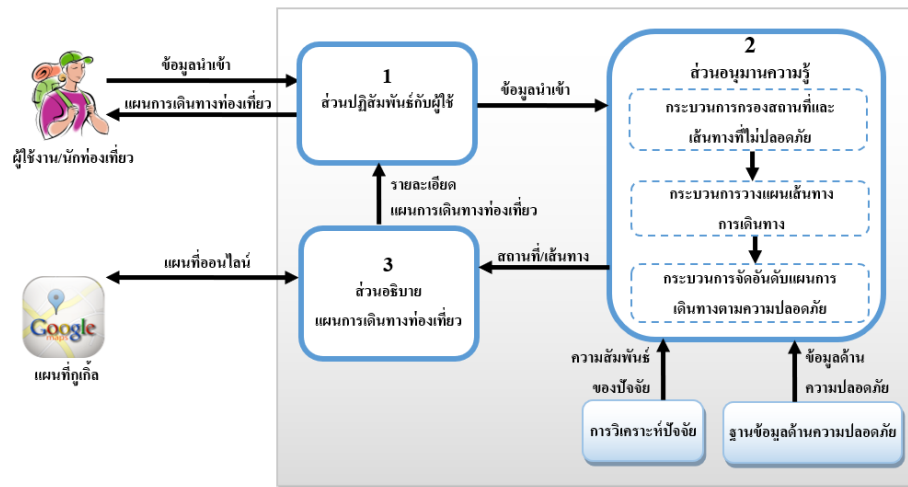


Figure 1 An architecture of a travel itinerary planning application under safety constraints

สถาปัตยกรรมของโปรแกรมประยุกต์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ ส่วนที่ 2 ส่วนอนุมานความรู้ และส่วนที่ 3 ส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ส่วนที่ 1 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ ผู้ใช้งานจะต้องระบุวันที่เดินทาง จุดเริ่มเดินทาง จุดหมายปลายทาง หรือสถานที่ที่ต้องการเดินทางไปท่องเที่ยว และระยะเวลาที่ต้องการใช้ในแต่ละสถานที่ เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์ ดังแสดงใน Figure 2

ส่วนที่ 2 ส่วนอนุมานความรู้ เป็นส่วนประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้และข้อมูลด้านความปลอดภัย โดยจะจัดอันดับและนำเสนอแผนการท่องเที่ยวที่คำนึงถึงความปลอดภัยมากที่สุด โดยส่วนอนุมานความรู้ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลักดังนี้

กระบวนการที่ 1 กระบวนการกรองสถานที่และเส้นทางที่ไม่ปลอดภัย เมื่อผู้ใช้ระบุสถานที่ท่องเที่ยวผ่านส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แล้ว โปรแกรมประยุกต์จะกรองสถานที่และเส้นทางที่ผ่านเหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยในปัจจุบันทิ้งไป

โดยตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลด้านความปลอดภัย ดังแสดงใน Figure 3



Figure 2 A user input screen

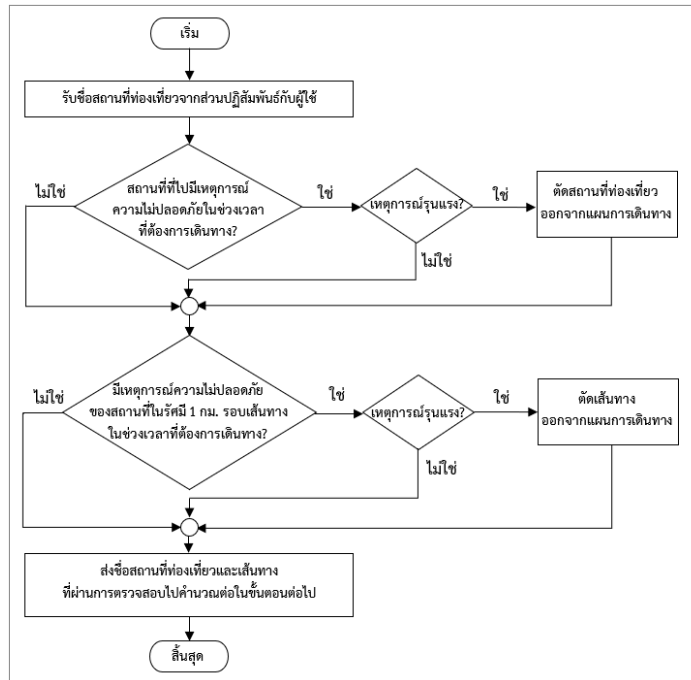


Figure 3 A flowchart of the unsafe place and route filtering algorithm

ทั้งนี้ฐานข้อมูลด้านความปลอดภัยจะเก็บข้อมูลจากรายงานของผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งข้อมูลจะถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้ดูแลระบบ

กระบวนการที่ 2 กระบวนการวางแผนเส้นทางการเดินทาง โดยนำขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดซึ่งได้ถูกนำเสนอแล้วในงานวิจัยก่อน²⁰ มาใช้ในการหาเส้นทาง เพื่อให้สามารถเดินทางไปไปยังสถานที่ต่าง ๆ ที่เหลือมาจากกระบวนการกรองสถานที่และเส้นทางที่ไม่ปลอดภัย โดยเดินทางให้ผ่านสถานที่มากที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด

กระบวนการที่ 3 กระบวนการจัดอันดับแผนการเดินทางตามความปลอดภัย ด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่ายจะทำให้ได้ค่าความปลอดภัยของสถานที่และเส้นทางตามลำดับ เพื่อนำเสนอให้ผู้ใช้เลือกตามความต้องการในส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการนี้จะกล่าวเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

ส่วนที่ 3 ส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว
โปรแกรมประยุกต์จะนำเสนอแผนการเดินทางเรียงลำดับตามคะแนนความปลอดภัย เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแผนการเดินทางตามความต้องการ เมื่อผู้ใช้เลือกแผนการเดินทาง โปรแกรมประยุกต์จะแสดงค่าความปลอดภัยตลอดเส้นทาง ระยะทาง เวลา อุบัติเหตุที่พบระหว่างเส้นทาง เวลาแวะพักระหว่างสถานที่ และแสดงพิกัดตำแหน่งของสถานที่แต่ละจุดเชื่อมโยงเป็นเส้นทางให้ผู้ใช้เห็นภาพชัดเจนผ่านแผนที่ ดังแสดงใน Figure 4



Figure 4 Route explanation screen

กระบวนการจัดอันดับสถานที่และเส้นทางตามความปลอดภัยด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่ายกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย เป็นเทคนิคในการตัดสินใจที่ใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ ของแต่ละปัจจัย และระหว่างเกณฑ์ภายในปัจจัย เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดในการตัดสินใจ²¹ ซึ่งมีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหาและสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ เป็นการกำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ได้

จากการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการท่องเที่ยว^{3,21-22} ซึ่งพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการท่องเที่ยว สามารถแบ่งได้เป็น 3 ด้าน ได้แก่

ด้านที่ 1 เหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยในปัจจุบัน หมายถึง การเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการท่องเที่ยวในปัจจุบัน ซึ่งหากเกิดเหตุการณ์รุนแรงก็ไม่ควรจะวางแผนการเดินทางให้ผ่านจุดนั้น เช่น การเกิดอุทกภัย การเกิดแผ่นดินไหว และการชุมนุมทางการเมือง ซึ่งได้ถูกตรวจสอบและตัดทิ้งไปในกระบวนการที่ 1

ด้านที่ 2 เหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยในอดีต หมายถึง สถิติการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็น

ถึงความไม่ปลอดภัยในการท่องเที่ยว ซึ่งมีปัจจัยและเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการประเมินความปลอดภัย ดังปัจจัยที่ 1-5 ใน Figure 5

ด้านที่ 3 สิ่งสนับสนุนความปลอดภัย หมายถึง ปัจจัยทางโครงสร้างพื้นฐานที่สนับสนุนด้านความปลอดภัยในการท่องเที่ยว เช่น สถานพยาบาล สถานีตำรวจ แสงสว่าง/ไฟฟ้า และโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งปัจจัยด้านนี้เป็นปัจจัยเสริมที่สำคัญต่อความปลอดภัยในการท่องเที่ยว ดังปัจจัยที่ 6 ใน Figure 5

โดยจะได้โครงสร้างความสัมพันธ์การตัดสินใจแบบเครือข่ายดัง Figure 5

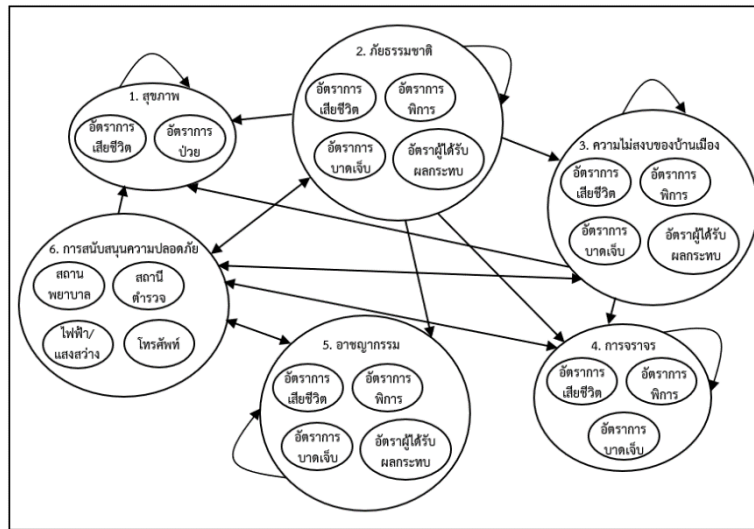


Figure 5 Factors and criterias of analytic network process (ANP)

ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบเมทริกซ์เชิงคู่ เป็นลักษณะของการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างคู่ของเกณฑ์ทั้งภายในและภายนอกกลุ่ม โดยเปรียบเทียบกันทุก ๆ คู่ ซึ่งค่าคะแนนความสำคัญได้มาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย จากการเก็บข้อมูลด้วยการสุ่มตัวอย่างตามสะดวก (Convenience Sampling) จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90²³ ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ว่า “ส่วนใหญ่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับปัจจัย A มากกว่าปัจจัย B ในระดับใด”

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาลำดับความสำคัญ โดยลำดับความสำคัญเกิดขึ้น คำนวณจากผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ ของทุกปัจจัย นำมาสังเคราะห์เพื่อให้

เกิดตัวเลขที่แสดงถึงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจต่าง ๆ ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบตามหลักการของกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่ายแสดงได้ดัง Table 2

จากข้อมูลใน Table 2 พบว่าเกณฑ์อัตราการเสียชีวิตจากปัจจัยด้านอาชญากรรมมีคะแนนความสำคัญมากที่สุด และเกณฑ์อัตราผู้ได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านภัยธรรมชาติมีคะแนนความสำคัญน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการเสียชีวิตจากปัจจัยด้านอาชญากรรมมีผลต่อการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวมากที่สุด ในขณะที่อัตราผู้ได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านภัยธรรมชาติมีผลต่อการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวน้อยที่สุด

Table 2 Weight of Criteria

Factor	Criteria	Weight	Rank
Health	Death rates	0.0710	4
Health	Illness rates	0.0138	19
Natural disasters	Death rates	0.0515	10
Natural disasters	Disability rates	0.0452	12
Natural disasters	Injury rates	0.0140	18
<u>Natural disasters</u>	<u>Casualty rates</u>	<u>0.0113</u>	<u>21</u>
Terrorist / political incidents	Death rates	0.0766	2
Terrorist / political incidents	Disability rates	0.0476	11
Terrorist / political incidents	Injury rates	0.0398	13
Terrorist / political incidents	Casualty rates	0.0223	15
Traffic	Death rates	0.0579	7
Traffic	Disability rates	0.0222	16
Traffic	Injury rates	0.0199	17
<u>Crime</u>	<u>Death rates</u>	<u>0.0788</u>	<u>1</u>
Crime	Disability rates	0.0720	3
Crime	Injury rates	0.0701	5
Crime	Casualty rates	0.0697	6
Safety facilities	Hospital	0.0279	14
Safety facilities	Police station	0.0576	8
Safety facilities	Public lighting	0.0572	9
Safety facilities	Public phone	0.0137	20

ขั้นตอนที่ 4 การจัดอันดับของสถานที่ท่องเที่ยว และเส้นทาง เพื่อเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น ซึ่งโปรแกรมประยุกต์จะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลด้านความปลอดภัย โดยพิจารณาจากชื่อสถานที่ท่องเที่ยวที่รับจากผู้ใช้งานในส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ และเส้นทางของแผนการเดินทางที่ได้รับจากกระบวนการวางแผนเส้นทางการเดินทางตามเงื่อนไขของเวลา ซึ่งคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยว นั้น โปรแกรมประยุกต์จะดึงข้อมูลตามชื่อของสถานที่ท่องเที่ยวโดยตรง หากไม่พบข้อมูลของสถานที่ดังกล่าว จะแทนค่าคะแนนความปลอดภัยด้วยค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทุกสถานที่ในฐานข้อมูล ส่วนการพิจารณาคะแนนความ

ปลอดภัยของเส้นทาง โปรแกรมประยุกต์จะตรวจสอบว่าในเส้นทางระหว่างต้นทางถึงปลายทาง มีข้อมูลด้านความปลอดภัยของสถานที่ต่าง ๆ ไนรัศมี 1 กิโลเมตร รอบเส้นทางนั้นหรือไม่ หากพบข้อมูล โปรแกรมประยุกต์ก็จะหาค่าเฉลี่ยคะแนนความปลอดภัยของสถานที่เหล่านั้นเป็นคะแนนของเส้นทางนั้น แต่หากไม่พบข้อมูลก็จะแทนค่าด้วยค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งหมดเช่นเดียวกับสถานที่ และสุดท้ายโปรแกรมประยุกต์จะคำนวณหาค่าเฉลี่ยของคะแนนความปลอดภัยตลอดทั้งแผนการเดินทาง โดยมีแผนผังลำดับงานของขั้นตอนวิธีในการหาคะแนนความปลอดภัยและจัดอันดับแผนการเดินทางดังแสดงใน Figure 6

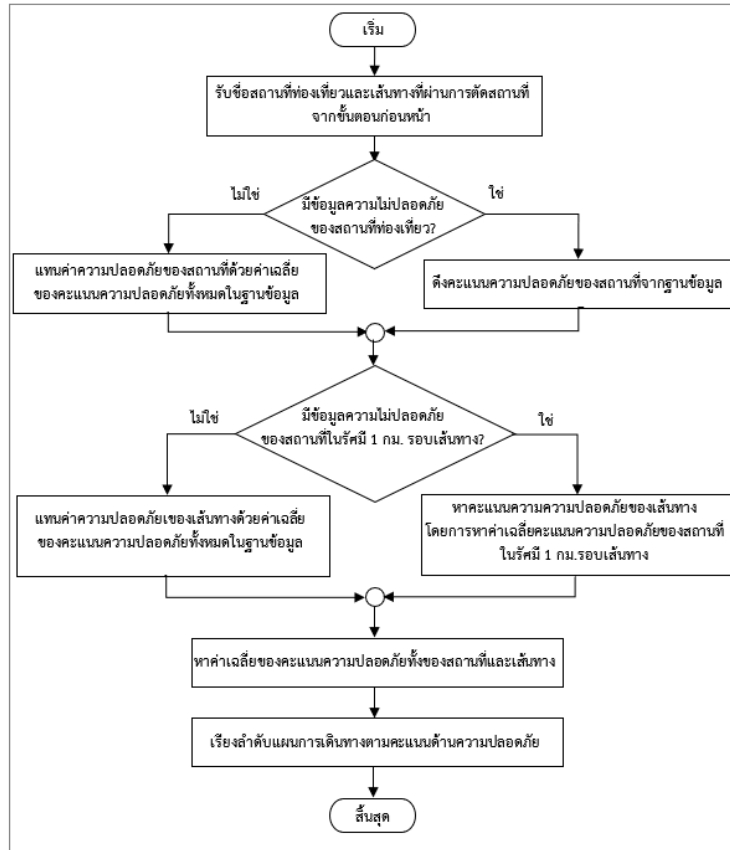


Figure 6 A flowchart of an algorithm for safety score calculation and itinerary ranking

ตัวอย่างการจัดอันดับแผนการเดินทาง เพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด โดยคำนึงถึงคะแนนด้านความปลอดภัยเป็นสำคัญ โดยมีทางเลือกในการวางแผนการเดินทางดังแสดงใน Figure 7

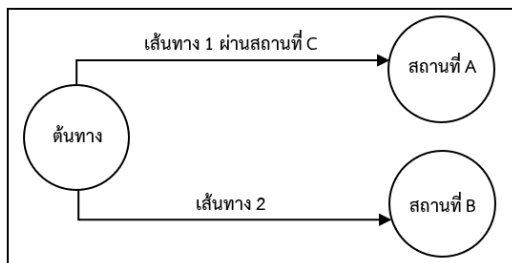


Figure 7 An example of trip plan option

จาก Figure 7 พบว่ามีทางเลือกที่จะไปยังสถานที่ 2 แห่ง คือ สถานที่ A และ B โดยเส้นทาง 1 จากต้นทางไปยังสถานที่ A จะมีสถานที่ C ที่อยู่ในรัศมี 1 กิโลเมตร ระหว่างเส้นทางนั้น และมีข้อมูลความปลอดภัยของสถานที่ C อยู่ในฐานข้อมูล ส่วนเส้นทางที่ 2 จากต้นทางไปยังสถานที่ B ไม่มีข้อมูลของสถานที่ใด ๆ ในรัศมี 1 กิโลเมตร รอบเส้นทางนี้ ดัง

นั้นในการคำนวณคะแนนความปลอดภัยของทางเลือก 2 ทางเลือก จะเกิดจากสถานที่ที่ต่างกัน ดังนี้

ทางเลือกที่ 1 จากต้นทางไปยังสถานที่ A จะเกิดจากคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ A และ C โดยสถานที่ C เป็นตัวแทนคะแนนความปลอดภัยของเส้นทาง 1 อย่างไรก็ตาม ถ้ามีสถานที่ในรัศมี 1 กิโลเมตร รอบเส้นทาง 1 มากกว่า 1 แห่ง จะนำคะแนนความปลอดภัยของสถานที่เหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนคะแนนของเส้นทางนั้น

ทางเลือกที่ 2 จากต้นทางไปยังสถานที่ B จะเกิดจากคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ B และคะแนนความปลอดภัยโดยเฉลี่ยของทุกสถานที่ในฐานข้อมูล ซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นทาง 2 เนื่องจากไม่มีสถานที่ใด ๆ ในรัศมี 1 กิโลเมตร รอบเส้นทาง 2 จึงนำค่าเฉลี่ยของคะแนนความปลอดภัยของทุกสถานที่ในฐานข้อมูลมาเป็นตัวแทน ในกรณีที่ไม่มีคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ที่ต้องการ หรือในกรณีที่เส้นทางที่ต้องการไม่มีสถานที่ใด ๆ ในรัศมี 1 กิโลเมตร

ตัวอย่างการคำนวณคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ที่เกี่ยวข้องแสดงดัง Table 3

Table 3 An example of safety score calculation

Factor	Criteria		Place A				Place B				Place C			
	Name	Weight	No.	Safety	Weight	Result	No.	Safety	Weight	Result	No.	Safety	Weight	Result
Health (Pers./Yr.)	Death	0.0121	2	Medium	0.3800	0.0040	1	High	0.6400	0.0077	0	Highest	1	0.00121
	Illness	0.0060	4	High	0.6400	0.0038	1	Highest	1	0.0060	0	Highest	1	0.0060
Natural Disasters (Pers./Yr.)	Death	0.1257	1	High	0.6291	0.0791	1	High	0.6291	0.0791	0	Highest	1.0000	0.1257
	Disability	0.0395	0	Highest	1.0000	0.0395	0	Highest	1.0000	0.0395	3	High	0.6280	0.0248
	Injury	0.0395	5	Highest	1.0000	0.0395	4	Highest	1.0000	0.0395	18	High	0.6280	0.0248
	Casualty	0.0395	120	High	0.6280	0.0248	30	Highest	1.0000	0.0395	0	Highest	1.0000	0.0395
Terrorist / Political Incidents (Pers./Yr.)	Death	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906
	Disability	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906	0	Highest	1.0000	0.0906
	Injury	0.0486	0	Highest	1.0000	0.0486	0	Highest	1.0000	0.0486	6	High	0.6287	0.0306
	Casualty	0.0486	12	High	0.6287	0.0306	0	Highest	1.0000	0.0486	0	Highest	1.0000	0.0486
Traffic (Pers./Yr.)	Death	0.0210	1	High	0.6322	0.0133	2	Medium	0.3908	0.0082	2	Medium	0.3908	0.0082
	Disability	0.0113	0	Highest	1.0000	0.0113	1	Highest	1.0000	0.0113	2	Highest	1.0000	0.0113
	Injury	0.0113	2	Highest	1.0000	0.0113	0	Highest	1.0000	0.0113	6	High	0.6289	0.0071
Crime (Pers./Yr.)	Death	0.0381	1	High	0.6289	0.0240	0	Highest	1.0000	0.0381	2	Medium	0.3836	0.0146
	Disability	0.0381	0	Highest	1.0000	0.0381	1	Highest	1.0000	0.0381	0	Highest	1.0000	0.0381
	Injury	0.0381	1	Highest	1.0000	0.0381	0	Highest	1.0000	0.0381	2	Highest	1.0000	0.0381
	Casualty	0.0123	0	Highest	1.0000	0.0123	1	Highest	1.0000	0.0123	1	Highest	1.0000	0.0123
Safety facilities (Min. or %)	Hospital	0.0627	50m.	High	0.6284	0.0394	150m.	Lowest	0.1494	0.0094	70m.	Medium	0.3870	0.0243
	Police St.	0.0175	65m.	Medium	0.3836	0.0067	110m.	Low	0.2329	0.0041	25m.	Highest	1.0000	0.0175
	Public Lighting	0.0984	80%	High	0.6293	0.0619	85%	Highest	1.0000	0.0984	85%	Highest	1.0000	0.0984
	Public Phone	0.1105	85%	Highest	1.0000	0.1105	80%	High	0.6283	0.0694	81%	Highest	1.0000	0.1105
Total			0.8185				0.8284				0.8737			

Table 3 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความปลอดภัยโดยกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย ทำให้ได้ค่าคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ A เท่ากับ 0.8185 สถานที่ B มีค่าเท่ากับ 0.8284 ส่วนสถานที่ C มีค่าเท่ากับ 0.8737 และค่าเฉลี่ยสำหรับนำไปใช้กรณีไม่พบข้อมูลด้านความปลอดภัยจะเท่ากับ 0.8402

ทั้งนี้การจัดอันดับแผนการเดินทางจะต้องพิจารณาความปลอดภัยทั้ง 2 ส่วนร่วมกัน ทั้งคะแนนความปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยว และคะแนนความปลอดภัยของเส้นทาง ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งเมื่อพิจารณาความปลอดภัยทั้งสถานที่ท่องเที่ยว และเส้นทางการเดินทางประกอบกันแล้วจะได้คะแนนความปลอดภัยของแผนการเดินทาง ดังนี้

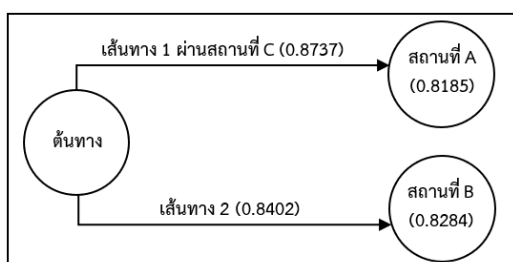


Figure 8 An example of safety score

ทางเลือกที่ 1 การเดินทางท่องเที่ยวไปสถานที่ A มีค่าคะแนนความปลอดภัย

$$= (0.8185+0.8737)/2 = 0.8461$$

ทางเลือกที่ 2 การเดินทางท่องเที่ยวไปสถานที่ B มีค่าคะแนนความปลอดภัย

$$= (0.8284+0.8402)/2 = 0.8343$$

ขั้นตอนที่ 5 เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด เมื่อโปรแกรมประยุกต์จัดอันดับสถานที่และเส้นทางตามความปลอดภัยแล้วจะแสดงผลโดยเรียงลำดับตามความปลอดภัยให้ผู้ใช้เลือกตามความต้องการ

ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

โปรแกรมประยุกต์จะเริ่มกระบวนการทำงานโดยการรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน ซึ่งจะประกอบด้วย วันเดินทาง จุดเริ่มต้นเดินทาง สถานที่ท่องเที่ยว เวลาแวะพัก ดังแสดงใน Figure 9 (A) เมื่อได้รับข้อมูลจากผู้ใช้งานครบถ้วนแล้วจะเข้าสู่ส่วนการเลือกแผนการเดินทาง โดยโปรแกรมประยุกต์จะสร้างแผนการเดินทางที่เหมาะสม จากแผนการเดินทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ และแสดงแผนการเดินทางโดยเรียงลำดับแผนการเดินทางซึ่ง

คำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ผู้ใช้เลือกใช้แผนการเดินทางตามต้องการ ดังแสดงใน Figure 9 (B) เมื่อผู้ใช้เลือกแผนการเดินทางที่ต้องการแล้ว โปรแกรมประยุกต์จะนำผู้ใช้เข้าสู่ส่วนอธิบายแผนการเดินทางที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน Figure 9 (C) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล 4 ส่วน คือ ส่วนแสดงข้อมูลด้านความปลอดภัย ส่วนแสดงแผนการท่องเที่ยว ส่วนแสดงแผนการเดินทาง และส่วนแสดงเส้นทางการเดินทาง

โดยส่วนแสดงเส้นทางการเดินทางจะแสดงผ่านแผนที่ดังแสดงใน Figure 10 (A) นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มจุดเกิดเหตุเข้ามายังโปรแกรมประยุกต์ได้ ซึ่งส่วนนี้จะถูกตรวจสอบความถูกต้องของอุบัติเหตุว่าได้เกิดขึ้นจริงหรือไม่ ก่อนที่จะถูกบันทึกลงฐานข้อมูลของอุบัติเหตุ ดังแสดงใน

Figure 10 (B) รวมทั้งมีส่วนค้นหาสถานใกล้เคียงกับผู้ใช้งาน ในระยะรัศมี 2 กิโลเมตร ในขณะที่เดินทางเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้ ได้แก่ ค้นหาพิกัดตำแหน่งของสถานที่เกิดอุบัติเหตุ ตำแหน่งของร้านอาหาร ปั๊มน้ำมัน ร้านซ่อมรถ ตู้เอทีเอ็ม โรงพยาบาล และสถานีตำรวจ ดังแสดงใน Figure 10 (C) สำหรับผู้ดูแลระบบ จะมีส่วนจัดการข้อมูลสถิติความไม่ปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนบันทึกข้อมูลความไม่ปลอดภัย และส่วนรายงานความไม่ปลอดภัย ดังแสดงใน Figure 11 ส่วนบันทึกข้อมูลทำหน้าที่ยืนยันข้อมูลความไม่ปลอดภัยเพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับนำไปคำนวณหาคะแนนความปลอดภัยในการจัดอันดับแผนการเดินทาง

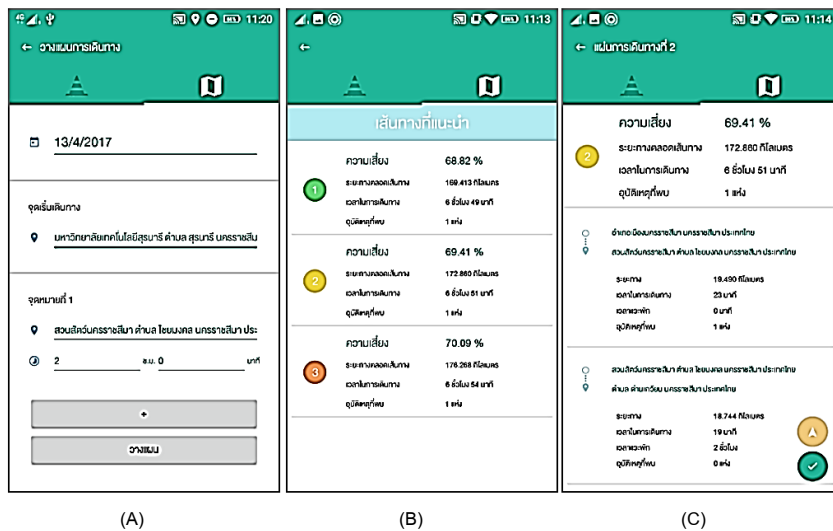


Figure 9 Application screens: (A) user input screen (B) travel plan selection screen (C) Itinerary explanation screen

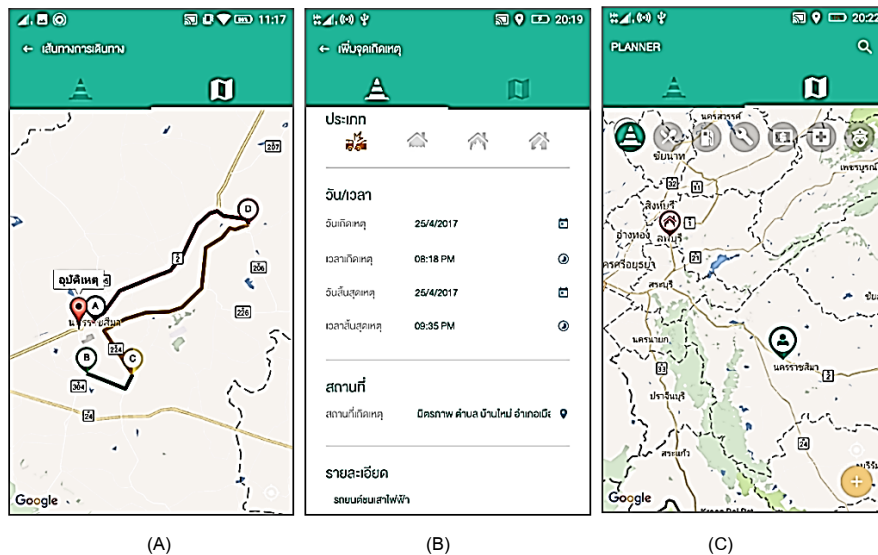


Figure 10 Application screens: (A) routing information screen (B) incident report screen (C) surrounding place searching screen

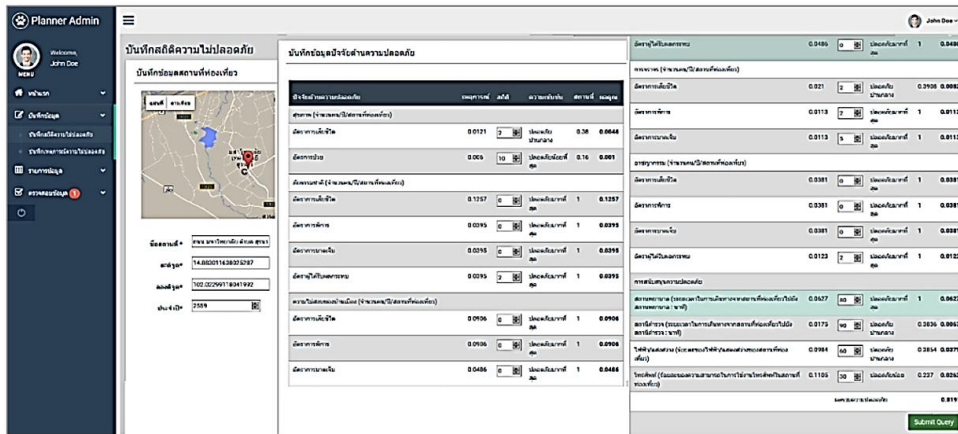


Figure 11 Incident management screen

ผู้ดูแลระบบสามารถรอกจำนวนสถิติที่เกิดเหตุการณ์ในสถานที่นั้น ๆ ตามปี ซึ่งโปรแกรมประยุกต์จะคำนวณค่าระดับความเข้มข้นจากสถิติของปัจจัยนั้น โดยจะนำข้อมูลค่าลำดับความสำคัญของความเข้มข้นมาแสดง และคำนวณคะแนนในแต่ละปัจจัยโดยอัตโนมัติ โปรแกรมประยุกต์จะคำนวณผลรวมความปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยวที่นั้น ซึ่งคะแนนผลรวมนี้จะนำไปใช้ในการจัดอันดับแผนการเดินทางในส่วนอนุมาณความรู้ของโปรแกรมประยุกต์

นอกจากนั้นผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลเหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านหน้าจอตงแสดงใน Figure 12 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนบันทึกเหตุการณ์และส่วนรายงานเหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยว ส่วนบันทึกเหตุการณ์ทำหน้าที่จัดการข้อมูลเหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ถือเป็นปัจจัยด้านความไม่ปลอดภัยในปัจจุบัน

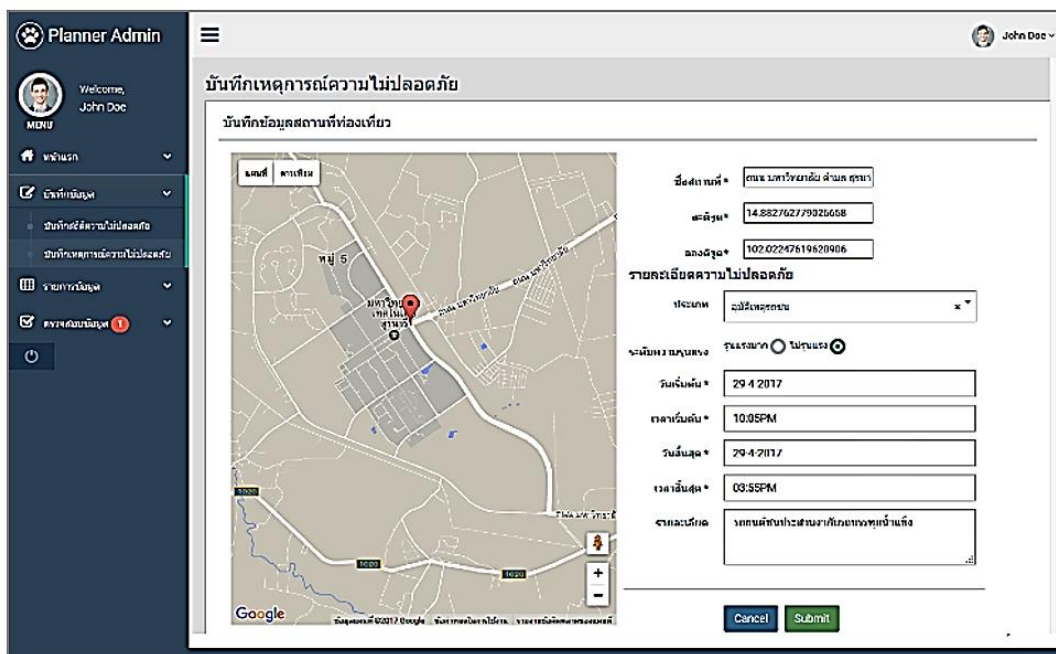


Figure 12 Incident management screen

ทั้งนี้หากเกิดเหตุการณ์รุนแรงมาก โปรแกรมประยุกต์จะคัดกรองสถานที่นั้น ๆ ออกจากแผนการเดินทาง โดยผู้ดูแลระบบจะบันทึกประเภทเหตุการณ์ ระดับความรุนแรง วันและเวลาที่เกิดเหตุการณ์ วันและเวลาที่สิ้นสุดเหตุการณ์

และรายละเอียดเพิ่มเติม ทั้งนี้ระบบสามารถใช้ค่าเฉลี่ยที่แสดง ความรุนแรงในการทำนายระยะเวลาของเหตุการณ์ความไม่ปลอดภัยในปัจจุบันได้²⁴ อาทิ น้ำท่วมมีระยะเวลาเฉลี่ย 2 สัปดาห์ ถนนขาดมีระยะเวลาเฉลี่ย 4 สัปดาห์โดยระดับความ

รุนแรงและช่วงวันที่ที่เกิดเหตุการณ์จะถูกโปรแกรมประยุกต์นำไปพิจารณาในการคัดกรองสถานที่ท่องเที่ยวบางแห่งออกจากแผนการท่องเที่ยวในส่วนอนุमानความรู้

การประเมินโปรแกรมประยุกต์

การประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของโปรแกรมประยุกต์ จะใช้แบบสอบถามเพื่อวัดระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยเน้นที่ความถูกต้อง และความเหมาะสมในการวางแผนเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ ตลอดจนให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ซึ่งใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่าน โดยแบบสอบถามมีค่าความเชื่อถือได้เท่ากับร้อยละ 84.5 ตามหลักการของครอนบาค²⁵

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์ ด้านประสิทธิผลของโปรแกรมประยุกต์ ด้านความปลอดภัยของโปรแกรมประยุกต์ และด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน สามารถจำแนกค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละด้านได้ดัง Table 4

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการที่โปรแกรมประยุกต์สามารถสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการท่องเที่ยว และนำเสนอ ต่อผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม จนทำให้ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.45, S.D. = 0.43$) สำหรับการกระจายของคะแนนของข้อมูล จะพิจารณาจากค่าคะแนนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.47 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการกระจายคะแนนน้อย นั่นคือกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ใกล้เคียงกัน

Table 4 Usability evaluation results

No.	Evaluation criteria	\bar{x}	S.D.	Level
1	Effectiveness of the application	4.33	0.43	Highest
2	Efficiency of the application	4.65	0.38	Highest
3	Security of the application	4.39	0.44	Highest
4	User satisfaction	4.44	0.47	Highest
	Overall	4.45	0.43	Highest

โดยข้อเสนอแนะอื่นๆ จากผู้เชี่ยวชาญได้ใช้การบรรยายสรุปประเด็นจากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม สามารถสรุปเป็น 4 ประเด็น ตามการประเมินความพึงพอใจทั้ง 4 ด้าน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ด้านประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์ ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า การวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแต่ละครั้ง ระบบต้องสร้างรูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด พร้อมกับค้นหาสถานที่ที่ไม่ปลอดภัยในรัศมี 1 กิโลเมตรของเส้นทางที่ผ่าน พร้อมทั้งจัดอันดับแผนการเดินทางตามความปลอดภัย จึงต้องใช้เวลาในการประมวลผล แต่อย่างไรก็ตาม ระบบมีส่วนในการแสดงความก้าวหน้าของการประมวลผลให้กับผู้ใช้งานได้รับทราบในหน้าจอรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบความก้าวหน้าในการประมวลผลของระบบได้

ประเด็นที่ 2 ด้านประสิทธิผลของโปรแกรมประยุกต์ ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า การเลือกสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อบันทึกข้อมูลด้านความไม่ปลอดภัยควรสามารถเพิ่มสถานที่

ท่องเที่ยวที่อยู่นอกเหนือจากการค้นหาในแผนที่ที่ถูกล็อกได้ แล้วเก็บไว้ในฐานข้อมูลตนเอง เพื่อแสดงผล ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นในการนำไปใช้วางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ประเด็นที่ 3 ด้านความปลอดภัยของโปรแกรมประยุกต์ ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า การจำกัดสิทธิการกรอกข้อมูลด้านความปลอดภัยมีความเหมาะสม ผู้ที่จะกรอกข้อมูลต่าง ๆ ได้จะต้องได้รับชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่านจากผู้ดูแลระบบก่อน แต่อย่างไรก็ตาม การแจ้งเตือนเมื่อพบข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบควรปรับให้ทุกหน้าจอเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน

ประเด็นที่ 4 ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า การจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ ทั้งรูปภาพ ปุ่มกด สัญลักษณ์ โทนมสี และรูปแบบของการจัดการข้อมูลด้านต่าง ๆ เป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้ใช้งานได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตาม ควรปรับปรุงการใช้สีในหน้าจอบันทึกสถิติด้านความไม่ปลอดภัยของสถานที่ท่องเที่ยวให้หน้าสนใจมากยิ่งขึ้น

สรุปผลและงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความปลอดภัย และพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว เพื่อนำเสนอผลการจัดแผนการท่องเที่ยวที่คำนึงถึงความปลอดภัยในการท่องเที่ยวเป็นสำคัญ โดยได้จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการท่องเที่ยวมาใช้ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความปลอดภัยในอดีต ด้านความปลอดภัยในปัจจุบัน และด้านการสนับสนุนความปลอดภัย โปรแกรมประยุกต์ที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการกรองสถานที่และเส้นทางที่ไม่ปลอดภัย กระบวนการวางแผนเส้นทางการเดินทางตามเงื่อนไขของเวลาด้วยขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด และกระบวนการจัดอันดับแผนการเดินทางตามความปลอดภัยด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบเครือข่าย โปรแกรมประยุกต์นี้จะนำเสนอแผนการเดินทางท่องเที่ยวในรูปแบบแผนที่ของโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ผลการประเมินความสามารถในการใช้งานได้ของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อความสามารถในการใช้งานได้ของโปรแกรมประยุกต์โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุดในทุกมิติ ($\bar{x} = 4.45$, S.D. = 0.43)

ทั้งนี้โปรแกรมประยุกต์สำหรับวางแผนการท่องเที่ยวในอนาคตจะคำนึงถึงปัจจัยอื่นอีก อาทิ การใช้พลังงานในการเดินทาง งบประมาณ และกิจกรรมด้านการท่องเที่ยว เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการวางแผนท่องเที่ยวที่เหมาะสมต่อการเดินทางมากที่สุด นอกจากนี้โปรแกรมประยุกต์จะสามารถสกัดข้อมูลข่าวสารเพื่อคาดการณ์วันสิ้นสุดของเหตุการณ์ที่ไม่ปลอดภัยได้อย่างอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความทันสมัยของข้อมูล รวมไปถึงการเพิ่มเติมส่วนอธิบายเกี่ยวกับการเดินทางในลักษณะของการนำทางให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Miniwatts Marketing Group. Internet Usage in Asia. [Internet] [cited 2019 Feb 10]. Available from: <https://bit.ly/29kEOQq>.
2. Tourism Council of Thailand. Annual Report 2559. [Internet] [cited 2019 Feb 2]. Available from: <https://bit.ly/2SI644>.
3. Tourism Academic Association of Thailand. Seminar summary. Service Management and Tourism in Crisis, E-Tourism Authority of Thailand Tourism Journal 2010;7:1-8.
4. Angskun J., Angskun T. Online trip planners for the tourism industry. Suranaree Journal of Social Science 2008;2:33-45.
5. Soo VW, Liang SH, Recommending a trip plan by negotiation with a software travel agent, In: M. Klusch and F. Zambonelli (Eds): CIA 2001. LNCS (LNAI) 2001;2182:32-7.
6. Ambite JL, Barish G, Knoblock CA, Muslea M, Oh J, Minton S. Getting from here to there: interactive planning and agent execution for optimizing travel. American Association for Artificial Intelligence 2002;8:862-9.
7. Ardissono L, Goy A, Petrone G, Segnan M, Torasso P. Ubiquitous user assistance in a tourist information server, In De Bra P, Brusilovsky P, Conejo R. (eds.) AH. LNCS 2002;2347:14-23.
8. Navabpour S, Ghoraie LS, Malayeri AA, Jingxi C, Jianguo L. An intelligent traveling service based on SOA, IEEE Congress on Services; 2008 July 6-11; Hawaii, USA; 2008. P.191-8.
9. Ngamsanit P, Angskun T, Angskun J. An online trip planner under energy and time constraints, The 13th National Computer Science and Engineering Conference, Bangkok, Thailand, November 4-6; 2009. P.67-72.
10. Kim J, Kim H, Ryu JH. TripTip: a trip planning service with tag-based recommendation, Proceeding of and International Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems 27; 2009. P.3467-72.
11. Wu B, Murata Y, Shibata N, Yasumoto K, Ito M. A method for composing tour schedules adaptive to weather change, IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2009;4:1407-12.
12. Lim K, Chan J, Leckie C, Karunasekera S. Personalized trip recommendation for tourists based on user interests, point of interest visit durations and visit recency, Knowledge and Information Systems 2018;54(2): 375-406
13. Mikhailov S, Kashevnik A. Smartphone-based tourist trip planning system: a context-based approach to

- offline attraction recommendation. MATEC Web Conf; 2018. P.1-6.
14. Rani S, Kholidah KN, Huda SN. A development of travel itinerary planning application using traveling salesman problem and K-means clustering approach. ICSCA; 2018. P.327-31.
 15. Wibowo BS, Handayni M, A Genetic algorithm for generating travel itinerary recommendation with restaurant selection. IEEM; 2018.
 16. Andre P, Wilson ML, Owens A, Smith DA. Journey planning based on user needs. CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems; 2007. P.2030-5.
 17. Niaraki AS, Kim K. Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach. Expert Systems with Applications 2009; 36: 2250-9.
 18. Li Z., Kolmanovsky I., Atkins E., Lu J., Filev D.P., Michelini J. Road risk modeling and cloud aided safety-based route planning. IEEE Transaction on Cybernetics 2016;46:2473-83.
 19. Liu X., Fritz C., Klenk M. On extensibility and personalizability of multi-modal trip planning. 11th Multi-disciplinary Workshop on Advances in Preference Handling, Louisiana, USA, February 3; 2018.
 20. Angskun J, Korbua J, Angskun T. Time-related factors influencing on an itinerary planning system, Journal of Hospitality and Tourism Technology 2016;7(1):16-36.
 21. Nuchailac S. Predicting the impact of the new flu epidemic 2009 (Swine Flu: H1N1). E-Tourism Authority of Thailand Tourism Journal; 2009. P.1-14.
 22. Wangsai P. World Travel 2009. E-Tourism Authority of Thailand Tourism Journal; 2009. P.1-11.
 23. Tonsirikongkon W. AHP: The most popular decision-making process in the world. Bangkok: SE-ED; 2000.
 24. Surajit Pumikong, Thara Angskun and Jitimon Angskun. A method for safety-related news extraction. Suranaree Journal of Social Science 2013;7(2):79-97.
 25. Kaiyawan Y. Basic Research. Bangkok: Suweeriyasan; 2002. P.107-9.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์น้ำท่วมเขตเทศบาลนครเชียงใหม่

Influence Factors The Performance Of Artificial Neural Network Model For Flood Forecast: Case Study Chiangmai Municipality

ยุพิน ไชยสมภาร,¹ ทวี ชัยพิมลผลิน²

Yupin Chaisompran¹, Tawe Chaipimonplin²

Received: 16 February 2019 ; Revised : 25 March 2019 ; Accepted: 23 April 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลกริดน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM 5 ขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และถ้ามีการลดขนาดข้อมูลกริดน้ำฝนเป็น 10x10 กิโลเมตร อาจเพิ่มศักยภาพความแม่นยำของแบบจำลองในการพยากรณ์น้ำท่วม ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีการลดขนาดกริดโดยวิธีการประมาณค่าในช่วงวิธี IDW (Inverse Distance Weight) และวิธี Kriging นอกจากนี้มีการนำข้อมูลระดับน้ำจากเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลเป็นปัจจัยนำเข้าไปเพื่อดูอิทธิพลของเขื่อนต่อการพยากรณ์น้ำท่วมของแบบจำลอง และการหาโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อนเร้นเป็น 1 และ 2 ชั้น (กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt (LM) จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นกำหนดเป็น 1 โหนด 50% และ 100% ของจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า) และกำหนดโดยใช้เหตุการณ์น้ำท่วมปี ค.ศ.1994-2006 การทดลองแบ่งได้เป็น 3 การทดลอง คือ A (ข้อมูลนำเข้าน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตรจากวิธี IDW และ Kriging) B (ข้อมูลนำเข้าน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร จากวิธี IDW และ Kriging และระดับน้ำในเขื่อน) และ C (ใช้ชุดข้อมูลนำเข้าเป็นน้ำฝนขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร และระดับน้ำในเขื่อน) ผลการวิจัยพบว่า การทดลอง A ข้อมูลน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร จากวิธี IDW มีจำนวน 1 ชั้นซ่อนเร้น โหนดในชั้นซ่อนเร้นมีจำนวนเท่ากับจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า (100%) มีผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมากที่สุด มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0 - (-0.6) เมตร

คำสำคัญ: การประมาณค่าในช่วง โครงข่ายประสาทเทียม การพยากรณ์น้ำท่วม WRF-ECHAM5 เชียงใหม่

Abstract

This research is about the use of rainfall grid data from the WRF-ECHAM 5 model with grid size 20 x 20 kilometers for flood forecasting at Chiang Mai Municipality by artificial neural network model. If the rainfall grid could be reduced to 10x10 kilometers, the potential of model for flood forecasting would be increased, so to reduce the rainfall grid, two interpolation techniques were used.- IDW (Inverse Distance Weight) and Kriging,. Moreover, the data of water level at Mae-Ngad Somboon Chon Dam is included as input variables. Also, finding the suitable architecture structure of model comparing the number of 1 and 2 hidden layers (learning algorithm is Levenberg-Marquardt (LM) with number of hidden nodes 1 Node, 50% and 100% of input variables. Flood events between 1994-2006 are used in this study. There are three experiments; A (input variable is rainfall grid data 10x10 Km from IDW and Kriging), B (input variables

¹ นักศึกษาลัทธิศาสตรบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจักษ์ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Bachelor degree student in Geography, Faculty of Social Sciences, Chiangmai University.

² Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiangmai University.

* Corresponding E-mail: Chaisompran@gmail.com

are rainfall grid data 10x10 Km from IDW and Kriging and water level data from Dam) and C (input variables are rainfall grid data 20x20 Km and water level data from Dam). The result found that experiment A with IDW rainfall grid 10x10 Km, 1 hidden layer with number of hidden nodes same with number of input variables (100%) has the most effect with artificial neural model with 0 - (-0.6) meters error.

Keyword: Interpolation, Artificial Neural Network, Flood Forecast, WRF-ECHAM5, Chiang Mai

บทนำ

การคาดการณ์ภูมิอากาศ (climate projection) โดยการสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change scenario) และการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศเป็นแนวทางเพื่อรับมือกับผลกระทบต่าง ๆ จากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ ซึ่งหากการพยากรณ์ภายใต้การคาดการณ์ภูมิอากาศที่มีความเป็นไปได้สูงด้วยเทคโนโลยีแบบจำลองมีความละเอียดมากขึ้น และเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในพื้นที่ระดับเล็กลง เช่น ประเทศหรือเมือง อาจนับเป็นความเป็นไปได้ในการระบุภัย และเตรียมพร้อมรับมือได้ในอนาคต แบบจำลอง WRF-ECHAM 5 เป็นแบบจำลองหนึ่งที่ถูกพัฒนามาจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก เพื่อใช้ในการศึกษาสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค ที่มีความละเอียดกริด 20x20 กิโลเมตร โดยข้อมูลที่มีขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร อาจมีผลต่อการพยากรณ์ในพื้นที่ขนาดเล็ก¹ ดังนั้นการลดขนาดกริดอาจเป็นทางเลือกที่นำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบหาผลที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำมาประเมินภัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นโรคระบาด ความมั่นคงทางอาหาร ภัยแล้ง และน้ำท่วม โดยเฉพาะภัยที่เกิดจากน้ำท่วมเป็นภัยที่ต้องมีการเตรียมความพร้อมรับมือเนื่องจากมีระยะเวลาในการเกิดที่รวดเร็ว แตกต่างจากภัยแล้งที่ต้องใช้เวลานาน มีสัญญาณเตือนก่อนเกิดเป็นเวลานาน หากพิจารณาในระดับประเทศน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยสร้างความเสียหายในทางสังคม และเศรษฐกิจของประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2554 มีผู้เสียชีวิตจำนวน 657 ราย บ้านเรือนเสียหาย 2,329 หลัง² จังหวัดเชียงใหม่เป็นหนึ่งในจังหวัดที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมในครั้งนี้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ โดยเฉพาะเศรษฐกิจการท่องเที่ยว เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่เป็นเมืองที่มีจำนวนนักท่องเที่ยว และธุรกิจที่ให้บริการในเรื่องของการท่องเที่ยวสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ จากผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้หลายหน่วยงานเริ่มหันมาให้ความสนใจในการศึกษา วิจัยเหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษา

เพื่อพยากรณ์ และคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์เหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่การคัดเลือกข้อมูลนำเข้า และการกำหนดกระบวนการเรียนรู้ จำนวนชั้นซ่อนเร้น และโหนดในชั้นซ่อนเร้นเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และความแม่นยำของแบบจำลอง โดยในส่วนของข้อมูลนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วมนอกจากปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากเขื่อนมีผลต่อการเกิดน้ำท่วมในหลายพื้นที่ ดังเช่นน้ำท่วมในปี 2554 สรุปลสาเหตุการเกิดน้ำท่วมนอกจากปัจจัยทางกายภาพ ฝน และพื้นที่รับน้ำแล้ว เขื่อนถูกจัดเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เพิ่มปริมาณน้ำในพื้นที่ท้ายน้ำให้สูงขึ้น และปริมาณการไหลของน้ำจากเขื่อนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง³ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมในการคาดการณ์ระดับน้ำ สถานี P.1

พื้นที่ศึกษาและข้อมูล

เทศบาลนครเชียงใหม่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงตอนกลางเชิงดอยสุเทพ ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยมีแม่น้ำปิงไหลผ่านใจกลางเมืองในแนวเหนือ-ใต้ เทศบาลนครเชียงใหม่มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 40.216 ตารางกิโลเมตร ทั้งหมด 14 ตำบล⁴ จากลักษณะภูมิประเทศ และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่วนใหญ่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบเมืองมากกว่าด้านอื่น ๆ เมื่อเข้าฤดูน้ำหลากในพื้นที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดโดยเฉพาะทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้ในเขตเทศบาลสร้างกำแพงเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.4 เมตร เป็น 3.7 เมตรหลังจากเกิดน้ำท่วมในปี 2004⁵ นอกจากนี้ในพื้นที่มีสถานีวัดระดับน้ำ คือ สถานี P.1 ณ สะพานนวรัฐ ซึ่งมีการตรวจวัดระดับน้ำรายชั่วโมง และรายวัน พร้อมทั้งรายงานสถานการณ์น้ำท่วมให้กับประชาชนในพื้นที่

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลกริดน้ำฝนรายวันจากแบบจำลอง WRF-ECHAM 5 (ความละเอียดกริด 10x10 และ 20x20 กิโลเมตร) ข้อมูลระดับน้ำรายวัน และข้อมูลระดับน้ำจากเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ที่คาดว่าข้อมูลทั้ง 3 ชุดนี้มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่

Figure1 แสดงให้เห็นลักษณะโดยรวมของพื้นที่

ศึกษา ที่ประกอบด้วยตำแหน่งสถานีวัดระดับน้ำ P.1 สะพาน นวรัฐ (จุดสีแดง) และตำแหน่งของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล ที่ คาดว่ามีอิทธิพลต่อน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ โดย ช้อนทับกับกริดน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM 5

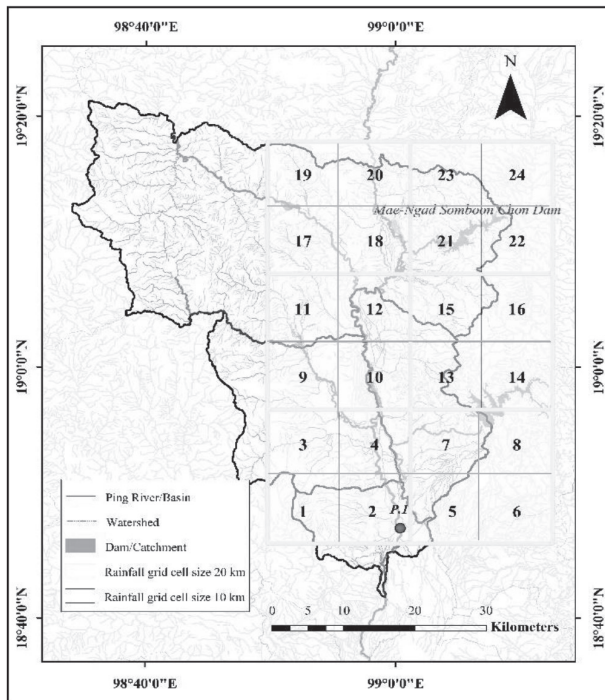


Figure 1 Study area and Rainfall grid data

กริดขนาด 20x20 กิโลเมตร (6 กริดใหญ่ เส้นสี เหลือง) และขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร (24 กริดย่อย เส้นสี ดำ) ซึ่งเป็นข้อมูลน้ำฝนที่ลดขนาดโดยวิธีการ ประมาณค่าใน ช่วง แบบ IDW และ Kriging) ช่วงเวลาดั้งแต่ปี ค.ศ. 1994-2008 มีเหตุการณ์น้ำท่วมทั้งหมด 17 เหตุการณ์ ในระยะเวลา 8 ปี (ค.ศ. 1994: 4 เหตุการณ์ , 1995: 3 เหตุการณ์, 2001: 1 เหตุการณ์, 2002: 1 เหตุการณ์, 2003: 1 เหตุการณ์, 2004: 2 เหตุการณ์, 2005: 3 เหตุการณ์ และ 2006: 2 เหตุการณ์) (Figure 2)

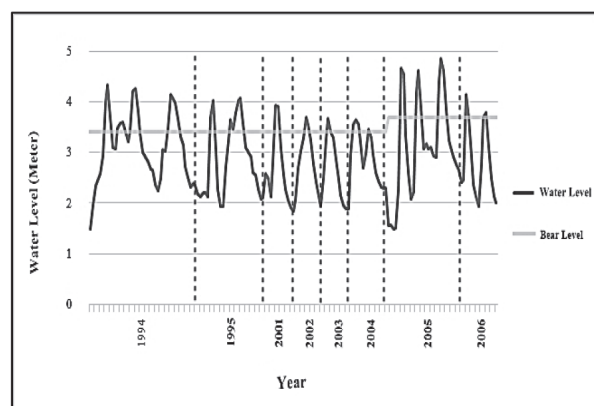


Figure 2 Flood event graph 8 Year (1994-2006)

วิธีการวิจัย

การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีประสิทธิภาพต่อความ แม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการคาด การณ์น้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ผู้วิจัยออกแบบการ ทดลอง 3 การทดลอง (Table 1) คือ

- A ชุดข้อมูลนำเข้าเป็นน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร จำนวน 16 กริด (ข้อมูลกลุ่ม IDW และกลุ่ม Kriging) จำนวนข้อมูลนำเข้า 112 ข้อมูล กำหนดชั้นช้อนเร็นเป็น 1 และ 2 ชั้นช้อนเร็น จำนวนโหนดในชั้นช้อนเร็น 1 50% และ 100% โหนด
- B ชุดข้อมูลนำเข้าเป็นน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร จำนวน 16 กริด (ข้อมูลกลุ่ม IDW และกลุ่ม Kriging) และข้อมูลระดับน้ำในเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล จำนวนข้อมูลนำ เข้า 113 ข้อมูล ชั้นช้อนเร็นเป็น 1 และ 2 ชั้นช้อนเร็น จำนวน โหนดในชั้นช้อนเร็น 1 50% และ 100% โหนด
- C ชุดข้อมูลนำเข้าเป็นน้ำฝนขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร จำนวน 6 กริด และระดับน้ำในเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ ชล จำนวนข้อมูลนำเข้า 43 ข้อมูล ชั้นช้อนเร็นเป็น 1 และ 2 ชั้นช้อนเร็น จำนวนโหนดในชั้นช้อนเร็น 1 50% และ 100% โหนด

โดยคัดเลือกข้อมูลนำเข้าจากจำนวนเหตุการณ์น้ำ ท่วมทั้งหมด 17 เหตุการณ์ แบ่งเป็นเหตุการณ์เรียนรู้ 70% (12 เหตุการณ์ ปี 1994 (4 เหตุการณ์) 2001 2002 2003 (3 เหตุการณ์) 2004 (2 เหตุการณ์) และ 2005 (3 เหตุการณ์)) และเหตุการณ์ทดสอบ 30% (5 เหตุการณ์ ปี 1995 (3 เหตุการณ์) และ 2006 (2 เหตุการณ์)) ซึ่งทั้ง 3 การทดลองใช้ เหตุการณ์รูปแบบเดียวกันในการเรียนรู้และทดสอบ เนื่องจาก ผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบว่าชุดข้อมูลนำเข้าแบบใดมี ประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากกว่า เมื่ออยู่ในสถานการณ์ เรียนรู้และทดสอบรูปแบบเดียวกัน

ในส่วนของข้อมูลน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF- ECHAM 5 ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลที่มีขนาด กริด 10x10 กิโลเมตร และข้อมูลที่มีขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร ณ ระยะเวลาที่ต่างกัน (6 ช่วงเวลา) ประกอบด้วย ระยะเวลา t, t-1, t-2,.....และ t-5 (ระยะเวลาในการเคลื่อนตัว ของน้ำ) โดยข้อมูลน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตรมีจำนวน ข้อมูลนำเข้าทั้งหมด 112 ข้อมูล จากทั้งหมด 168 ข้อมูล และ ข้อมูลน้ำฝนขนาดกริด 20x20 กิโลเมตรมีข้อมูลนำเข้าทั้งหมด 42 ข้อมูล การคัดเลือกข้อมูลน้ำฝนนำเข้าของกริดขนาด 10x10 กิโลเมตร จะคัดเลือกเฉพาะกริดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อ น้ำท่วมในพื้นที่เท่านั้นโดยเลือกใช้เฉพาะ 16 กริดจากทั้งหมด 24 กริด เนื่องจากข้อมูลน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตรเป็น ข้อมูลที่ทำการลดขนาดโดยวิธีการ Interpolation 2 แบบคือ

IDW และ Kriging ทำให้ข้อมูลนำเข้าในการทดลองที่ A และ B มีข้อมูลนำเข้า 2 ชุด ส่วนข้อมูลระดับน้ำจากเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลคัดเลือกตามข้อมูลระดับน้ำรายวัน และข้อมูลน้ำฝน

การออกแบบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กำหนดให้ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ LM (Levenberge-Marquardt) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่รวดเร็วใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อย กำหนดชั้นซ่อนเร้น 1 และ 2 ชั้นซ่อนเร้น ส่วนจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นกำหนดเป็น 1 โหนด, 50% และ 100% (100% ของข้อมูลนำเข้า) ใน Table 1 แสดงราย

ละเอียดของโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ใช้ในการทดลอง

การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองผู้วิจัยเลือกใช้ค่า PDIFF (Peake Difference)⁶ เป็นค่าความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ และค่าเหตุการณ์จริงในแต่ละเหตุการณ์ หากค่า PDIFF เป็นค่าติดลบแสดงว่าแบบจำลองพยากรณ์ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ดังสมการที่ 1

$$PDIFF = \max(\hat{Q}_i) - \max(Q_i) \text{ [for } i = 1 \text{ to } n] \quad (1)$$

ค่า $\max(\hat{Q}_i)$ แทนค่าสูงสุดจากแบบจำลอง
 ค่า $\max(Q_i)$ แทนค่าสูงสุดจากเหตุการณ์จริง

Table 1 Structure of artificial neural network architecture: experiments A B and C

Structure of Architecture	Experiments A	Experiments B	Experiments C
1 Layer	112:1:1, 112:56:1, 112:112:1	113:1:1, 113:57:1, 113:113:1	43:1:1, 43:21:1, 43:43:1
2 Layer	112:1:1:1, 112:1:56:1, 112:1:112:1, 112:56:1:1, 112:56:56:1, 112:56:112:1, 112:112:1:1, 112:112:56:1, 112:112:112:1	113:1:1:1, 113:1:57:1, 113:1:113:1, 113:57:1:1, 113:57:57:1, 113:57:113:1, 113:113:1:1, 113:113:57:1, 113:113:113:1	43:1:1:1, 43:1:21:1, 43:1:43:1, 43:21:1:1, 43:21:21:1, 43:21:43:1, 43:43:1:1, 43:43:21:1, 43:43:43:1

ผลการศึกษา

จากการเปรียบเทียบผลการทดลอง A B และ C ที่กำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 และ 2 ชั้น พบว่า จำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว และให้ผลการเรียนรู้ที่ใกล้เคียงกับค่าเหตุการณ์น้ำท่วมจริงมากกว่า จำนวนชั้นซ่อนเร้น 2 ชั้น ที่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน มากกว่า 24 ชั่วโมง และเมื่อจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นมีจำนวนเพิ่ม

มากขึ้นแบบจำลองไม่สามารถประมวลผลได้ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแบบ 2 ชั้นซ่อนเร้นมีจำนวนผลลัพธ์ไม่ครบตามที่กำหนดไว้ ส่วนจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 การทดลองสรุปได้ว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น n โหนด ให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำท่วมจริงมากกว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น 1 และ 50% โดยเปรียบเทียบจากกราฟ PDIFF (Figure 3)

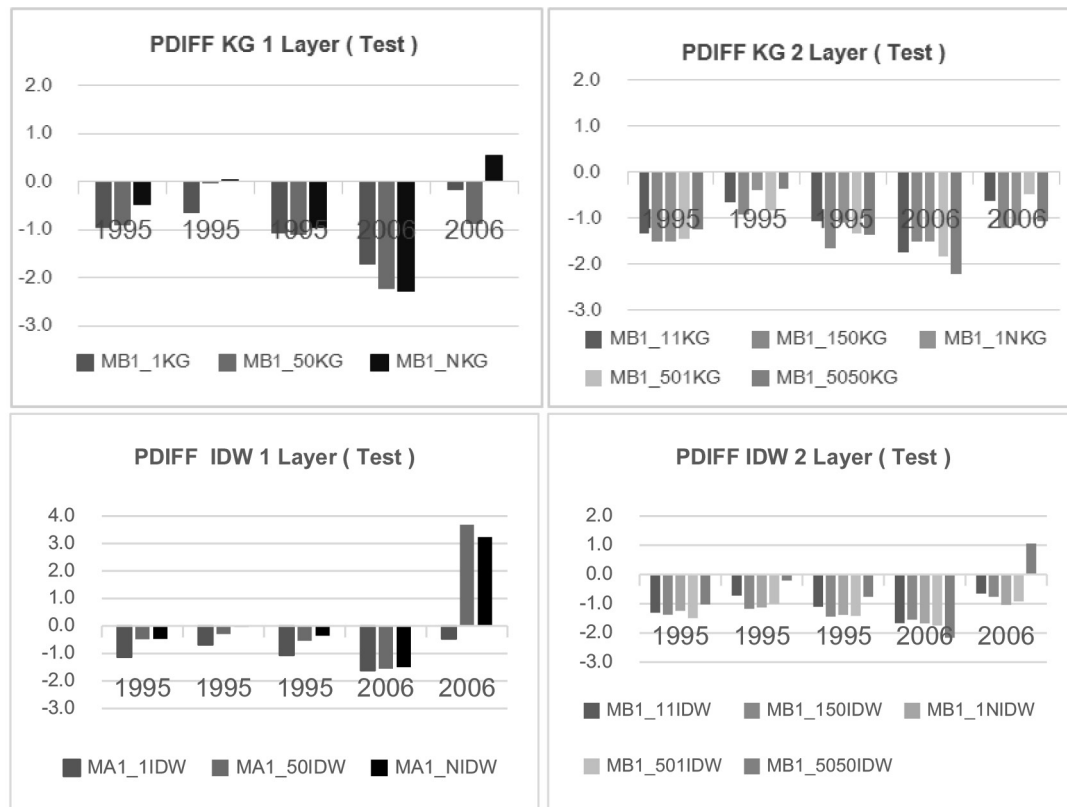


Figure 3 PDIFF value of IDW data and Kriging data (1 and 2 hidden layer)

นอกจากการเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อนเร้น และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นแล้ว Figure 3 แสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูลน้ำฝน 10x10 กิโลเมตรที่เป็นข้อมูลนำเข้า ซึ่งพบว่าชุดข้อมูลนำเข้าแบบ IDW แบบ 1 ชั้นซ่อนเร้นมีค่า PDIFF เข้าใกล้ค่า 0 มากกว่าชุดข้อมูลนำเข้าแบบ Kriging โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเหตุการณ์น้ำท่วมที่เป็นผลพยากรณ์จากจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ n (s_1, s_2, s_3) แม้ว่าในบางเหตุการณ์ชุดข้อมูลนำเข้าแบบ IDW จะมีการพยากรณ์ที่เกินกว่าค่าเหตุการณ์จริง แต่เมื่อมองในภาพรวมแล้วชุดข้อมูลนำเข้าแบบ IDW มีค่าเข้าใกล้ค่า 0 มากที่สุดในช่วง $(-0.353) - (-0.472)$ ค่าการพยากรณ์ส่วนใหญ่ที่ติดลบเนื่องจากผู้วิจัยกำหนดค่า PDIFF โดยใช้ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ลบกับค่าน้ำท่วมจริงเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลที่พยากรณ์ได้ชัดเจนมากที่สุด ส่วนข้อมูลน้ำฝนนำเข้าขนาดกริด 20x20 กิโลเมตรเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลน้ำฝนนำเข้าขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร ชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น (Figure 4) พบว่าค่า PDIFF จากกริดขนาด 10x10 กิโลเมตรมีค่าเข้าใกล้ 0 มากกว่าค่าจากกริดขนาด 20x20 กิโลเมตร ถึง 4 เหตุการณ์ (เหตุการณ์ปี 1995 3 เหตุการณ์ และ 2006 อีก 1 เหตุการณ์)

สามารถสรุปได้ว่าขนาดกริดที่ลดลงส่งผลต่อความแม่นยำในการพยากรณ์ของแบบจำลอง เนื่องจากขนาดพื้นที่ในการศึกษาที่มีขนาดที่เล็กลงมีรายละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น ดังเช่นการคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองโลกในการคาดการณ์มองว่ามีความละเอียดของข้อมูลต่ำ ดังนั้นการพัฒนาเพื่อลดขนาดของข้อมูลให้สัมพันธ์กับพื้นที่สามารถลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง นอกจากข้อสรุปที่ว่าจำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นซ่อนเร้น โหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ n และ ชุดข้อมูลน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร (IDW) มีผลต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว อีกหนึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาคือ ปัจจัยระดับน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง A (ข้อมูลนำเข้าน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร) B (ข้อมูลนำเข้าน้ำฝนขนาดกริด 10x10 กิโลเมตร และข้อมูลระดับน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล) และ C (ข้อมูลนำเข้าน้ำฝนขนาดกริด 20x20 กิโลเมตร และข้อมูลระดับน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล) (Figure 5) เพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจนว่าเขื่อน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์น้ำท่วมหรือไม่

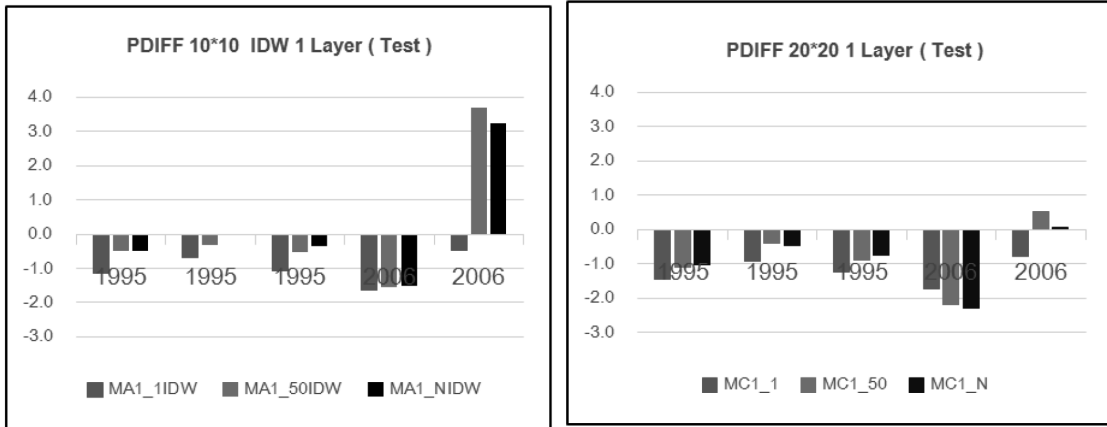


Figure 4 PDIFF value of grid cell 10x10 and 20x20 kilometer

Figure 5 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง A B และ C โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่มีจำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นซ่อนเร้น ที่สรุปแล้วว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากที่สุด เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจผลการศึกษาดังง่ายขึ้น ทั้ง 3 การทดลองมีผลการพยากรณ์ที่เข้าใกล้ ค่า 0 ในหลายเหตุการณ์ (น้ำท่วมขนาดเล็ก) แต่ผลการทดลอง A และ B มีกราฟที่เข้าใกล้ค่า 0 มากกว่าการทดลอง C อาจเนื่องจากปัจจัยน้ำฝนที่มีขนาดกริดที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง A และ B เพื่อหาข้อสรุปในเรื่องปัจจัยระดับน้ำในเขื่อน หากพิจารณาจากกราฟใน Figure 5 เห็นว่าการทดลอง B มีจำนวนเหตุการณ์ (4 เหตุการณ์) ที่กราฟเข้าใกล้ค่า 0 มากกว่า

การทดลอง A (3 เหตุการณ์) แต่หากนำค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของทั้งสองการทดลองมาเปรียบเทียบพบว่า การทดลอง A มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการทดลอง B โดยการทดลอง A มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0 - (-0.6) B มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0 - (-0.9) สรุปผลการเปรียบเทียบในส่วนของปัจจัยน้ำเข้า ข้อมูลน้ำฝนจากแบบจำลองมีผลต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแบบจำลองมากกว่า ข้อมูลระดับน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล แต่หากนำข้อมูลการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนมาใช้เป็นปัจจัยน้ำเข้าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ให้กับแบบจำลองมากกว่า³

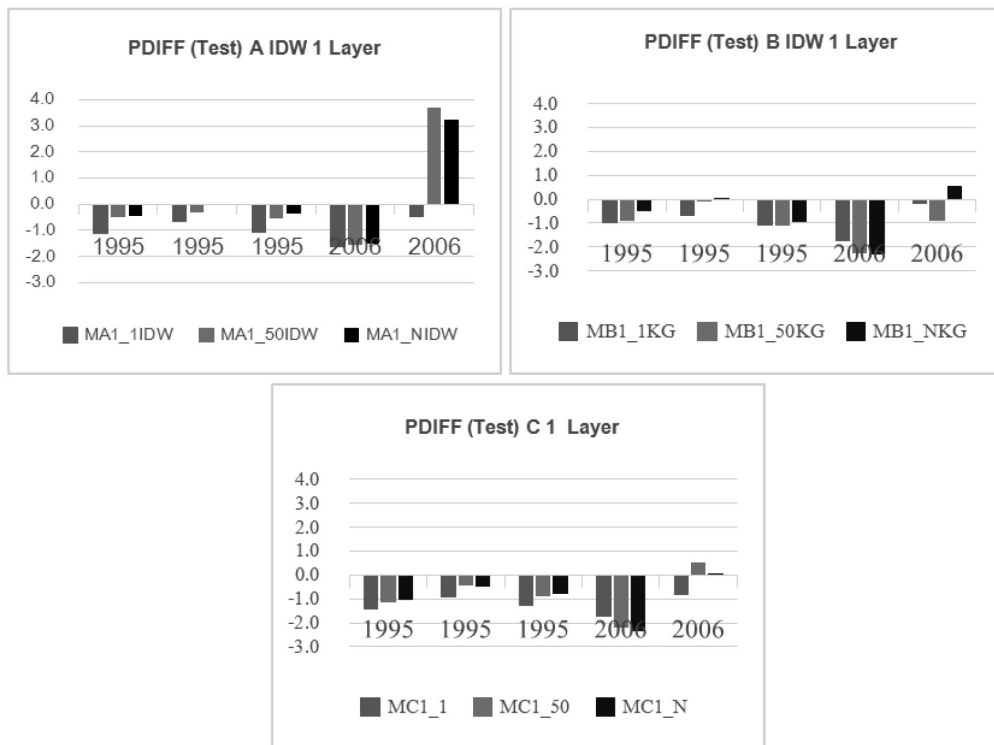


Figure 5 PDIFF value of experiments A B and C

วิจารณ์และสรุปผล

การพยากรณ์น้ำท่วมโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมเป็นข้อมูลนำเข้า (ระดับน้ำรายวัน น้ำฝนรายวันจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 และระดับน้ำจากเขื่อนแม่จันทสมบูรณ์ชล) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์มากที่สุดคือ ข้อมูลน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 ที่ทำการลดขนาดกริดจาก 20x20 เป็น 10x10 กิโลเมตร นอกจากข้อมูลนำเข้าแล้วพบว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นของแบบจำลองเอง เมื่อทำการพยากรณ์แล้วโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 50% ให้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าของเหตุการณ์จริงมากกว่าโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 และ n แม้หากพิจารณาย้อนกลับไป Figure 1 และ 2 จะพบว่าผลการพยากรณ์ที่ได้จากโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 มีผลการพยากรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในทุกเหตุการณ์ แม้จะไม่ดีที่สุดก็ตามซึ่งในกรณีนี้ผู้วิจัยสรุปว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 มีระบบการวิเคราะห์ที่ง่ายไม่ซับซ้อนเนื่องจากจำนวนโหนดมีน้อยประกอบกับข้อจำกัดในเรื่องของเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีน้อย ความหลากหลายในการเกิดเหตุการณ์จึงลดลง เหตุผลที่กล่าวมาทำให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 ไม่ใช่โหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ดีที่สุดของการทดลองนี้

ในส่วนของจำนวนของชั้นซ่อนเร้นการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเร้นให้กับแบบจำลอง นอกจากจะเพิ่มจำนวนของชุดข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองแล้ว ยังเป็นการเพิ่มเวลาในการประมวลผลให้กับแบบจำลองเนื่องจากความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ในบางครั้งผลที่ได้จากการพยากรณ์มีค่าที่เกินกว่าค่าจริง และไม่มีค่าของเหตุการณ์ หรือโหนดใดที่เข้าใกล้ค่า 0 เลย นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเร้นทำให้ในบางการทดลองผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ไม่ครอบคลุมตามจำนวนที่กำหนดเนื่องจากแบบจำลองใช้เวลาในการประมวลผลนาน และในท้ายที่สุดโปรแกรมไม่สามารถทำงานต่อไปได้นี้เป็นข้อสรุปที่ชัดเจนว่าในกรณีที่มีจำนวนชุดข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก การเพิ่มจำนวนของชั้นซ่อนเร้นเป็นวิธีการที่ไม่แนะนำ และการใช้ชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

ข้อเสนอแนะเนื่องจากในงานมีข้อจำกัดในเรื่องของเหตุการณ์ที่ใช้ในการเรียนรู้ และทดสอบ ทำให้แบบจำลองมีทางเลือกในการเรียนรู้เหตุการณ์ที่ไม่หลากหลายมากนัก ประกอบกับในการทดลองนี้กำหนดให้ทั้ง 3 การทดลองใช้เหตุการณ์รูปแบบเดียวกันในการเรียนรู้ และทดสอบ เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับแบบจำลอง และผลลัพธ์ที่จะได้จากการพยากรณ์ การสลับเหตุการณ์ และการเพิ่มชนิดข้อมูลนำเข้า เป็นอีกหนทางเลือกที่ทำให้ผลการทดลองมีความหลากหลายขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ท่านผู้ช่วยวิจัยและผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณ ดร.ชาคริต โชติอมรศักดิ์ จากศูนย์ภูมิภาคศึกษาด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม สำหรับข้อมูลจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 และศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบนกรมชลประทาน สำหรับข้อมูลระดับน้ำรายวัน ณ สถานี P1 สะพานนารัฐ

เอกสารอ้างอิง

1. ยุพิน ไชยสมภาร, ทวี ชัยพิมลผลิน. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาคเพื่อคาดการณ์น้ำท่วมในเทศบาลนครเชียงใหม่. เอกสารการประชุมวิชาการนิสิตนักศึกษาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย. 2558.
2. คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ. ความเสียหายน้ำท่วม. สืบค้นจาก <http://www.thaiwater.net>. 10 มิถุนายน 2561.
3. ทวี ชัยพิมลผลิน. การใช้ภาพเรดาร์และข้อมูลอุทกวิทยา ร่วมกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2557;33(3): 267-274.
4. เทศบาลนครเชียงใหม่. สภาพทั่วไปของเทศบาลนครเชียงใหม่. สืบค้นจาก <http://www.cmcity.go.th/cmcity/index.php/th/s-menu-detailth>. 10 มิถุนายน 2561.
5. ทวี ชัยพิมลผลิน. การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์ระดับน้ำ สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมในลุ่มน้ำมูล. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2557.
6. Dawson CW, Abrahart, RJ, See LM. HydroTest: a web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. Environmental Modelling & Software.2007; 22(7): 1034-1052.
7. รัชเวช หาญชูวงศ์, วลัยรัตน์ บุญไทย และ ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น. การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2 & B2 โดยข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน. ENGINEERINGTRANSECTIONS.2017; 20(42).

8. พิมพ์กานต์ บุญสวัสดิ์. การย่อส่วนแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาคด้วยเทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่. งานวิจัยอิสระ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2560.
9. ยุพิน ไชยสมภาร, ทวี ชัยพิมลผลิน. การพยากรณ์ระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2560;9 (17): 83-90.
10. ยุพิน ไชยสมภาร, ทวี ชัยพิมลผลิน และชาคริต โชติอมรศักดิ์. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคาดการณ์น้ำท่วมในอนาคต: กรณีศึกษาเทศบาลนครเชียงใหม่. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2560; 20(20): 169-178.
11. สุภาวดี ช้องกำ, ทวี ชัยพิมลผลิน. การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคาดการณ์น้ำท่วม ณ สถานี Y.16 บางระกำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561;37(1): 119-129.
12. Apaydin H, Sonmez FK, Yildirim YE. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Research*. 2004; 28(1): 31-40.
13. Buytaert W, Celleri R, Willems P, Bievre DB, Wyseure G. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. 2006;329: 413-421.
14. Chaipimonplin T, See LM, Kneale PE. Using radar data to extend the lead time of neural network forecasting on the River Ping. *Disaster Advances*. 2010;3(3): 35-43.
15. Chotamonsak C. Climate Change Simulations for Thailand Using Regional Climate Model. PhD thesis, Chiang Mai: Chiang Mai University, Thailand. 2012.
16. Keong KC, Mustafa M, Mohammad AJ, Sulaiman MH, Abdullah NRH. Artificial neural network flood prediction for sungai isap residence. In *Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), IEEE International Conference on 2016*;236-241.
17. Paul A, Das P. Flood Prediction Model using Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*. 2014;3(7): 473-478.
18. Tan QF, Lei XH, Wang X, Wang H, Wen X., Ji Y, Kang AQ. An adaptive middle and long-term runoff forecast model using EEMD-ANN hybrid approach. *Journal of Hydrology*. 2018.

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Assessment of Carbon Stock and the Potential Income of the Carbon Offset in Agroforestry System, Lablare District, Uttaradit Province

ชาติทอง โพธิ์ตั้ง¹, สุภาวดี น้อยน้ำใส¹, ปริญญา ไกรวุฒินันท์¹

Chattanong Podong, Suphawadee Noinamsai¹, Parinya Krivuttinun¹

Received: 3 February 2019 ; Revised : 25 March 2019 ; Accepted: 23 April 2019

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นและเกิดปัญหาต่างๆ ตามมาอีกมากมาย โดยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงมีการทำอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) เพื่อร่วมกันแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน และในภายหลังได้มีการทำข้อตกลงเพิ่มเติมได้แก่ พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เพื่อให้ความร่วมมือในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก มีผลการประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนก็เป็นอีกแนวทางที่จะนำไปสู่กลไกการลดก๊าซเรือนกระจก โดยในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ จากการศึกษาการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตร ต่อพื้นที่ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์แบบตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจ (Voluntary carbon market) มีมูลค่า 39.6398 เหรียญสหรัฐต่อเฮกแตร์ หรือ 2,946.93 บาทต่อเฮกแตร์ (209.30 บาทต่อไร่) โดยพบว่าปริมาณการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนของไม้ผลในระบบวนเกษตรสวนผลไม้ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ มากที่สุดคือ ลางสาด มีมูลค่า 89.3010 เหรียญสหรัฐต่อเฮกแตร์ หรือ 2,946.93 บาทต่อเฮกแตร์ (471.51 บาทต่อไร่)

คำสำคัญ: ระบบวนเกษตร คาร์บอนเครดิต การชดเชยคาร์บอน การกักเก็บคาร์บอน ก๊าซเรือนกระจก

Abstract

Greenhouse gas emissions from human activities are the cause of the greenhouse effect, which influences climate change, causing the average temperature on the surface of the Earth to rise and many other problems. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) is a global initiative that addresses global warming and later, there was an agreement. The Kyoto Protocol seeks cooperation to reduce greenhouse gas emissions. The assessment of carbon capture and carbon offset is another way to reduce GHG emissions in the agroforest system in Laplae District, Uttaradit Province. This study is on the estimation of carbon offsets in agroforestry in Laplae District, Uttaradit Province, with a voluntary carbon market value of 39.6398 USD per ha or 2,946.93 Baht per ha. It was found that the amount of carbon offset value of fruit trees in agroforestry system in Laplae District, Uttaradit Province was the highest in *Lansium parasiticum* (*Lansium domesticum* Corr.) at 89.3010 USD per ha or 2,946.93 Baht / ha (471.51 Baht per rai).

Keywords: Agroforestry, Carbon credit, Carbon offset, Carbon stock, Greenhouse gas

¹ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000 2 สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, 53000 2 Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, 65000

บทนำ

การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนาทำให้การทำลายป่าเพิ่มมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวก่อให้เกิดผลร้ายต่อความเป็นอยู่ของทั้งมนุษย์ พืชและสัตว์ การลดลงอย่างรวดเร็วของป่าทางภาคเหนือของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดอุตรดิตถ์เกิดขึ้นเนื่องจากการทำไม้และการถางป่าเพื่อทำการเกษตรโดยมีการทำลายต่อเนื่องและยาวนานทำให้ช่วงที่ผ่านมามีการใช้ทรัพยากรและที่ดินป่าไม้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และไม่สมประโยชน์ ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงในอัตราสูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม และความสมดุลของสภาพแวดล้อมก่อให้เกิดปัญหาความขัดแย้งในการใช้ประโยชน์ทรัพยากร และที่ดินป่าไม้ที่รุนแรงและกว้างขวางยิ่งขึ้นท่ามกลางความขัดแย้งดังกล่าวอย่างต่อเนื่องนี้ การลดลงของป่าไม้ก็เป็นไปอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้การบริหารจัดการทรัพยากรและที่ดินป่าไม้ของประเทศในปัจจุบันและอนาคตสอดคล้องกับนโยบายของรัฐและความต้องการของสังคมตามกระแสโลกาภิวัตน์ที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วตลอดจนประสานกลมกลืนกับแผนการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆที่เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องมีการทบทวนและปรับปรุงกำหนดรูปแบบวิธีการปลูกและบำรุงป่าและปรับปรุงระบบนิเวศต้นน้ำเพื่อเป็นกรอบแนวทางในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ส่วนอนุรักษ์ป่าร่วมกับการทำการเกษตรให้เป็นไปอย่างมีระบบและต่อเนื่อง พื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์มีการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้โดยการดำเนินการแก้ไขปัญหาเรื่องการผลิตและจำหน่ายของรายได้อื่นที่ไม่เพียงพอของชุมชนที่สูงบนพื้นฐานการรักษาสภาพป่าโดยการใช้ไม้ผลปลูกร่วมกับไม้ยืนต้นซึ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ซึ่งการปลูกพืชรูปแบบวนเกษตรนี้มีความสามารถเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการปลูกไม้หลายต้นปนกันความหลากหลายทางชีวภาพสูงขึ้น

ในการบ่งชี้กระบวนการทางนิเวศวิทยามีมากมายหลายวิธี เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพที่เพิ่มมากขึ้นหรือความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นแต่การบ่งชี้อีกรูปแบบนั้นคือการใช้กลไกความสมดุลของธาตุอาหารโดยเฉพาะคาร์บอนเป็นตัวบ่งชี้เพราะว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก สุขภาพอนามัยของมนุษย์และรวมถึงผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจและสังคมอย่างมาก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบนิเวศบกถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญ (IPCC,2001) ปริมาณของของการปลดปล่อยและสะสมคาร์บอนในระดับโลกยังเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาค้นคว้ากันต่อไปเพราะว่าการแลกเปลี่ยน

คาร์บอนระหว่างบรรยากาศกับพื้นดินยังคงมีหลายตัวกำหนด โดยเฉพาะการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน, การใช้ปุ๋ยและการผันแปรและเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมจะเกี่ยวข้องและควบคู่ไปกับการส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศท่ามกลางการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่อง (Post et al.,1998) เช่น การที่ป่าไม้ที่ถูกทำลายและเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ทำการเกษตรจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน (Shrestha et al.,2004) การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนเริ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 และ เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.5 % ต่อปี ซึ่งจะมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยพบว่าในปี ค.ศ. 1980 – 1989 มีค่าประมาณ 1.7 Pg C yr⁻¹ และในปี ค.ศ. 1989 – 1998 มีค่าประมาณ 1.6 Pg C yr⁻¹ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลกระทบต่อ การสะสมและปลดปล่อยคาร์บอนในดินและพรรณพืชและทำให้ศักยภาพของการสะสมคาร์บอนเปลี่ยนแปลงไปซึ่งโดยปกติแล้วคาร์บอนจะสะสมในดินทั้งในพื้นที่เกษตรป่าไม้หรือทุ่งหญ้าซึ่งจะสะสมมากที่สุดในพื้นที่ป่าไม้เกษตรกรรมและทุ่งหญ้าตามลำดับ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาในสาขาของระบบวนเกษตรที่มีความแตกต่างเพื่อใช้ข้อมูลในการประเมินถึงความสมดุลได้อย่างชัดเจนในระบบวนเกษตรที่มีการปลูกไม้ผลร่วมกับป่าไม้แล้วแปลงระดับความสมดุลเป็นจำนวนเงินโดยอาศัยกลไกของคาร์บอนเครดิตเพื่อให้เกษตรกรเข้าถึงได้ง่าย นอกจากนั้นกระบวนการดังกล่าวสามารถนำมาใช้สนองตอบต่อกลไกการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบสมดุลเพื่อเตรียมความพร้อมและลดผลกระทบต่อมาตรการในการกีดกันทางการค้าโดยใช้ประเด็นทางสิ่งแวดล้อมในอนาคตที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

วิธีการศึกษา

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ได้ดำเนินการวิธีการศึกษา ดังนี้

1. สำรวจพื้นที่ศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงลักษณะภูมิประเทศ ชนิดป่า และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารเพื่อประกอบการสำรวจและกำหนดแปลงตัวอย่างในภาคสนาม
2. วางแปลงตัวอย่างตามไม้เด่นและตามระดับอายุที่แตกต่างกันของระบบวนเกษตรเป็นแปลงถาวรพื้นที่ละจำนวน 1 แปลงขนาด 40 x 40 เมตร สำหรับศึกษาข้อมูลไม้ใหญ่

(Trees) ซึ่งหมายถึง ต้นไม้ที่มีเส้นรอบวงที่ระดับ 1.30 เมตร (GBH) ตั้งแต่ 30 เซนติเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 เซนติเมตร) ขึ้นไป และมีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร เพื่อประเมินการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

3. สุ่มวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-25 และ 25-50 ซม. จำนวน 5 ตัวอย่างต่อแปลงเพื่อวิเคราะห์อนุภาคดินเหนียว (% clay) ปริมาณไนโตรเจน (total nitrogen) ปฏิกริยาอิน (pH) ความหนาแน่นดิน (bulk density) และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon: SOC) (Table 4) ซึ่งประเมินโดยวิธี wetoxidation method จากค่าอินทรีย์วัตถุของดิน (soil organic matter: SOM) (g kg^{-1}) = SOC (%) $\times 1.724 \times 10^2$ (Walkley & Black, 1934)

4. การประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนทุเรียน ใช้ตัวอย่างการประเมินรายได้จากการทำสัญญาในตลาด แบบสมัครใจ ตามวิธีการทำสัญญาของ California Carbon Market รวมกับ Chicago Climate Exchange (CCX) (Ignosh et al., 2009; Current et al., 2010) โดยกำหนดให้ระบบวนเกษตรมีปริมาณคาร์บอนคงที่ทุกๆ ช่วงเวลา 5 ปีและรายได้รวมทั้งหมด (US\$) ตลอดช่วงอายุของระบบวนเกษตรโดยตัดแปลงเป็นสมการ ดังนี้

$$Tc = Nc + Rc \quad (1)$$

โดยที่ Tc = รายได้ทั้งหมดจากการชดเชยตลอดช่วงการทำสัญญา (\$)

$$Nc = \text{รายได้จากการทำสัญญาคาร์บอนเครดิต} (\$)$$

โดยที่ $Nc = (Ia) - (Fi) \quad (2)$

$$Ia = (Ct) \times (CCX) \quad (3)$$

โดยที่ Ia = มูลค่าจากการซื้อขายคาร์บอนเครดิต (\$/ปี)

$$Ct = \text{ปริมาณคาร์บอนเครดิตที่ซื้อขาย (80\% ของ } Cs) \text{ (ตัน)}$$

โดยที่ Cs = ปริมาณการเก็บกักคาร์บอนในสวนเกษตร (ตัน)

CCX = ค่าเฉลี่ยราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาด CCX (4 \$/ตันคาร์บอน)

$$Fi = \text{ค่าธรรมเนียมในการทำสัญญา} (\$) \quad (4)$$

โดยที่ $Fi = (Fi, a + Fi, v + Fi, c)$

$$Fi, a = \text{ค่าธรรมเนียมในการทำสัญญากับตัวแทน (10\% ของมูลค่า } Ia) (\$)$$

Fi, v = ค่าธรรมเนียมในการตรวจสอบสัญญา (0.15 \$/ตัน ของ Ct) (\$)

$$Fi, c = \text{ค่าธรรมเนียมในการซื้อขายกับตลาด CCX}$$

(0.2 \$/ตัน ของ Ct) (\$)

Rc = รายได้จากการชดเชยจากปริมาณคาร์บอนเครดิตสำรองหลังสิ้นสุดสัญญา (\$)

โดยที่ $Rc = (Ir) - (Fj) \quad (5)$

Ir = มูลค่าการชดเชยจากปริมาณคาร์บอนเครดิตสำรอง (\$)

โดยที่ $Ir = (Cr) \times (CCX) \quad (6)$

Cr = ปริมาณคาร์บอนเครดิตสำรอง (20% ของ Cs) (ตัน)

CCX = ค่าเฉลี่ยราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาด CCX (4 \$/ตันคาร์บอน)

Fj = ค่าธรรมเนียมในการทำสัญญา (\$)

โดยที่ $Fj = (Fj, a + Fj, v + Fj, c) \quad (7)$

Fj, a = ค่าธรรมเนียมในการทำสัญญากับตัวแทน (10% ของมูลค่า Ir) (\$)

Fj, v = ค่าธรรมเนียมในการตรวจสอบสัญญา (0.15 \$/ตัน ของ Cr) (\$)

Fj, c = ค่าธรรมเนียมในการซื้อขายกับตลาด CCX (0.2 \$/ตัน ของ Cr) (\$)

ผลการศึกษา

1. สังคมพืชในระบบวนเกษตร

สังคมพืชป่าไม้ดั้งเดิมในท้องที่ตำบลแม่พลและตำบลผายหลวง อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นสังคมพืชป่าดิบแล้งพื้นที่วนเกษตรเป็นการปลูกไม้ผลแทรกเข้าไปภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ป่าจึงก่อให้เกิดระบบวนเกษตรที่มีไม้ผลเป็นพืชหลักแต่ในปัจจุบันบางพื้นที่ได้มีการตัดสางพันธุ์ไม้ป่าออกเป็นจำนวนมากและเหลือพันธุ์ไม้ป่าขึ้นอยู่ประปรายระบบวนเกษตรสวนผลไม้ในพื้นที่ทำการวิจัยส่วนใหญ่ประกอบด้วย ต้นกลางสาตและลองกองซึ่งเป็นผลไม้หลักเนื่องจากพื้นที่ปลูกมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นกลางสาตและต้นลองกองแต่ทุเรียนขึ้นได้ไม่ดีในปัจจุบันความต้องการซื้อลองกองมีมากกว่ากลางสาตเกษตรกรส่วนใหญ่จึงได้ตัดต้นกลางสาตทิ้งแล้วนำ ยอดลองกองมาเสียบยอดแทน จากการวางแผนสุ่มตัวอย่าง 10 แปลงในระบบวนเกษตรพบว่ามีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้พื้นแปรรหว่าง 10-35 ชนิดต่อไร่ โดยมีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ทั้งหมด 74 ชนิดพันธุ์ (ใน 69 สกุล 33 วงศ์) ดังแสดงใน Table 1 พันธุ์ไม้ที่พบมากที่สุดได้แก่ วงศ์ลองกอง (Meliaceae) (6 ชนิด) รองลงมาได้แก่ วงศ์ มะม่วง (Anacardiaceae) 5 ชนิดวงศ์แคฝอย (Bignoniaceae) 5 ชนิดวงศ์เหมือดหลาง (Euphorbiaceae) (5 ชนิด) และวงศ์ตีนนก (Lamiaceae) (5 ชนิด) ความหนาแน่นของต้นกลางสาตมีความ

ผืนป่าระหว่าง 1-78 ต้นต่อไร่ ความหนาแน่นของต้นลองกอง มีความผืนป่าระหว่าง 1-57 ต้นต่อไร่ สำหรับความ หนาแน่น ของไม้ผลทั้งหมดมีความผืนป่าระหว่าง 48-88 ต้นต่อไร่และ พันธุ์ไม้ป่ามีความหนาแน่นผืนป่าระหว่าง 8-67 ต้นต่อไร่

พันธุ์ไม้เรือนยอดเด่นที่พบคือ ตะคร้ำ ประดู่ เก็ดดำและสมอ พืชมีความสูงประมาณ 38 เมตร ไม้เรือนยอดรอง ประกอบด้วย มะค่าโมง ขางหัวหมู และคอแลน โดยมีความสูงประมาณ 35 เมตร ส่วนพันธุ์ไม้อื่นๆ ที่เหลือมีความสูงต่ำกว่า 35 เมตร

Table 1 Plant name list in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province

No	Family	Common name/Thai name	Scientific name
1	MELIACEAE	Longkong	<i>Lansium domesticum</i> Corr.
2		Langsat	<i>Aglaia domesticum</i> Pelleg.
3		Siamese Neem Tree	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss var. <i>siamensis</i> Valetton
4		Santol	<i>Sandoricum koetjape</i> (Burm.f.) Merr.
5		Almond-wood	<i>Chukrasia tabularis</i> A. Juss.
6		Ma Aa	<i>Aphanamixis polystachya</i> (Wall.) R.Parker
7	BOMBACACEAE	Durian	<i>Durio zibethinus</i> Merr.
8	EUPHORBIACEAE	Rambeh Bambi	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.
9		Pak-wan Tree	<i>Melientha suavis</i> Pierre
10		Indian gooseberry	<i>Phyllanthus emblica</i> L.
11		Hmurd Worn	<i>Aporosa wallichii</i> Hook.f.
12		Hmurd Rong	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. ex Lindl.) Baill.
13	ANACARDIACEAE	Wodier tree	<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.
14		Mango	<i>Mangifera indica</i> L.
15		Marian Plum	<i>Bouea macrophylla</i> Griff.
16		Lord Kwai	<i>Knema erratica</i> (Hook.f & Thomson) Warb.
17		Maprang	<i>Bouea burmanica</i> Giff.
18	SIMAROUBACEAE	Kom Khom	<i>Picrasma javanica</i> Blume
19	SONNERATIACEAE	Cork Tree	<i>Sonneratia caseolaris</i> (L.) Engl.
20	ANNONACEAE	Kang Hua Mua	<i>Milium velutina</i> (Dunal) Hook.f. & Thomson
21		Yang On	<i>Polyalthia viridis</i> Craib
22	CELASTRACEAE	Ivru wood	<i>Siphonodon celastrineus</i> Griff.
23	APOCYNACEAE	Jackfruit Tree	<i>Artocarpus heterophyllus</i> L.
24		White champaka	<i>Tabernaemontana pauciflora</i> Blume
25	BIGNONIACEAE	Broken bones tree	<i>Oraxylum indicum</i> (L.) Kurz
26		Care Hang Kang	<i>Markhamia stipulata</i> Seem. var. <i>stipulata</i>
27		Care Sai	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz
28		Care Fui	<i>Stereospermum cylindricum</i> Pierre ex Dop.
29		Care Kun	<i>Fernandoa adenophylla</i> (Wall. ex G.Don) Steenis
30	BURSERACEAE	Tha Kum	<i>Garuga pinnata</i> Roxb.
31		Sunrose Willow	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin
32		Ma Fan	<i>Protium serratum</i> Engl.
33	COMBRETACEAE	Han	<i>Terminalia glaucifolia</i> Craib
34		Beleric Myrobalan	<i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb.
35		Ramontchi	<i>Flacourtia jangomas</i> (Lour.) Rausch
36	DIPTEROCARPACEAE	Indian oak	<i>Barringtonia acutangula</i> (L.) Gartn.

Table 1 Plant name list in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province (Continue)

No	Family	Common name/Thai name	Scientific name
37	ELAEOCARPACEAE	Ma Mun Dang	<i>Elaeocarpus sphaericus</i> (Gaertn.) K.Schum.
38		Ma Mun Rang	<i>Elaeocarpus lanceifolius</i> Roxb.
39	GUTTIFERAE	Mangosteen	<i>Garcinia mangostana</i> L.
40		Tiew khao	<i>Cratoxylum formosum</i> subsp. <i>pruniflorum</i> (Kurz)
41		Tiew som	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Dyer
42		Cowa	<i>Garcinia nigrolineata</i> Planch. ex T.Anderson
43	LAMIACEAE	Ka Sam Peak	<i>Vitex peduncularis</i> Wall. ex Schauer
44		Wild tea	<i>Callicarpa arborea</i> Roxb.
45		Teak	<i>Tectona grandis</i> L.
46		Null	<i>Premna tomentosa</i> Willd.
47		Milla	<i>Vitex pinnata</i> Linn.
48	LAURACEAE	Mee Men	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C.B.Rob.
49	LEGUMINOSAE	Catechu tree	<i>Acacia catechu</i> (L.f.) Willd.
50	LEGUMINOSAE-	Makha Tree	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib
51	CAESALPINIOIDEAE	Pudding Pine	<i>Cassia fistula</i> L.
52	LEGUMINOSAE-	Ceylon Rose Wood	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.
53	MIMOSOIDEAE	Iron wood	<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub. var. <i>xylocarpa</i>
54	LEGUMINOSAE-	Ket Dum	<i>Dalbergia assamica</i> Benth.
55	PAPILIONOIDEAE	Burmese Rosewood	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz
56		Phee Pong	<i>Dalbergia cana</i> Grah. ex Kurz
57		Red sandalwood tree	<i>Adenanthera pavonina</i> L.
58	LYTHRACEAE	Bungor	<i>Lagerstroemia dupeireana</i> Pierre ex Gagnep.
59		Sa Lao	<i>Lagerstroemia loudonii</i> Teijsm&Binm.
60	MORACEAE	Jackfruit Tree	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.
61		Siamese rough bush	<i>Streblus asper</i> Lour.
62		Monkey Jack	<i>Artocarpus lacucha</i> Roxb.
63	PALMAE	Betel nut	<i>Areca catechu</i> L.
64	RUBIACEAE	Robusta Coffee	<i>Coffea canephora</i> Pierre ex A.Froehner
65		Tum Khaw	<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale
66		Ma Khet	<i>Catunaregam tomentosa</i> (Blume ex DC.) Tirveng
67	RUTACEAE	Bael	<i>Aegle marmelos</i> (L.) Correa ex Roxb.
68		Common Fig	<i>Ficus</i> sp.
69		Porcupine Orange	<i>Citrus hystrix</i> DC.
70		Sa muth	<i>Clausena excavata</i> Burm.f.
71	SAPINDACEAE	Korlan	<i>Nephelium hypoleucum</i> Kurz.
72	SAPINDACEAE	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i> L.
73	THEACEAE	Tea	<i>Camellia sinensis</i> (L.) Kuntze
74		Mai Lai	<i>Mierocos tomentosa</i> Smith.

2. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในระบบวนเกษตร

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเนื้อเยื่อพืชจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 ของมวลชีวภาพ แต่จะมีความผันแปรแตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของพันธุ์ไม้และอวัยวะหรือเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของพืชความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุคาร์บอนในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ และราก มีความเข้มข้นร้อยละ 49.9, 48.7, 48.3 และ 48.12 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาจากพรรณไม้ในป่าเบญจพรรณและป่าดิบแล้งที่จังหวัดชัยภูมิ โดย Tsutsumi *et al.* (1983) จากการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพของพืชในแปลงสุ่มตัวอย่าง 8 แปลง พบว่าต้นลองกองและต้นนางเล็งมีปริมาณการสะสมคาร์บอน เฉลี่ย เท่ากับ 559.65 กิโลกรัมต่อไร่และ 570.98 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ Table 2 ปริมาณมวลชีวภาพไม้ผลทั้งหมดเฉลี่ย 2,512.63 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 15.71 ตันต่อเฮกตาร์ โดยปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมากที่สุดคือ ลางสาด 807.70 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ลองกอง 520.78 กิโลกรัมต่อไร่ ขนุน 392.31 กิโลกรัมต่อไร่ ทูเรียน 377.42 กิโลกรัมต่อไร่ กระท้อน 242.20 กิโลกรัมต่อไร่ มะไฟ 111.39 กิโลกรัมต่อไร่ มะกูด 29.11 กิโลกรัมต่อไร่ มะปราง 13.69 กิโลกรัมต่อไร่ มังคุด 9.01 กิโลกรัมต่อไร่ กาแฟโรบัสต้า 7.06 กิโลกรัมต่อไร่ มะยงชิด 2.71 กิโลกรัมต่อไร่ มะม่วง 2.08 กิโลกรัมต่อไร่และเงาะ 0.16 กิโลกรัมต่อไร่ Table 2 ตามลำดับปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ป่า จากแปลงสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 8 แปลง มีค่าเฉลี่ย 1,090,531.62 กิโลกรัมต่อไร่หรือ 6,815.82 ตันต่อไร่ โดยปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมากที่สุดคือ คอแลน 111,021.08 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ จำปีเตื่อยไก่อ่ 56,843.95 กิโลกรัมต่อไร่ มะค่าโมง 55,158.82 กิโลกรัมต่อไร่ สมอพิเภก 86,482.37 กิโลกรัมต่อไร่ ตะคร้ำ 84,277.26 กิโลกรัมต่อไร่ ตีนนก 44,067.08 กิโลกรัมต่อไร่ มะมุ่นแดง 42,759.81 กิโลกรัมต่อไร่ กาสามปีก 40,708.80 กิโลกรัมต่อไร่ ค่างหัวหมู 38,120.11 กิโลกรัมต่อไร่ เกิดดำ 30,979.92 กิโลกรัมต่อไร่ และ พันธุ์ไม้ป่าอื่น Table 3

3. การประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอน

จากการศึกษาการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตรต่อพื้นที่ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์แบบตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจ (Voluntary carbon market) มีมูลค่า 39.6398 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 2,946.93 บาทต่อเฮกตาร์ (209.30 บาทต่อไร่) โดยพบว่าปริมาณการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนของไม้

ผลในระบบวนเกษตรสวนผลไม้ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์มากที่สุดคือ ลางสาด มีมูลค่า 89.3010 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 2,946.93 บาทต่อเฮกตาร์ (471.51 บาทต่อไร่) รองลงมาได้แก่ ลองกอง มีมูลค่า 37.002 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 1,221.01 บาทต่อเฮกตาร์ (195.36 บาทต่อไร่) ขนุน มีมูลค่า 20.7848 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 685.90 บาทต่อเฮกตาร์ (109.74 บาทต่อไร่) ทูเรียน มีมูลค่า 19.2058 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 633.79 บาทต่อเฮกตาร์ (101.41 บาทต่อไร่) กระท้อน มีมูลค่า 7.7197 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 254.75 บาทต่อเฮกตาร์ (40.76 บาทต่อไร่) มะไฟ มีมูลค่า 1.5013 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 49.54 บาทต่อเฮกตาร์ (7.93 บาทต่อไร่) และ มะกูดมีมูลค่า 0.0555 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 1.83 บาทต่อเฮกตาร์ (0.29 บาทต่อไร่) ตามลำดับและพบว่า มะปราง มังคุด กาแฟโรบัสต้า มะยงชิด เงาะ และมะม่วง การสะสมปริมาณคาร์บอนมีปริมาณน้อยและไม่คุ้มทุนในการดำเนินการเข้าสู่ระบบการชดเชยคาร์บอนในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ปริมาณการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนของไม้ป่าในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ มากที่สุดคือ คอแลน มีมูลค่า 699.8642 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 23,095.52 บาทต่อเฮกตาร์ (3,695.28 บาทต่อไร่) รองลงมาคือ สมอพิเภก มีมูลค่า 435.0438 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 14,356.45 บาทต่อเฮกตาร์ (2,297.03 บาทต่อไร่) ตะคร้ำ มีมูลค่า 412.4441 เหรียญสหรัฐต่อเฮกตาร์ หรือ 13,610.66 บาทต่อเฮกตาร์ (2,177.70 บาทต่อไร่) และชนิดพันธุ์อื่น ดังแสดง Table 4

วิจารณ์และสรุปผล

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ สามารถวิจารณ์ออกเป็น 3 ประเด็นดังนี้

1. สังคมพืชในระบบวนเกษตร

ระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ทำการศึกษามีต้นนางเล็งและต้นลองกองเป็นพืชหลักโดยมีพันธุ์ไม้เป็นไม้ที่ให้ร่มเงา ซึ่งในระบบวนเกษตรสวนผลไม้ที่พบว่ามีต้นนางเล็งมีอายุค่อนข้างมากและต้นไม้ที่ให้ร่มเงาส่วนใหญ่จะเหลือเฉพาะต้นที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนไม่มาก ส่วนต้นที่มีขนาดเล็กและขนาดกลางนั้นเจ้าของสวนได้ตัดสางและนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ก่อสร้างบ้าน ทำถ่าน สำหรับการ ทำอาหาร เป็นต้น ส่วนในระบบวนเกษตรสวนผลไม้ที่มีต้นลองกองขึ้นอยู่นั้นเป็นสวนที่อายุน้อยกว่าสวนนางเล็งและสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งเกิดจากการตัดลำต้นของต้นนางเล็งและทำการเสียบยอดของต้นลองกองลงไปแทนจึงเป็นผลทำให้

ระบบวนเกษตรทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันเกี่ยวกับความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมของสังคมพืช (Stem basal area) โดยพบว่าในระบบวนเกษตรสวนผลไม้มีต้นกลางсадนั้นมีความมากกว่าระบบวนเกษตรสวนผลไม้ลองกองขึ้นอยู่

2. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในระบบวนเกษตร

ในระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ มีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้และความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ค่อนข้างต่ำแต่มีการพัฒนาของชั้นดินลึกปานกลาง (1.20 เมตร) การกักเก็บคาร์บอนในระบบวนเกษตรสวน ผลไม้ส่วนใหญ่จึงถูกกักเก็บไว้ในดินมากกว่าในส่วนของพืช เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของพืชมีน้อยในพื้นที่ ระบบวนเกษตร อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ มีการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด 354.32 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์แยกเป็นกักเก็บในมวลชีวภาพของพืช 15.71 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (4.5 เปอร์เซ็นต์) และกักเก็บในดิน 338.61 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (95.5 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสอดคล้องกับ อานนท์(2557) พบว่า ระบบนิเวศวนเกษตรสวนเมี่ยงพื้นที่หมู่บ้านปางน้ำถู (หมู่ที่ 1) ตำบลป่าเมี่ยง อำเภอ

ดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มีการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด 220.72 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ แยกเป็นกักเก็บในมวลชีวภาพของพืช 81.39 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (36.87 เปอร์เซ็นต์) และกักเก็บในดิน 139.33 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (63.13 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับป่าธรรมชาติ สุทรและคณะ, (2551) ศึกษาศักยภาพและความผันแปรเกี่ยวกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่างๆ บริเวณดอยอินทนนท์ พบว่าป่าดิบเขาต่ำ ป่าดิบเขากลางและป่าดิบเขาสูง มีการกักเก็บปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 202.2, 419.1 และ 636.7 เมกกะกรัมต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ระบบวนเกษตรสวนผลไม้ในพื้นที่ป่าดิบเขามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนใกล้เคียงกับป่าดิบเขาต่ำ แต่น้อยกว่าป่าดิบเขากลางและป่าดิบเขาสูง โดยพื้นที่วนเกษตรที่ปล่อยให้กร้างไปเป็นเวลานานจะมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไม้ยืนต้นโดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติทั้งนี้เป็นผลมาจากสภาพพื้นที่ป่าเมี่ยงที่ถูกทิ้งร้างจะมีการเจริญเติบโตของต้นกล้าไม้ยืนต้นหลายๆชนิดโดยแหล่งของไม้ยืนต้นอาจมาจากเมล็ดการสะสมอยู่ดิน (Soil seed bank) (Dalling and Denslow 1998) หรือจากเมล็ดที่ถูกแพร่กระจายมาจากพื้นที่ใกล้เคียง (Wunderle, 1998)

Table 2 Above ground biomass carbon stock of fruit tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province

No	Common name/Thai name	Above ground biomass carbon stock (kg)						
		Stem	Branch	Leaves	Root	Total	Average kg rai ⁻¹	Average Ton ha ⁻¹
1	Langsat	3,974.69	1,295.09	199.05	968.79	6,437.62	804.70	5.03
2	Longkong	2,750.54	603.73	111.67	700.31	4,166.26	520.78	3.25
3	Jackfruit Tree	1,825.00	603.58	106.32	603.56	3,138.46	392.31	2.45
4	Durian	2,002.09	595.33	48.89	373.04	3,019.36	377.42	2.36
5	Santol	618.36	221.70	17.10	1,080.48	1,937.64	242.20	1.51
6	Rambeh Bambi	550.08	158.36	23.30	159.41	891.15	111.39	0.70
7	Porcupine Orange	128.84	47.78	7.35	48.89	232.86	29.11	0.18
8	Marian Plum	69.42	17.16	3.98	19.00	109.55	13.69	0.09
9	Mangos teen	44.01	13.69	2.47	11.88	72.05	9.01	0.06
10	Robusta Coffee	19.17	4.44	1.05	31.81	56.46	7.06	0.04
11	Maprang	11.21	2.97	0.61	6.88	21.67	2.71	0.02
12	Mango	10.03	3.24	0.47	2.91	16.66	2.08	0.01
13	Rambutan	0.61	0.38	0.06	0.22	1.28	0.16	0.01
Total		12,004.06	3,567.46	522.32	4,007.17	20,101.01	2,512.63	15.71

Table 3 Above ground biomass carbon stock of forest tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province

NO	Common name/Thai name	Above ground biomass carbon stock (kg)					Average	
		Stem	Branch	Leaves	Root	Total	kg rai ⁻¹	Ton ha ⁻¹
1	Korlan	599,553.49	182,828.57	10,729.36	95,057.21	888,168.63	111,021.08	693.88
2	White champaka	291,499.83	116,154.86	3,725.38	43,371.52	454,751.59	56,843.95	355.27
3	Makha Tree	296,015.78	02,367.40	4,368.74	38,518.62	441,270.53	55,158.82	344.74
4	Beleric Myrobalan	238,377.79	89,181.88	3,388.25	360,911.07	691,858.98	86,482.37	540.51
5	Tha Kum	245,368.28	88,267.78	3,148.19	337,433.80	674,218.05	84,277.26	526.73
6	Milla	238,410.72	64,435.46	5,254.07	44,436.41	352,536.67	44,067.08	275.42
7	Ma Mun Dang	221,157.30	78,512.68	3,837.44	38,571.07	342,078.48	42,759.81	267.25
8	Ka Sam Peak	210,486.68	64,535.78	3,917.61	46,730.29	325,670.37	40,708.80	254.43
9	Kang Hua Mua	200,154.89	69,405.78	2,903.80	32,496.40	304,960.86	38,120.11	238.25
10	Ket Dum	160,287.78	60,339.30	2,573.91	24,638.40	247,839.39	30,979.92	193.62
11	Burmese Rosewood	155,959.46	48,991.23	880.51	24,498.37	230,329.56	28,791.20	179.94
12	Teak	155,445.99	46,524.57	2,747.30	23,541.75	228,259.61	28,532.45	178.33
13	Null	146,994.42	50,286.65	2,326.61	19,366.38	218,974.05	27,371.76	171.07
14	Ceylon Rose Wood	134,779.90	41,161.24	2,184.61	26,712.37	204,838.12	25,604.77	160.03
15	Bungor	109,092.88	31,420.27	3,193.60	21,999.98	165,706.72	20,713.34	129.46
16	Sa Lao	100,188.22	33,045.39	2,727.50	19,650.76	155,611.87	19,451.48	121.57
17	Red sandalwood tree	105,323.93	30,360.07	2,372.50	17,153.82	155,210.31	19,401.29	121.26
18	Kom Khom	90,467.70	29,128.44	2,094.77	12,757.09	134,448.01	16,806.00	105.04
19	Cork Tree	84,891.38	28,557.68	1,375.10	12,919.74	127,743.90	15,967.99	99.80
20	Indian oak	74,252.20	19,585.68	1,713.20	14,410.98	109,962.06	13,745.26	85.91
21	Wodier tree	65,422.89	23,164.16	1,609.84	11,794.21	101,991.10	12,748.89	79.68
22	Care Fui	63,234.78	20,418.45	1,163.55	10,465.62	95,282.39	11,910.30	74.44
23	Sunrose Willow	56,238.30	18,952.58	1,067.91	9,565.29	85,824.08	10,728.01	67.05
24	Tiew som	50,626.05	17,543.20	1,105.59	8,630.80	77,905.64	9,738.20	60.86
25	Ma Aa	45,420.48	12,456.49	1,100.27	8,582.68	67,559.92	8,444.99	52.78
26	Ma Fan	45,168.48	12,196.92	1,067.43	8,207.35	66,640.17	8,330.02	52.06
27	Care Kun	44,869.08	12,062.50	1,066.46	7,973.00	65,971.05	8,246.38	51.54
28	Cowa	44,442.94	11,721.60	1,017.68	7,731.92	64,914.14	8,114.27	50.71
29	Ma Khet	44,413.50	11,598.88	1,063.08	7,704.01	64,779.47	8,097.43	50.61
30	Pudding Pine	44,169.98	11,403.11	974.69	7,704.97	64,252.76	8,031.59	50.20
31	Care Hang Kang	43,943.94	10,465.14	972.76	7,540.40	62,922.25	7,865.28	49.16
32	Mee Men	43,871.58	9,982.53	973.25	7,239.65	62,067.01	7,758.38	48.49
33	Lord Kwai	43,710.40	9,796.49	974.69	7,441.76	61,923.35	7,740.42	48.38
34	Siamese Neem Tree	38,655.04	8,939.37	900.31	7,103.96	55,598.67	6,949.83	43.44
35	Almond-wood	37,457.44	7,208.09	892.10	6,533.73	52,091.36	6,511.42	40.70
36	Mai Lai	37,209.93	7,241.20	838.49	5,807.60	51,097.22	6,387.15	39.92
37	Indian gooseberry	35,197.46	6,801.44	776.66	5,748.42	48,523.99	6,065.50	37.91
38	Por Dang	35,147.56	6,378.73	729.33	5,807.60	48,063.22	6,007.90	37.55
39	Tum Khaw	34,695.47	6,281.33	688.28	5,686.82	47,351.89	5,918.99	36.99

Table 3 Above ground biomass carbon stock of forest tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province (Continue)

No	Common name/ Thai name	Above ground biomass carbon stock					Average	
		Stem	Branch	Leaves	Root	Total	kg rai ⁻¹	Ton ha ⁻¹
40	Han	31,990.89	5,875.66	681.03	5,230.16	43,777.74	5,472.22	34.20
41	Wild tea	31,875.12	5,850.82	677.17	4,877.44	43,280.55	5,410.07	33.81
42	Hmurd Rong	31,697.98	5,569.33	670.89	4,733.08	42,671.28	5,333.91	33.34
43	Tiew khao	31,478.42	5,504.07	629.35	4,603.64	42,215.48	5,276.94	32.98
44	Ivru wood	31,471.43	5,029.74	598.44	4,572.36	41,671.97	5,209.00	32.56
45	Betel nut	31,368.64	4,936.23	582.02	4,528.09	41,414.98	5,176.87	32.36
46	Bael	31,293.29	4,921.14	569.94	4,480.93	41,265.30	5,158.16	32.24
47	Ramontchi	31,193.49	4,790.13	542.41	4,474.20	41,000.23	5,125.03	32.03
48	Phee Pong	30,632.11	4,757.50	532.27	4,388.06	40,309.94	5,038.74	31.49
49	Catechu tree	28,850.18	4,743.87	530.33	4,335.13	38,459.52	4,807.44	30.05
50	Iron wood	27,413.06	4,645.49	525.99	4,313.96	36,898.50	4,612.31	28.83
51	Sa muth	27,151.59	4,523.26	501.84	4,267.76	36,444.44	4,555.56	28.47
52	Monkey Jack	26,795.30	4,399.07	493.14	4,219.64	35,907.16	4,488.39	28.05
53	Broken bones tree	26,845.20	4,356.70	491.69	4,161.90	35,855.50	4,481.94	28.01
54	Care Sai	25,952.99	4,142.91	489.28	4,008.88	34,594.06	4,324.26	27.03
55	Yang On	24,419.06	4,106.38	485.90	3,967.49	32,978.84	4,122.36	25.76
56	Common Fig	24,353.70	3,943.73	487.35	3,901.57	32,686.34	4,085.79	25.54
57	Ma Mun Rang	23,897.61	3,900.87	477.20	3,852.97	32,128.65	4,016.08	25.10
58	Kom Khom	23,470.96	3,670.03	474.31	3,811.10	31,426.41	3,928.30	24.55
59	Tea	232,440.19	3,609.64	474.79	3,609.48	240,134.10	30,016.76	187.60
60	Siamese rough bush	22,971.96	3,601.37	393.16	3,576.76	30,543.25	3,817.91	23.86
61	Pak-wan Tree	22,173.56	3,414.84	380.60	3,422.29	29,391.31	3,673.91	22.96
	Total	5,532,340.65	1,599,995.64	96,133.91	1,495,782.77	8,724,252.97	1,090,531.62	6,815.82

Table 4 Assessment Potential Income of the Carbon Offset of fruit tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province

Common name/Thai name	Cs (Ton)	Ct (Ton)	CCX T C	la (\$/year)	Fi (\$)	Fi, a (\$)	Fi, v (\$)	Fi, c (\$)	Cr T	Ir (\$)	Fj, a (\$)	Fj, v (\$)	Fj, c (\$)	Fj (\$)	Rc (\$)	Nc (\$)	Tc (\$)	Tc (Bhat)
Langsat	5.0294	4.0235	20.1176	80.9433	9.5026	8.0943	0.6035	0.8047	1.0059	20.2358	2.02358	0.1509	0.2012	2.3756	17.8602	71.4408	89.3010	2,946.93
Longkong	3.2549	2.6039	13.0195	33.9017	4.3015	3.3902	0.3906	0.5208	0.6510	8.4754	0.84754	0.0976	0.1302	1.0754	7.4000	29.6002	37.0002	1,221.01
Jackfruit Tree	2.4519	1.9615	9.8077	19.2382	2.6104	1.9238	0.2942	0.3923	0.4904	4.8095	0.48095	0.0736	0.0981	0.6526	4.1570	16.6278	20.7848	685.90
Durian	2.3589	1.8871	9.4355	17.8057	2.4411	1.7806	0.2831	0.3774	0.4718	4.4514	0.44514	0.0708	0.0944	0.6103	3.8412	15.3646	19.2058	633.79
Santol	1.5138	1.2110	6.0551	7.3329	1.1571	0.7333	0.1817	0.2422	0.3028	1.8332	0.18332	0.0454	0.0606	0.2893	1.5439	6.1757	7.7197	254.75
Rambelh Bambi	0.6962	0.5570	2.7848	1.5511	0.3500	0.1551	0.0835	0.1114	0.1392	0.3878	0.03878	0.0209	0.0278	0.0875	0.3003	1.2010	1.5013	49.54
Porcupine Orange	0.1819	0.1455	0.7277	0.1059	0.0615	0.0106	0.0218	0.0291	0.0364	0.0265	0.00265	0.0055	0.0073	0.0154	0.0111	0.0444	0.0555	1.83
Marian Plum	0.0856	0.0685	0.3423	0.0234	0.0263	0.0023	0.0103	0.0137	0.0171	0.0059	0.00059	0.0026	0.0034	0.0066	-0.0007	-0.0029	-0.0036	(0.12)
Mangosteen	0.0563	0.0450	0.2252	0.0101	0.0168	0.0010	0.0068	0.0090	0.0113	0.0025	0.00025	0.0017	0.0023	0.0042	-0.0017	-0.0066	-0.0083	(0.27)
Robusta Coffee	0.0441	0.0353	0.1764	0.0062	0.0130	0.0006	0.0053	0.0071	0.0088	0.0016	0.00016	0.0013	0.0018	0.0032	-0.0017	-0.0067	-0.0084	(0.28)
Maprang	0.0169	0.0135	0.0677	0.0009	0.0048	0.0001	0.0020	0.0027	0.0034	0.0002	0.00002	0.0005	0.0007	0.0012	-0.0010	-0.0039	-0.0049	(0.16)
Mango	0.0130	0.0104	0.0521	0.0005	0.0037	0.0001	0.0016	0.0021	0.0026	0.0001	0.00001	0.0004	0.0005	0.0009	-0.0008	-0.0032	-0.0039	(0.13)
Rambutan	0.0100	0.0080	0.0400	0.0003	0.0028	0.0000	0.0012	0.0016	0.0020	0.0001	0.00001	0.0003	0.0004	0.0007	-0.0006	-0.0025	-0.0031	(0.10)

Table 5 Assessment Potential Income of the Carbon Offset of forest tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province

Common name/ Thai name	Cs (฿)	Ct (฿/ปี)	CCX T C	la (\$/year)	Fi (\$)	Fi, a (\$)	Fi, v (\$)	Fi, c (\$)	Cr T	Ir (\$)	Fj, a (\$)	Fj, v (\$)	Fj, c (\$)	Fj (\$)	Rc (\$)	Nc (\$)	Tc (\$)	Tc (Bhat)
Korlan	13.9917	11.1933	55.9667	626.4544	66.5631	62.6454	1.6790	2.2387	2.7983	156.6136	15.6614	0.4198	0.5597	16.6408	139.9728	559.8913	699.8642	23,095.52
White champaka	7.1686	5.7349	28.6743	164.4434	18.4515	16.4443	0.8602	1.1470	1.4337	41.1108	4.1111	0.2151	0.2867	4.6129	36.4980	145.9918	182.4898	6,022.16
Makha Tree	6.9504	5.5603	27.8017	154.5868	17.4048	15.4587	0.8341	1.1121	1.3901	38.6467	3.8647	0.2085	0.2780	4.3512	34.2955	137.1820	171.4775	5,658.76
Beleric Myrobalan	11.0417	8.8334	44.1668	390.1408	42.1058	39.0141	1.3250	1.7667	2.2083	97.5352	9.7535	0.3313	0.4417	10.5264	87.0088	348.0350	435.0438	14,356.45
Tha Kum	10.7524	8.6019	43.0094	369.9622	40.0069	36.9962	1.2903	1.7204	2.1505	92.4905	9.2491	0.3226	0.4301	10.0017	82.4888	329.9553	412.4441	13,610.66
Milla	5.5549	4.4439	22.2196	98.7425	11.4296	9.8742	0.6666	0.8888	1.1110	24.6856	2.4686	0.1666	0.2222	2.8574	21.8282	87.3128	109.1410	3,601.65
Ma Mun Dang	5.3930	4.3144	21.5720	93.0700	10.8170	9.3070	0.6472	0.8629	1.0786	23.2675	2.3267	0.1618	0.2157	2.7043	20.5632	82.2529	102.8161	3,392.93
Ka Sam Peak	5.1363	4.1090	20.5452	84.4211	9.8803	8.4421	0.6164	0.8218	1.0273	21.1053	2.1105	0.1541	0.2055	2.4701	18.6352	74.5408	93.1760	3,074.81
Kang Hua Mua	4.8062	3.8450	19.2249	73.9197	8.7377	7.3920	0.5767	0.7690	0.9612	18.4799	1.8480	0.1442	0.1922	2.1844	16.2955	65.1819	81.4774	2,688.76
Ket Dum	3.9066	3.1253	15.6264	48.8367	5.9775	4.8837	0.4688	0.6251	0.7813	12.2092	1.2209	0.1172	0.1563	1.4944	10.7148	42.8592	53.5739	1,767.94
Burmese Rosewood	3.6280	2.9024	14.5120	42.1198	5.2278	4.2120	0.4354	0.5805	0.7256	10.5300	1.0530	0.1088	0.1451	1.3070	9.2230	36.8920	46.1150	1,521.80
Teak	3.5952	2.8761	14.3807	41.3608	5.1427	4.1361	0.4314	0.5752	0.7190	10.3402	1.0340	0.1079	0.1438	1.2857	9.0545	36.2181	45.2726	1,493.99
Null	3.4491	2.7593	13.7963	38.0676	4.7725	3.8068	0.4139	0.5519	0.6898	9.5169	0.9517	0.1035	0.1380	1.1931	8.3238	33.2951	41.6189	1,373.42
Ceylon Rose Wood	3.2291	2.5833	12.9165	33.3672	4.2409	3.3367	0.3875	0.5167	0.6458	8.3418	0.8342	0.0969	0.1292	1.0602	7.2816	29.1263	36.4079	1,201.46
Bungor	2.6125	2.0900	10.4500	21.8403	2.9155	2.1840	0.3135	0.4180	0.5225	5.4601	0.5460	0.0784	0.1045	0.7289	4.7312	18.9248	23.6560	780.65
Sa Lao	2.4540	1.9632	9.8159	19.2704	2.6141	1.9270	0.2945	0.3926	0.4908	4.8176	0.4818	0.0736	0.0982	0.6535	4.1641	16.6562	20.8203	687.07
Red sandalwood tree	2.4450	1.9560	9.7802	19.1304	2.5977	1.9130	0.2934	0.3912	0.4890	4.7826	0.4783	0.0734	0.0978	0.6494	4.1332	16.5328	20.6660	681.98
Kom Khom	2.1179	1.6943	8.4715	14.3532	2.0283	1.4353	0.2541	0.3389	0.4236	3.5883	0.3588	0.0635	0.0847	0.5071	3.0812	12.3249	15.4061	508.40
Cork Tree	2.0127	1.6102	8.0510	12.9637	1.8599	1.2964	0.2415	0.3220	0.4025	3.2409	0.3241	0.0604	0.0805	0.4650	2.7759	11.1038	13.8797	458.03
Indian oak	1.7328	1.3863	6.9313	9.6086	1.4461	0.9609	0.2079	0.2773	0.3466	2.4022	0.2402	0.0520	0.0693	0.3615	2.0406	8.1626	10.2032	336.71
Wodier tree	1.6134	1.2907	6.4536	8.3299	1.2847	0.8330	0.1936	0.2581	0.3227	2.0825	0.2082	0.0484	0.0645	0.3212	1.7613	7.0451	8.8064	290.61
Care Fui	1.5063	1.2051	6.0253	7.2607	1.1478	0.7261	0.1808	0.2410	0.3013	1.8152	0.1815	0.0452	0.0603	0.2870	1.5282	6.1129	7.6411	252.16
Sunrose Willow	1.3571	1.0857	5.4284	5.8935	0.9693	0.5893	0.1629	0.2171	0.2714	1.4734	0.1473	0.0407	0.0543	0.2423	1.2310	4.9241	6.1551	203.12
Tiew som	1.2321	0.9856	4.9282	4.8575	0.8307	0.4857	0.1478	0.1971	0.2464	1.2144	0.1214	0.0370	0.0493	0.2077	1.0067	4.0267	5.0334	166.10
Ma Aa	1.0681	0.8545	4.2723	3.6506	0.6641	0.3651	0.1282	0.1709	0.2136	0.9126	0.0913	0.0320	0.0427	0.1660	0.7466	2.9865	3.7331	123.19
Ma Fan	1.0534	0.8427	4.2134	3.5506	0.6500	0.3551	0.1264	0.1685	0.2107	0.8876	0.0888	0.0316	0.0421	0.1625	0.7251	2.9006	3.6257	119.65

Table 5 Assessment Potential Income of the Carbon Offset of forest tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province (Continue)

Common name/ Thai name	Cs (ตัน)	Ct (ตัน)	CCX T C	Ia (\$/year)	Fi (\$)	Fi, a (\$)	Fi, v (\$)	Fi, c (\$)	Cr T	Ir (\$)	Fj, a (\$)	Fj, v (\$)	Fj, c (\$)	Fj (\$)	Rc (\$)	Nc (\$)	Tc (\$)	Tc (Bhat)
Care Kun	1.0427	0.8342	4.1708	3.4790	0.6399	0.3479	0.1251	0.1668	0.2085	0.8698	0.0870	0.0313	0.0417	0.1600	0.7098	2.8392	3.5490	117.12
Cowa	1.0258	0.8207	4.1034	3.3675	0.6240	0.3368	0.1231	0.1641	0.2052	0.8419	0.0842	0.0308	0.0410	0.1560	0.6859	2.7435	3.4294	113.17
Ma Khet	1.0237	0.8190	4.0948	3.3534	0.6220	0.3353	0.1228	0.1638	0.2047	0.8384	0.0838	0.0307	0.0409	0.1555	0.6829	2.7315	3.4143	112.67
Pudding Pine	1.0153	0.8123	4.0613	3.2989	0.6142	0.3299	0.1218	0.1625	0.2031	0.8247	0.0825	0.0305	0.0406	0.1535	0.6712	2.6847	3.3558	110.74
Care Hang Kang	0.9940	0.7952	3.9762	3.1620	0.5945	0.3162	0.1193	0.1590	0.1988	0.7905	0.0790	0.0298	0.0398	0.1486	0.6419	2.5674	3.2093	105.91
Mee Men	0.9803	0.7842	3.9212	3.0751	0.5820	0.3075	0.1176	0.1568	0.1961	0.7688	0.0769	0.0294	0.0392	0.1455	0.6233	2.4931	3.1164	102.84
Lord Kwai	0.8785	0.7028	3.5140	2.4696	0.4929	0.2470	0.1054	0.1406	0.1757	0.6174	0.0617	0.0264	0.0351	0.1232	0.4942	1.9767	2.4709	81.54
Siamese Neem Tree	0.8226	0.6581	3.2903	2.1653	0.4469	0.2165	0.0987	0.1316	0.1645	0.5413	0.0541	0.0247	0.0329	0.1117	0.4296	1.7184	2.1480	70.88
Almond-wood	0.8066	0.6453	3.2263	2.0819	0.4340	0.2082	0.0968	0.1291	0.1613	0.5205	0.0520	0.0242	0.0323	0.1085	0.4120	1.6478	2.0598	67.97
Indian gooseberry	0.7661	0.6129	3.0643	1.8779	0.4023	0.1878	0.0919	0.1226	0.1532	0.4695	0.0469	0.0230	0.0306	0.1006	0.3689	1.4756	1.8445	60.87
Por Dang	0.7587	0.6070	3.0348	1.8420	0.3966	0.1842	0.0910	0.1214	0.1517	0.4605	0.0460	0.0228	0.0303	0.0992	0.3613	1.4453	1.8067	59.62
Tum Khaw	0.7474	0.5979	2.9897	1.7877	0.3880	0.1788	0.0897	0.1196	0.1495	0.4469	0.0447	0.0224	0.0299	0.0970	0.3499	1.3996	1.7495	57.73
Han	0.6910	0.5528	2.7642	1.5281	0.3463	0.1528	0.0829	0.1106	0.1382	0.3820	0.0382	0.0207	0.0276	0.0866	0.2955	1.1818	1.4773	48.75
Wild tea	0.6830	0.5464	2.7322	1.4930	0.3406	0.1493	0.0820	0.1093	0.1366	0.3732	0.0373	0.0205	0.0273	0.0851	0.2881	1.1524	1.4405	47.54
Hmurd Rong	0.6733	0.5387	2.6933	1.4507	0.3336	0.1451	0.0808	0.1077	0.1347	0.3627	0.0363	0.0202	0.0269	0.0834	0.2793	1.1171	1.3964	46.08
Tiew khao	0.6661	0.5328	2.6642	1.4196	0.3285	0.1420	0.0799	0.1066	0.1332	0.3549	0.0355	0.0200	0.0266	0.0821	0.2728	1.0912	1.3639	45.01
Ivru wood	0.6573	0.5259	2.6293	1.3827	0.3223	0.1383	0.0789	0.1052	0.1315	0.3457	0.0346	0.0197	0.0263	0.0806	0.2651	1.0603	1.3254	43.74
Betel nut	0.6532	0.5226	2.6129	1.3655	0.3195	0.1365	0.0784	0.1045	0.1306	0.3414	0.0341	0.0196	0.0261	0.0799	0.2615	1.0460	1.3075	43.15
Bael	0.6509	0.5207	2.6034	1.3555	0.3178	0.1356	0.0781	0.1041	0.1302	0.3389	0.0339	0.0195	0.0260	0.0794	0.2594	1.0378	1.2972	42.81
Ramontchi	0.6466	0.5173	2.5865	1.3380	0.3149	0.1338	0.0776	0.1035	0.1293	0.3345	0.0335	0.0194	0.0259	0.0787	0.2558	1.0232	1.2790	42.21
Phee Pong	0.6358	0.5086	2.5430	1.2934	0.3074	0.1293	0.0763	0.1017	0.1272	0.3234	0.0323	0.0191	0.0254	0.0768	0.2465	0.9860	1.2326	40.67
Catechu tree	0.6068	0.4854	2.4270	1.1781	0.2877	0.1178	0.0728	0.0971	0.1214	0.2945	0.0295	0.0182	0.0243	0.0719	0.2226	0.8904	1.1130	36.73
Iron wood	0.5823	0.4658	2.3290	1.0849	0.2715	0.1085	0.0699	0.0932	0.1165	0.2712	0.0271	0.0175	0.0233	0.0679	0.2033	0.8134	1.0167	33.55
Sa muth	0.5751	0.4601	2.3003	1.0582	0.2668	0.1058	0.0690	0.0920	0.1150	0.2646	0.0265	0.0173	0.0230	0.0667	0.1978	0.7914	0.9892	32.64
Monkey Jack	0.5666	0.4533	2.2663	1.0272	0.2614	0.1027	0.0680	0.0907	0.1133	0.2568	0.0257	0.0170	0.0227	0.0653	0.1915	0.7658	0.9573	31.59
Broken bones tree	0.5657	0.4526	2.2628	1.0241	0.2608	0.1024	0.0679	0.0905	0.1131	0.2560	0.0256	0.0170	0.0226	0.0652	0.1908	0.7633	0.9541	31.49

Table 5 Assessment Potential Income of the Carbon Offset of forest tree in agroforestry, Lablare district, Uttaradit Province (Continue)

Common name/Thai name	Cs (฿k)	Ct (฿k)	CCX T C	Ia (\$/year)	Fi (\$)	Fi, a (\$)	Fi, v (\$)	Fi, c (\$)	Cr T	Ir (\$)	Fj, a (\$)	Fj, v (\$)	Fj, c (\$)	Fj (\$)	Rc (\$)	Nc (\$)	Tc (\$)	Tc (Bhat)
Care Sai	0.5458	0.4366	2.1832	0.9532	0.2481	0.0953	0.0655	0.0873	0.1092	0.2383	0.0238	0.0164	0.0218	0.0620	0.1763	0.7051	0.8814	29.08
Yang On	0.5205	0.4164	2.0818	0.8668	0.2324	0.0867	0.0625	0.0833	0.1041	0.2167	0.0217	0.0156	0.0208	0.0581	0.1586	0.6344	0.7930	26.17
Common Fig	0.5158	0.4126	2.0631	0.8513	0.2295	0.0851	0.0619	0.0825	0.1032	0.2128	0.0213	0.0155	0.0206	0.0574	0.1554	0.6217	0.7772	25.65
Ma Mun Rang	0.5070	0.4056	2.0280	0.8226	0.2242	0.0823	0.0608	0.0811	0.1014	0.2056	0.0206	0.0152	0.0203	0.0561	0.1496	0.5983	0.7479	24.68
Kom Khom	0.4959	0.3967	1.9836	0.7869	0.2175	0.0787	0.0595	0.0793	0.0992	0.1967	0.0197	0.0149	0.0198	0.0544	0.1423	0.5694	0.7117	23.49
Tea	3.7633	3.0107	15.0534	45.3208	5.5858	4.5321	0.4516	0.6021	0.7527	11.3302	1.1330	0.1129	0.1505	1.3965	9.9338	39.7350	49.6688	1,639.07
Siamese rough bush	0.4819	0.3855	1.9274	0.7430	0.2092	0.0743	0.0578	0.0771	0.0964	0.1858	0.0186	0.0145	0.0193	0.0523	0.1334	0.5338	0.6672	22.02
Pak-wan Tree	0.4637	0.3709	1.8546	0.6879	0.1986	0.0688	0.0556	0.0742	0.0927	0.1720	0.0172	0.0139	0.0185	0.0497	0.1223	0.4893	0.6116	20.18
Total	153.5085	122.8068	614.0342	2655.1756	308.5000	265.5176	18.4210	24.5614	30.7017	663.7939	66.3794	4.6053	6.1403	77.1250	586.6689	2346.6757	2933.3446	96,800.37
Average	2.0744	1.6596	8.2978	35.8808	4.1689	3.5881	0.2489	0.3319	0.4149	8.9702	0.8970	0.0622	0.0830	1.0422	7.9280	31.7118	39.6398	1,308.11

3. การประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอน

จากการศึกษาการประเมินรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในระบบวนเกษตรต่อพื้นที่ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์แบบตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจ (Voluntary carbon market) มีมูลค่า 39.6398 เหรียญสหรัฐต่อเฮกแตร์ หรือ 2,946.93 บาทต่อเฮกแตร์ (209.30 บาทต่อไร่) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนยางพาราทั้ง 5 ช่วงเวลานั้น สามารถประเมินรายได้ อยู่ในช่วง 23.93-33.40 \$ต่อเฮกแตร์ต่อปี หรือ 127.87-178.42 บาทต่อไร่ต่อปี ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุของยางพารา โดยมีอัตราสูงสุดในช่วงอายุ 6-10 ปีและลดลงตั้งแต่ช่วงอายุ 11-15 ปี ตามอัตราการสะสมมวลชีวภาพในต้นยางพาราในระยะหลังเปิดกรีด ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่เกษตรกรจะมีรายได้สูงสุดในช่วงเวลาของการทำสัญญาอย่างไรก็ตามการทำสัญญาเพื่อชดเชยคาร์บอนเครดิตในพื้นที่การเกษตรอาจมีความแตกต่างกันทั้งในส่วนของระยะเวลาขั้นต่ำ วิธีคำนวณค่าธรรมเนียมและรายได้จากการชดเชยคาร์บอน อาทิเช่น บางองค์กรอาจไม่คำนวณค่าธรรมเนียมสำหรับการตรวจสอบการทำสัญญา (verification fee) หรือไม่มีค่าธรรมเนียมของสัญญา ในส่วนคาร์บอนเครดิตสำรอง 20% (Farlee and Stelzer, 2008) ขณะที่บางองค์กรใช้วิธีชดเชยในส่วนของคาร์บอนเครดิตสำรอง 20% ให้สูงขึ้น (Current *et al.*, 2010) รวมถึงราคาอ้างอิงตามตลาดคาร์บอนของแต่ละองค์กรอาจกำหนดค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรืออาจต่ำกว่า 4 \$ ต่อตัน เป็นต้น จึงมีผลให้รายได้รวมจากการชดเชยคาร์บอนแตกต่างกันได้ซึ่งการศึกษานี้ ได้คิดค่าธรรมเนียมทั้ง 3 รายการ จากทั้งสองส่วนของรายได้ ทำให้สามารถประเมินรายได้สุทธิ เท่ากับ 573.39 \$ต่อเฮกแตร์ หรือ 3,063.27 บาทต่อไร่ และหากประเมินจากค่าเฉลี่ยการถือครองพื้นที่สวนยางพาราต่อครัวเรือน ในประเทศไทยประมาณ 10 ไร่ต่อครัวเรือน (Somboonsuke *et al.*, 2002) ฉะนั้นเกณฑ์เฉลี่ยที่เกษตรกรส่วนใหญ่จะได้รับการชดเชยตลอดช่วงอายุยางพารา คือ 30,632.70 บาทต่อครัวเรือนขณะที่การประเมินคาร์บอนเครดิตในสวนป่า 1,000 ไร่ ช่วงอายุ 30 ปี ของต้นยูคาลิปตัส (2x 2 ม.) จะมีกำไรประมาณ 2,497 บาทต่อตันคาร์บอน (นาฏสุตา ภูมิจำนงค์, 2547)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือพร้อมทั้งคอยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยมาโดย

ตลอด ขอขอบคุณผู้นำชุมชนแต่ละชุมชนที่ให้ข้อมูลพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่วิจัยด้วยดีตลอดมา สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมผู้ช่วยวิจัยในการลงพื้นที่สำรวจ เก็บตัวอย่างและดำเนินการวิจัยและบูรณาการการเรียนการสอนกับงานวิจัยในพื้นที่งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. นาฏสุตา ภูมิจำนงค์. แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโตในการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (16 หน้า). วันที่ 16-17 ส.ค. 2547 กรุงเทพฯ; 2557.
2. สุนทร คำยอง ตฤณ เสรเมธากุล และ เสวียน เปรมประสิทธิ์. การสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่างๆ บริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการสิ่งแวดล้อมมนเรศวร มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2551.
3. อานนท์ เทิดไพโรจน์วัลย์ ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนธาตุอาหาร และน้ำ ของระบบนิเวศวนเกษตรบริเวณโครงการพัฒนาพื้นที่ป่าชุมชนแม่กวาง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พฤษภาคม; 2557.
4. Current, D., Scheer, K., Harting, J., Zamora, D. and Ulland, L. A Landowner's Guide to Carbon Sequestration Credits: In association with the Commonwealth Project. Minnesota: Regional Sustainable Development Partnership; 2010.
5. Dalling, J. and Denslow, J. S. Soil seed bank composition along a forest chronosequence in seasonally moist tropical forest, Panama. *Journal of Vegetation Science* 9(5): 669-678; 1998.
6. Farlee, L.D. and Stelzer, H.E. 2008. Cash for Carbon: A Woodland Owner's Guide for Accessing Carbon Markets. Purdue: Purdue Extension, FNR-228-W, Purdue University; 2008.
7. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis.

- Cambridge University Press, Cambridge, UK; 2001.
8. Ignosh, J., Stephenson, K., Yancey, M., Whittle, B., Alley, M. and Wysor, W.G. Virginia Land owner's Guide to the Carbon Market. Virginia: College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Publication no.442-138; 2009.
 9. Post, W.M. and K.C. Kwon. Soil carbon sequestration and land-use change: process and potential. *Global Change Biol.* 6: 317-327; 1998.
 10. Shrestha, B.M. and B.R. Singh. Soil and vegetation carbon pools in a mountainous watershed of Nepal. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 81: 179-191; 2004.
 11. Somboonsuke, B., Ganesh, P.S. and Demaine, H. Rubber-based farming system in Thailand: Problems, potential, solution and constraints. *Journal of Rural Development*, 21, 85-113; 2002.
 12. Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Sahunaru, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. "Forest: burning and regeneration. In Shifting cultivation, an experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand, and its implications for upland farming in the monsoon tropics" Kyuma, K and Pairintra, C. (eds.). A report of a cooperative research between Thai-Japanese universities, Kyoto University, Japan, 219 p; 1983.
 13. Walkley, A. & Black, A. An examination of the Degiareff method for determine soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 19-28; 1934.
 14. Wunderle Jr., J. M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99: 223-235; 1997.

การประเมินประสิทธิภาพระบบประปาหมู่บ้านในจังหวัดสกลนคร

Efficacy Assessment of a Rural Water Supply in Sakon NaKhon Province

จิรวัดน์ ศุภโกศล^{1*}, พานทอง ศุภโกศล¹

Jirawat Supakosol^{1*}, Pantong Supakosol¹

Received: 2 February 2019 ; Revised : 17 April 2019 ; Accepted: 23 April 2019

บทคัดย่อ

ระบบประปาหมู่บ้านหลายแห่งขาดการดูแลอย่างเป็นระบบทำให้พบปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำประปาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูแลระบบผลิตน้ำประปา และเพื่อประเมินประสิทธิภาพการบริหารระบบประปาในจังหวัดสกลนคร การศึกษาโดยใช้แบบสอบถามองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานระบบประปา และผู้บริหารหรือผู้รับผิดชอบระบบประปาในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำประปาแบบสุ่มที่ปลายท่อของชุมชน ผลการศึกษาพบว่าร้อยละ 95 ของหมู่บ้านมีระบบประปาใช้ ในระบบประปาดังกล่าวเป็นระบบประปาบาดาลร้อยละ 60 ซึ่งส่วนใหญ่ไม่มีระบบกรอง ในการดูแลรักษาระบบประปาที่ดำเนินงานโดยกรมการหมู่บ้านพบว่าไม่ได้ดำเนินงานตามมาตรฐานการดูแลรักษาระบบของกรมทรัพยากรน้ำ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปาพบว่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2553 ร้อยละ 50-80 อย่างไรก็ตามมีการตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากถึงร้อยละ 50 สอดคล้องกับค่าคลอรีนอิสระที่พบมีค่าต่ำกว่าค่าควบคุมถึงร้อยละ 90 โดยปัญหาดังกล่าวไม่พบในระบบประปาที่ดำเนินงานโดยประปาเทศบาลที่ยกฐานะจากสุขาภิบาลและการประปาส่วนภูมิภาค จากผลการศึกษาครั้งนี้มีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงการดำเนินงานและการดูแลรักษาระบบประปาหมู่บ้านอย่างเร่งด่วน

คำสำคัญ: การบริหารจัดการระบบประปา คุณภาพน้ำประปา ระบบประปาหมู่บ้าน

Abstract

Water supplies in rural areas suffer from deficient maintenance thereby causing a problem in the water quality standard. The purposes of this research are to study the maintenance procedures of the water supply production and to evaluate the efficiency of the water system management in Sakon Nakhon Province (SNP). A research questionnaire was answered by the local administrators in SNP (e.g. staffs and manager). Tap water was randomly sampled in nearby villages. The outcomes showed that 95 % of villages in SNP have a water supply system of which 60% use groundwater without filtration. Maintenance of the water supply performed by village councils was not performed according to the system maintenance standards of the Department of Water Resources. Therefore, the coliform bacteria of the tap water samples were measured at 50% consistent with free chlorine of 90% lower limit. However, such problems were not found where the water supply was being maintained by the municipality appointed from the sanitary district and Provincial Waterworks Authority. On the other hand, the analyzed parameters of water quality met the quality standard of tap water of Department of Health (2010) 50-80%. Based on the results of this study, the operation and maintenance procedures have to be improved and developed urgently.

Keyword: water supply system management, water quality, rural water supply

¹ อาจารย์,คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47160

¹ Lecture, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon, Thailand, 47160

* Corresponding author: jirawat.su@rmuti.ac.th

บทนำ

โครงการจัดหาหน้าสะอาดด้วยระบบประปาหมู่บ้านเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 2 (2510-2514) และในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5 และ 6 (2525-2534) คณะรัฐมนตรีได้มีมติให้เป็นช่วงของทศวรรษการจัดหาน้ำสะอาดให้ประชาชนในประเทศไทยร้อยละ 95 มีน้ำกินน้ำสะอาดใช้ มีการเร่งรัดจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบทโดยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบได้แก่ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท กรมทรัพยากรธรณี กรมอนามัยกรมโยธาธิการและการประปาส่วนภูมิภาค ภายหลังปฏิรูประบบราชการ พ.ศ. 2542 มีการโอนภารกิจให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งภารกิจการจัดให้มีน้ำสะอาดอุปโภคบริโภคให้กับประชาชนเป็นหนึ่งในภารกิจที่ถูกถ่ายโอน ดังนั้นทรัพยากรสินทรัพย์สาธารณะแห่งน้ำ ระบบประปาชนบทเดิม (จากหน่วยงานที่รับผิดชอบเดิม) และที่จะก่อสร้างใหม่ล้วนถูกถ่ายโอนให้อยู่ในความรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ด้วยภารกิจที่ถ่ายโอนมีภาระงานมากแต่จำนวนบุคลากรองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีน้อย ดังนั้นการดูแลระบบประปาหมู่บ้านส่วนใหญ่จึงให้ชุมชนดูแลกันเอง มีงานการศึกษาวิจัยในอดีตหลายงานที่ศึกษาปัญหา ประเมินผลการดำเนินงานระบบประปาหมู่บ้าน ตั้งแต่ระดับภาคจนถึงระดับหมู่บ้าน พบปัญหาหลักคือการบริหารจัดการซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำที่ส่งให้กับชุมชนและความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำ

การบริหารจัดการระบบประปาหมู่บ้านส่วนใหญ่บริหารระบบการผลิตประปาโดยคณะกรรมการชุมชนผู้ดูแลระบบประปาส่วนใหญ่ไม่ผ่านการฝึกอบรมความรู้ด้านการผลิตระบบประปา^{2,3} การปฏิบัติงานของผู้ดูแลระบบประปาอยู่ในระดับต่ำ⁴ ขาดความรู้ความเข้าใจในการดูแลรักษาระบบ⁵ ไม่ปฏิบัติตามรอบการบำรุงรักษา^{6,7} ใช้ปริมาณสารส้มคงที่ตลอดเวลา⁸ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดำเนินงานของระบบต่ำ คุณภาพน้ำที่ส่งให้ประชาชนส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มโดยเฉพาะด้านจุลชีววิทยา มีการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย⁶ สอดคล้องกับการตรวจไม่พบปริมาณคลอรีนหลงเหลือ⁴ บางงานวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการจัดการระบบประปาส่วนภูมิภาคมีประสิทธิภาพด้านคุณภาพที่ดีกว่าประปาหมู่บ้าน⁹

จังหวัดสกลนครมีจำนวนหมู่บ้าน 1,515 หมู่บ้าน มีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 140 แห่ง มีประชากรประมาณ 1,146,000 คน¹⁰ มีการใช้น้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค การประปาเทศบาล และประปาหมู่บ้าน มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบประปาในสกลนครมีจำนวนน้อยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการบริหารระบบประปาในระดับตำบล^{7,11} จึงมีความจำเป็นต้อง

ศึกษาประสิทธิภาพการดูแลรักษาระบบประปาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงการบริหารจัดการระบบประปาหมู่บ้านให้เกิดประโยชน์ต่อประชาชนผู้ใช้น้ำต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ การดำเนินงานวิจัยแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ส่วน คือ 1) จัดทำแบบสอบถามองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั้งหมดในจังหวัดสกลนคร โดยสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลระบบประปาหมู่บ้านที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ ในชุดแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 สอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่การมีหรือไม่มีระบบประปาของหมู่บ้านหรือใช้น้ำประปาจากแหล่งใด แหล่งน้ำในการผลิตประปา หน่วยงานที่รับผิดชอบ คุณสมบัติผู้ดูแลรักษาระบบ หน่วยงานและปีที่ก่อสร้าง ส่วนที่ 2 สอบถามข้อมูลระบบ ได้แก่ ระบบที่ใช้ก่อสร้างมาเพื่อรองรับแหล่งน้ำผิวดินหรือใต้ดิน ประเภท ขนาดของระบบกรอง ประเภท ความจุของถังน้ำใสและถังสูง ส่วนที่ 3 สอบถามข้อมูลการดูแลรักษาระบบทั้งประปาผิวดินและระบบประปาบาดาลโดยอ้างอิงมาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษาระบบประปาของกรมทรัพยากรน้ำ^{12,13} มาเป็นแบบสอบถาม ได้แก่ ความถี่ในการดูแลระบบทั่วไป เครื่องจักรกล ระบบไฟฟ้า การเตรียมสารเคมี การสังเคราะห์รวมตะกอน การระบายตะกอน การล้างทรายกรอง การทำความสะอาดถังน้ำใสและถังสูง และการตรวจสอบท่อจ่ายน้ำเป็นต้น 2) การสัมภาษณ์ผู้ดูแลระบบประปาในพื้นที่โดยสอบถาม รายละเอียดของระบบประปา แหล่งน้ำดิบ การดำเนินงานระบบ บุคลากรที่รับผิดชอบ ความครอบคลุมของท่อจ่ายเป็นต้น และ 3) เก็บตัวอย่างน้ำประปาที่ปลายท่อโดยเลือกสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 100 หมู่บ้านทุกอำเภอในจังหวัดสกลนคร จากชุมชนที่ใช้น้ำจากการประปาภูมิภาค การประปาเทศบาล และประปาหมู่บ้าน วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้แก่ พีเอช ของแข็งละลายน้ำ ความขุ่น ความกระด้าง ปริมาณเหล็กในน้ำ คลอรีนอิสระ โคลิฟอร์มแบคทีเรียและอีโคไลแบคทีเรีย (coliform และ Escherichia coli) การตรวจวัดดัชนีคุณภาพน้ำดังแสดงใน Table 1

ผลการศึกษา

ระบบประปา

จากแบบสอบถามพบว่าจังหวัดสกลนครมีหมู่บ้านที่ใช้น้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาคจำนวน 179 หมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 12 ของจำนวนหมู่บ้านและร้อยละ 15 ของประชากรในจังหวัดสกลนคร ซึ่งส่วนมากอยู่ในเขตเทศบาลนครเทศบาลเมือง และองค์กรบริหารส่วนตำบลต่างๆ หมู่บ้านที่ใช้น้ำประปาจากเทศบาลตำบลที่ยกฐานะจากสุขาภิบาล

ได้แก่ เทศบาลตำบลดงมะไฟ เทศบาลตำบลคำตากกล้า และ เทศบาลตำบลท่าแร่คิดเป็นร้อยละ 1 ของจำนวนหมู่บ้านและ ร้อยละ 2 ของประชากรในจังหวัดสกลนคร ส่วนที่เหลือทั้งหมด ใช้บริการประปาที่รับผิดชอบโดยเทศบาลและองค์การบริหาร ส่วนตำบล ซึ่งบางแห่งองค์การบริหารส่วนตำบลหรือเทศบาลดูแล บางแห่งให้คณะกรรมการหมู่บ้านดำเนินการเอง แสดงใน Figure 1

Table 1 Method of water quality analysis

Parameter	Method
pH	pH meter
Turbidity	Nephelometric Turbidity meter
Total dissolve solid	TDS meter
Iron	EPA Phenantroline method 315 B
Total hardness	EDTA Titrimetric Method
Free chlorine	USEPA method 330.5, DPD method
Coliforms and E.coli bacteria	Compact Dry EC ⁽¹⁾

⁽¹⁾ A ready-to-use chromogenic medium for performing E.coli and coliform counts, validated by AOAC (AOAC no. 110402).

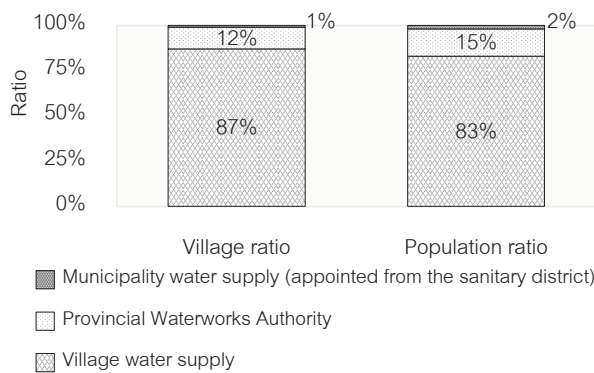


Figure 1 Service of water supplies in Sakon Nakhon Province

Surveyed: March - June 2017

ผู้วิจัยได้ส่งแบบสอบถามไปทุกองค์กรปกครองส่วน ท้องถิ่นในจังหวัดสกลนครมีการตอบแบบสอบถามกลับจำนวน 85 แห่งคิดเป็นร้อยละ 61 ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งเป็น ข้อมูล 790 หมู่บ้านคิดเป็นร้อยละ 50 ของหมู่บ้านใน จังหวัดสกลนคร ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามพบว่า มีหมู่บ้านที่มีระบบประปาคิดเป็นร้อยละ 81 บางหมู่บ้านส่ง จ่ายน้ำประปาให้หมู่บ้านอื่นด้วยและมีหมู่บ้านที่รับน้ำประปา จากหมู่บ้านอื่นร้อยละ 14 หมู่บ้านที่ไม่มีระบบประปาของหมู่บ้าน

และไม่ได้รับจากหมู่บ้านอื่นคิดเป็นร้อยละ 1 และไม่ระบุข้อมูล ในแบบสอบถามอีกร้อยละ 4 เมื่อพิจารณาการดูแลรักษาระบบ เฉพาะประปาหมู่บ้านร้อยละ 66 พบว่าดูแลโดยคณะกรรมการ หมู่บ้าน แต่เมื่อสอบถามผู้ดูแลระบบเคยเข้ารับการฝึกอบรม การดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบประปาหรือไม่พบว่าร้อยละ 66 ยังไม่เคยรับการอบรมการดำเนินงานและบำรุงรักษา รายละเอียดดัง Figure 2

รูปแบบระบบประปาหมู่บ้าน

จากแบบสอบถามพบว่าระบบประปาหมู่บ้าน ร้อยละ 60 เป็นระบบประปาน้ำบาดาล มีระบบประปาผิวดินประมาณ ร้อยละ 30 ที่เหลือมีใช้ทั้งสองระบบและไม่ระบุ ซึ่งในระบบ ประปาน้ำบาดาล มีระบบกรองร้อยละ 53 ส่วนระบบประปาผิว ดินมีระบบกรองร้อยละ 81 ที่เหลือเป็นการจ่ายน้ำเข้าชุมชน โดยตรงดังแสดงใน Figure 3

ระบบกรองมีการกรองอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ ถังเหล็ก ถังคอนกรีต และถังแบบ 4 in 1 ตัวอย่างถังกรองแสดงใน Figure 4 ระบบกรองที่เป็นถังเหล็กส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบ ของ กรมทรัพยากรธรณีและกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ถังกรอง แบบคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีทั้งการออกแบบสำหรับระบบ ประปา ผิวดินและระบบประปาบาดาล ส่วนใหญ่ก่อสร้างตาม แบบมาตรฐานการก่อสร้างของกรมอนามัยและกรมทรัพยากร น้ำ ปัจจุบันก่อสร้างโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเอง และ ถังแบบ 4 in 1 ซึ่งใช้แบบมาตรฐานของกรมส่งเสริมการ ปกครองส่วนท้องถิ่น สำหรับระบบประปาผิวดินส่วนใหญ่จะเป็น ถังคอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 87 แต่ในระบบประปา บาดาลจะใช้ถังเหล็กและคอนกรีตเสริมเหล็กเท่าๆ กันดัง Figure 5 ซึ่งระบบกรองทั้งหมดสามารถใช้งานได้ร้อยละ 60 เห็นได้ว่าการที่ระบบประปามีระบบกรองไม่สมบูรณ์แล้ว ส่วน ที่มีระบบครบยังมีหลายแห่งที่ไม่สามารถใช้งานได้

ระบบประปาผิวดินที่มีระบบกรองมีถึงน้ำใสประมาณ ร้อยละ 80 และประปาบาดาลมีถึงน้ำใสประมาณร้อยละ 20 โดยมีความจุตั้งแต่ 10-200 ลบ.ม. โดยขนาดความจุ 100 ลบ.ม.มีจำนวนมากที่สุดถึงร้อยละ 90 สามารถใช้งานได้ ส่วน ถังสูงมี 4 รูปแบบ ได้แก่ ถังเหล็ก ถังคอนกรีต ถัง 4 in 1 และ โครงสร้างเหล็กตัวอย่างแสดงใน Figure 6 พบว่าในระบบ ประปาผิวดินมี ถังสูงที่เป็นถังคอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 63 รองลงมาเป็นถังสูงแบบโครงสร้างเหล็กร้อยละ 15 ถังสูงมี ความจุตั้งแต่ 10-45 ลบ.ม. จำนวนความจุ 30 ลบ.ม.มีมาก ที่สุด และระบบประปาบาดาลมีถังสูงที่เป็นแบบโครงสร้าง เหล็กมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 51 รองลงมาเป็นถังเหล็ก ประมาณร้อยละ 29 ความจุตั้งแต่ 10-50 ลบ.ม. ความจุ 10 ลบ.ม.มีจำนวนมากที่สุดดังแสดงใน Figure 7

การดูแลรักษา

การดำเนินงานด้านการดูแลรักษาระบบประปาอ้างอิงมาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษาระบบประปาทั้งระบบประปา

ผิวดินและระบบน้ำประปาบาดาล^{12 13} ในด้านการดูแลประจำวัน ประจำสัปดาห์ ประจำเดือนและประจำปี การตรวจสอบการดำเนินงานระบบประปาแสดงดัง Figure 8 มีรายละเอียดดังนี้

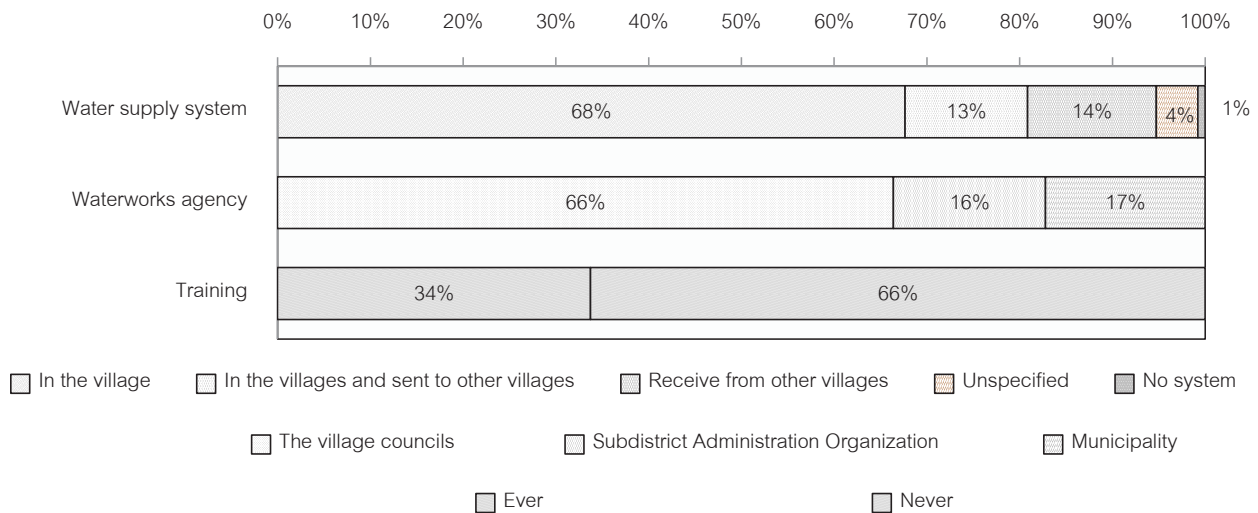


Figure 2 Water supply system, waterworks agency, and training in Sakon Nakhon Province
 Surveyed: March - June 2017

การดำเนินงานประจำวัน ได้แก่ การตรวจสอบและดูแลเครื่องจักรทั่วไป เช่นการตรวจสอบแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีการดำเนินงานได้ตามเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 33 การตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำเช่นการตรวจสอบ การสั่นสะเทือนและเสียงของเครื่องสูบน้ำมีการดำเนินงานได้ตามเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 50 ของระบบประปาผิวดิน ส่วนระบบประปาบาดาลมีการตรวจสอบแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าร้อยละ 15 ด้านระบบผลิตน้ำประปา ระบบประปาผิวดินมีการเตรียมสารส้มร้อยละ 58 การเตรียมปูนขาว ร้อยละ 35 การสังเกตขนาดเม็ดตะกอนร้อยละ 39 และการเปิดวาล์วระบายตะกอนเพื่อระบายตะกอนในถังตกตะกอน ร้อยละ 15 ส่วนระบบประปาบาดาลไม่มีการตรวจสอบในด้านนี้

การดำเนินงานประจำ 2 วัน ระบบประปาผิวดินมีการล้างทรายกรองร้อยละ 13 การเตรียมคลอรีนร้อยละ 20 ระบบประปาบาดาลไม่มีการล้างทรายกรอง มีการเตรียมคลอรีนร้อยละ 58 การดำเนินงานระบบประปาประจำเดือน การดูแลสภาพทั่วไป ระบบประปาผิวดิน ตัดหญ้า ทำความสะอาดบริเวณระบบประปาร้อยละ 37 มีตรวจสอบสภาพแหล่งน้ำ ร้อยละ 42 และกำจัดขยะในแหล่งน้ำร้อยละ 39 ระบบประปาบาดาลตัดหญ้าทำความสะอาดบริเวณระบบประปาร้อยละ

29 ด้านการดูแลเครื่องจักรของระบบประปาผิวดิน มีการตรวจสอบที่อัปเดตันรั้วตามเพลลาเครื่องสูบน้ำร้อยละ 27 การดูแลท่อเมนจ่ายน้ำการตรวจสอบการรั่วซึมร้อยละ 39 ส่วนระบบประปาบาดาลมีการดูแลดังกล่าวร้อยละ 24 การดำเนินงานประจำปี ระบบประปาผิวดินมีการล้างถังน้ำใสร้อยละ 77 การระบายตะกอนจากถังสูงร้อยละ 71 และการระบายตะกอนในท่อเมนร้อยละ 45 สำหรับระบบประปาบาดาลมีการดำเนินงานดังกล่าวร้อยละ 69 54 และ38 ตามลำดับ

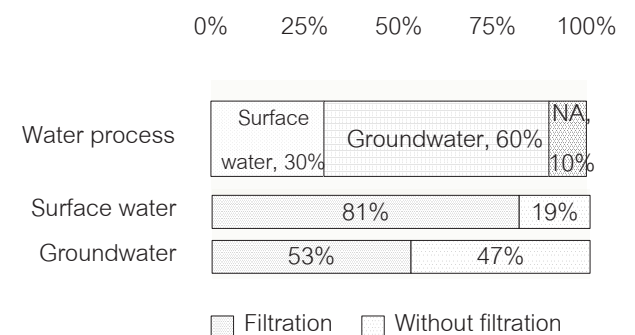


Figure 3 Water process in Sakon Nakhon Province
 Surveyed: March - June 2017

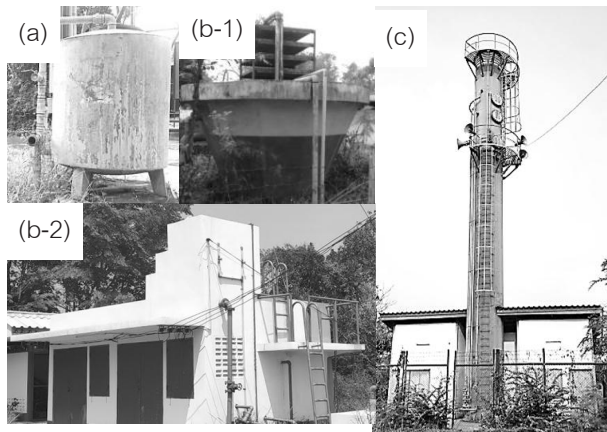


Figure 4 Examples of filtration tanks
 (a) Steel tank (b-1) Concrete tank for groundwater treatment (b-2) Concrete tank for surface water treatment (c) Tower water treatment (4 in 1 system)

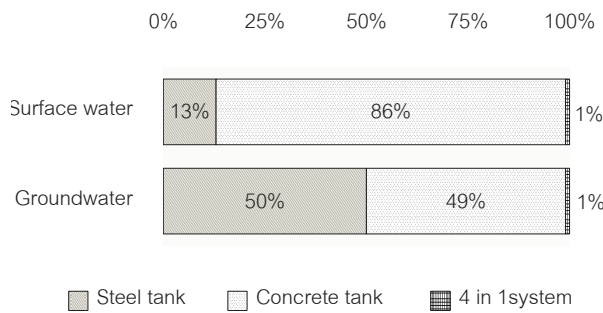


Figure 5 Filtration systems in Sakon Nakhon Province
 Surveyed: March - June 2017

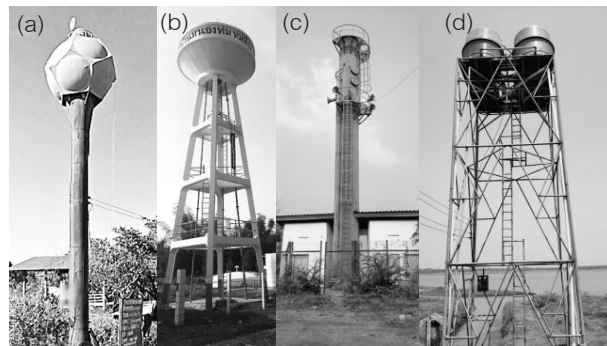


Figure 6 Examples of elevated tanks
 (a) Steel tank (b) Concrete tank (c) Tower water treatment (4 in 1 system) (d) Steel structure

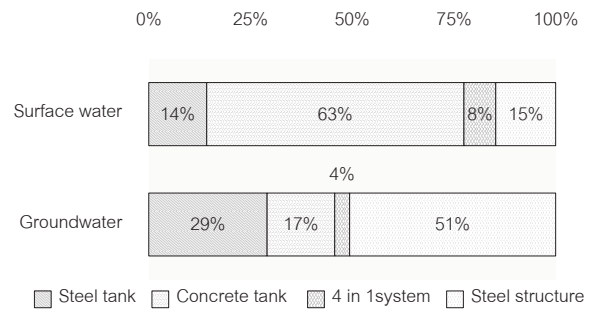


Figure 7 Elevated tank in Sakon Nakhon Province
 Surveyed: March - June 2017

ผลการสัมภาษณ์ผู้ดูแลระบบประปา

การสัมภาษณ์ผู้ดูแลระบบประปาหมู่บ้านจำนวน 120 หมู่บ้านทุกอำเภอในจังหวัดสกลนคร แบ่งการศึกษาเป็น 2 รูปแบบคือ ระบบประปาที่บริหารโดยคณะกรรมการหมู่บ้าน และระบบประปาที่บริหารโดยเทศบาล แบบที่ 1 พบว่ามีการดำเนินงานร้อยละ 66 ในจังหวัดสกลนคร การดำเนินงานจะมีผู้ดูแลระบบประปา 1 คน ดำเนินการผลิต จำหน่ายรวมถึงการเก็บเงินค่าน้ำประปา ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ดูแลระบบประปาแล้วยังประกอบอาชีพอื่นด้วย ผลการสัมภาษณ์พบว่า มีหมู่บ้านที่ผลิตน้ำประปาใช้เองและจ่ายน้ำประปาให้กับหมู่บ้านอื่น เช่น บ้านโพธิ์ทอง ตำบลอินทร์แปลง อำเภอดงเจริญบ้านใช้น้ำประปราร่วมกัน 7 หมู่บ้าน ส่วนบางหมู่บ้านไม่มีระบบประปาเช่น บ้านแคนน้อยหมู่ 9 ตำบลตองโขบ อำเภอโคกศรีสุพรรณจากการเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่าระบบประปาส่วนใหญ่ ร้อยละ 60 เป็นระบบประปาบาดาลที่เหลือเป็นระบบประปา ผิวดิน หน่วยงานที่ก่อสร้าง ได้แก่ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท กรมโยธาธิการ กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมอนามัย กรมทรัพยากรน้ำ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยการก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของหน่วยงานที่กล่าวมาข้างต้นและแบบก่อสร้างที่นิยมมากที่สุดคือแบบโครงสร้างเหล็กของกรมโยธาธิการ

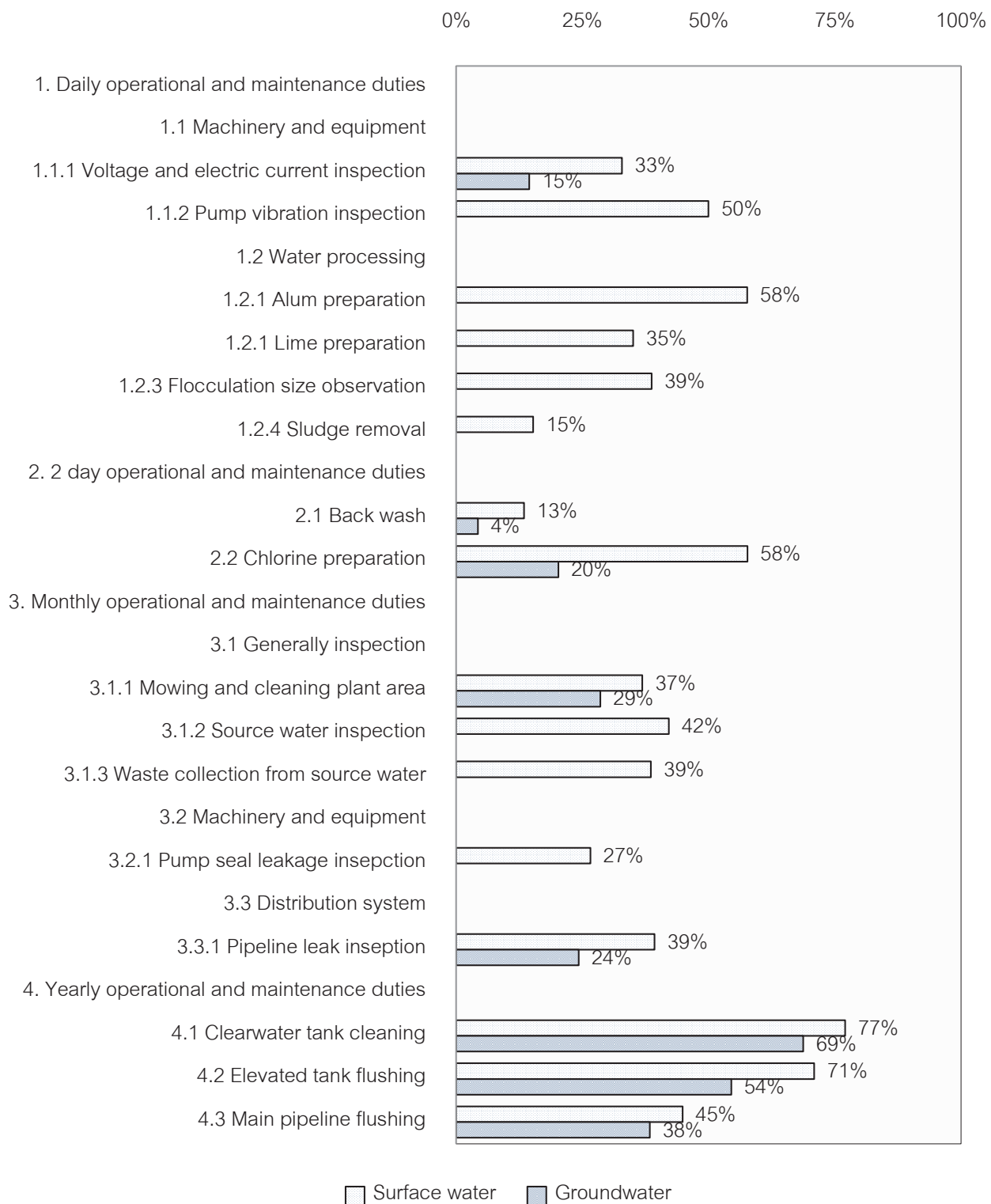


Figure 8 Operated according to maintenance standards of the Department of Water Resources x, % Operated according to maintenance standards and y, Duties description

จากการศึกษาพบว่าระบบประปายังใช้งานได้ดี ร้อยละ 48 และผู้ดูแลรักษาต้องการให้มีการก่อสร้างใหม่ เนื่องจากโครงสร้างชำรุดและชุมชนมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณน้ำดิบสำหรับผลิตส่วนใหญ่ไม่เพียงพอโดยเฉพาะระบบประปา

บาดาลการดำเนินงานส่วนใหญ่โดยเฉพาะระบบประปาบาดาล จะไม่มีระบบกรองจะสูบน้ำจากบ่อบาดาลแล้วจ่ายเข้าหมู่บ้าน ระบบประปาผิวดินการดูแลรักษาไม่ได้ตามเกณฑ์หลายแห่ง ไม่เปิดระบายตะกอน วาล์วระบายตะกอนชำรุดทำให้มีปัญหา

ต่อระบบกรอง หลายแห่งไม่ใส่คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค บางแห่งต้องยกเลิกการผลิตเพราะไม่สามารถดำเนินงานได้ ส่วนระบบการจ่ายน้ำมีท่อเมนครอบคลุมในหมู่บ้าน แบบที่ 2 ระบบประปาที่บริหารโดยเทศบาลมี 2 แบบคือ 1) เทศบาลที่ยกฐานะจากสุขาภิบาล จะมีพื้นที่ไม่กว้างใหญ่มาก การบริหารระบบประปามีหน่วยงานรับผิดชอบชัดเจนเช่น การประปา เทศบาลตำบลเมืองแปะ อำเภอเมือง กองการประปา เทศบาลตำบลท่าแร่ อำเภอเมือง ระบบประปาที่พบเป็นระบบประปาผิวดินขนาดใหญ่มีอัตราการกรอง 50-100 ลบ.ม./ชม. 2) เทศบาลที่ยกฐานะจากองค์การบริหารส่วนตำบล เทศบาลเหล่านี้จะมีพื้นที่กว้างใหญ่มากมีหมู่บ้านกระจายและห่างกัน การบริหารจัดการเทศบาลจะดูแลบางหมู่บ้าน โดยจ้างเจ้าหน้าที่รับผิดชอบระบบ ระบบประปาที่พบเป็นระบบประปาผิวดินขนาดใหญ่มีอัตราการกรอง 20-50 ลบ.ม./ชม. ส่วนหมู่บ้านที่อยู่ไกลออกไปมีคณะกรรมการหมู่บ้านดูแล โดยมีเทศบาลเป็นผู้สนับสนุน เจ้าหน้าที่เทศบาลที่รับผิดชอบ การดำเนินงานของระบบประปามีหน้าที่คือดำเนินงานระบบรวมทั้งตรวจสอบและซ่อมแซม จากการสัมภาษณ์พบว่ามีการดำเนินงานตามมาตรฐานการดูแลรักษา ปัญหาที่พบคือน้ำผลิตขาดแคลนมากในช่วงฤดูแล้ง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างน้ำประปาที่ปลายท่อในช่วงเดือนเมษายน 2561 ทั้งระบบประปาผิวดินและระบบประปาบาดาลอย่างละ 50 หมู่บ้านรวมเป็น 100 หมู่บ้านของทุกอำเภอในเขตจังหวัดสกลนคร โดยข้อมูลมีทั้งชุมชนที่ใช้น้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค การประปาเทศบาล และประปาหมู่บ้าน วิเคราะห์ข้อมูลน้ำประปา ได้แก่ ค่าพีเอช ของแข็งละลายน้ำ ความขุ่น ความกระด้าง ปริมาณ

เหล็กละลายน้ำ คลอรีนอิสระคงเหลือ และโคลิฟอร์มแบคทีเรียสรุปดัง Table 2 มีรายละเอียดดังนี้ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ พบว่าพีเอชของน้ำประปาผิวดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.10-7.86 และน้ำประปาบาดาลมีค่าอยู่ในช่วง 4.22-7.89 ค่าพีเอชที่มีค่าต่ำมักจะตรวจพบคลอรีนอิสระในน้ำและปริมาณเหล็กในน้ำสูงด้วย ค่าความขุ่นของน้ำประปาผิวดินอยู่ในช่วง 0.17-81.3 NTU และน้ำประปาบาดาลอยู่ในช่วง 0.07-13.45 NTU ค่าความขุ่นในน้ำบาดาลที่สูงจะตรวจพบปริมาณเหล็กในน้ำสูงด้วย คุณภาพน้ำทางเคมี พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำประปาผิวดินมีค่าระหว่าง 10-346 มก./ล. และน้ำประปาบาดาลมีค่าระหว่าง 30-975 มก./ล. สำหรับค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำบาดาลที่มีค่าสูงจะพบว่ามีค่าความกระด้างสูงเช่นกัน โดยความกระด้างซึ่งตรวจวัดเฉพาะระบบประปาบาดาลพบว่ามีค่าระหว่าง 18-588 มก./ล. และปริมาณเหล็กละลายน้ำในระบบประปาน้ำบาดาลพบว่ามีค่าระหว่าง 0-2.13 มก./ล. คลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำพบว่าเป็นระบบประปาผิวดินมีค่า 0-1.23 มก./ล. และระบบประปาบาดาลมี 0-0.13 มก./ล. คลอรีนอิสระคงเหลือที่ตรวจพบเป็นหมู่บ้านที่ใช้น้ำประปาจากประปาเทศบาลที่ยกฐานะจากสุขาภิบาลและการประปาภูมิภาค ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพ ตรวจพบโคลิฟอร์มและอีโคไลแบคทีเรียทั้งในระบบประปาผิวดินและระบบประปาบาดาล

อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์แบบสอบถามด้านการดำเนินงานผลการสัมภาษณ์ และผลของคุณภาพน้ำ นำมาสร้างเกณฑ์หาประสิทธิภาพการดำเนินงานระบบประปา ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบประเมินมาตรฐานคุณภาพระบบบริการอนามัยสิ่งแวดล้อมองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น¹⁴ บางส่วนมาใช้

Table 2 Results of the analyzed water quality

Parameter	Results		% qualified the standard		The WQS of DOH ⁽¹⁾ (2010)
	Surface water	Groundwater	Surface water	Groundwater	
pH	4.10-7.86	4.22-7.89	80	88	6.5-8.5
Turbidity(NTU)	0.17-81.3	0.07-13.45	82	96	5
Total dissolve solid (mg/l)	10-346	30-975	100	100	1,000
Iron (mg/l)	0 - 0.9	0 - 2.13	96	98	0.5
Total hardness (mg/l)		18 -588		94	500
Free chlorine ⁽²⁾ (mg/l)	0 - 1.23	0 - 0.3	12	2	
Coliforms and E. Coli bacteria (MPN/100 ml)	Detected	Detected	50	58	Absent

Note: ⁽¹⁾ Water quality standard of Department of Health, ⁽²⁾The optimum chlorine residual is in the range of 0.2 to 0.5 mg/l.^{12 13}

โดยเลือกหัวข้อหลักที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยได้แก่ การพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบประปา การดูแลรักษา ระบบตามมาตรฐานการบำรุงรักษา และผลคุณภาพน้ำที่ได้จากการดูแลรักษาเป็นหลักมีรายละเอียดดังนี้

ด้านการพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบประปา ซึ่งจากแบบสอบถามพบว่าระบบประปาที่ดูแลโดยคณะกรรมการหมู่บ้านมีจำนวนมากคิดเป็นร้อยละ 66 โดยผู้ดูแลระบบประปาไม่ได้รับการฝึกอบรมการดำเนินงานและบำรุงรักษาประปา คิดเป็นร้อยละ 66 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พัชรินทร์ ราโช³ พบว่าร้อยละ 81 ของประปาหมู่บ้าน 27 แห่งในพื้นที่ศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างบริหารโดยคณะกรรมการชุมชนและผู้ดูแลส่วนมากไม่ได้รับการอบรมการดูแลระบบผลิตประปาเช่นกัน การดูแลรักษาประปาตามมาตรฐานการบำรุงรักษาและผลของคุณภาพน้ำ ในการศึกษาที่แบ่งออกเป็นระบบประปาบาดาลและระบบประปาผิวดิน ในระบบประปาบาดาลจากแบบสอบถามพบว่าในจังหวัดสกลนครมีมากถึงร้อยละ 60 ที่ไม่มีระบบกรองคิดเป็นร้อยละ 47 ซึ่งสอดคล้องกับการสัมภาษณ์ผู้ดูแลระบบประปาในพื้นที่พบว่าส่วนใหญ่เป็นระบบบาดาลเช่นกันโดยระบบจะมี บ่อบาดาลสูงขึ้นถึงสูงแบบโครงสร้างเหล็กของกรมโยธาธิการและจ่ายให้กับชุมชนเลย ดังนั้นการดูแลรักษาประปาจึงจะพบในส่วนที่เป็นถึงกรองแบบถังเหล็กและแบบถังคอนกรีต การดำเนินงานส่วนใหญ่ได้แก่ การทำความสะอาดถาดกระจายน้ำ การล้างทรายกรอง การทำความสะอาดถังน้ำใส ถังสูงและ ระบบจ่ายน้ำ ส่วนใหญ่พบความถี่ในการดำเนินงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานการบำรุงรักษาประปาแต่ก็ยังมีดำเนินงานอยู่เพียงแต่ความถี่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำที่จ่ายเข้าชุมชนเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของ กรมอนามัย พ.ศ.2553 พบว่าน้ำประปาบาดาลผ่านเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าน้ำประปาผิวดินดัง Table 2 น้ำประปาบาดาลที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้แก่ ค่าพีเอชต่ำมักจะตรวจพบความขุ่นและปริมาณเหล็กละลายน้ำไม่ผ่านมาตรฐานเช่นกัน ได้แก่ บ้านจำปาดง ตำบลกุดเรือคำ อำเภอวานรนิวาส มีความขุ่น 9 NTU ปริมาณเหล็กละลายน้ำ 2.18 มก./ล. และบ้านนาขาม ตำบลนาหม่อง อำเภอกุดบาก มีความขุ่น 13.4 NTU มีปริมาณเหล็กละลายน้ำ 2.18 มก./ล. และน้ำประปาบาดาลที่ค่าของแข็งละลายน้ำสูงมักจะพบค่าความกระด้างสูงเช่นที่ ตำบลละฮี อำเภอพรรณานิคมของแข็งละลายน้ำมีค่า 330-946 มก./ล. มีค่าความกระด้าง 300-684 มก./ล. ผลคุณภาพน้ำมีความใกล้เคียงกับรายงานสถานการณ์น้ำบาดาลปี 2558¹⁵ ในแอ่งน้ำบาดาลอุตรธานี-สกลนครพบว่าค่าของแข็งละลายน้ำ 352-1,130 มก./ล. ค่าความกระด้างทั้งหมด 94-260 มก./ล.และปริมาณเหล็กละลาย

น้ำ 0.4-2.9 มก./ล. ด้านมาตรฐานคุณภาพด้านชีววิทยามีตรวจพบโคลิฟอร์มและอีโคไลแบคทีเรียซึ่งมาตรฐานต้องไม่มี สอดคล้องกับวารจกณาและคณะ¹⁶ ได้ศึกษาระบบประปาหมู่บ้านแบบบาดาล 8 แห่งในลุ่มน้ำวังสามหมอก จังหวัดขอนแก่น พบว่าคุณภาพน้ำด้านชีววิทยาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานถึงร้อยละ 60 เช่นกัน

ระบบประปาผิวดินส่วนที่เหลือ การดำเนินงานจะมีขั้นตอนที่มากกว่าการดำเนินงานของระบบประปาบาดาล จากแบบสอบถาม พบความถี่การดำเนินงานที่เป็นไปตามมาตรฐาน ได้แก่ การดูแลรักษาสภาพทั่วไปของระบบประปา คือการตัดหญ้า การดูแลรักษาแหล่งน้ำ การล้างถังน้ำใสและถังสูง การระบายตะกอนในท่อ ส่วนการดำเนินงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานการดูแลรักษาได้แก่ การกำจัดขยะในแหล่งน้ำ การตรวจสอบและดูแลเครื่องจักรทั่วไป การเตรียมสารเคมีเช่น สารส้ม ปูนขาว และคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค การดำเนินงานระบบได้แก่ การสังเกตขนาดเม็ดตะกอนในรางรวมตะกอน การระบายตะกอนจากถังตกตะกอน การทำความสะอาดและการล้างทรายกรอง อย่างไรก็ตามแม้ความถี่ในการดำเนินงานจะไม่เป็นไปตามมาตรฐานการดูแลรักษาแต่ผู้ดูแลรักษาประปาก็ยังมีการดำเนินงานอยู่ จากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ดำเนินงานโดยกรรมการหมู่บ้านพบว่าระบบประปาจะทำงานอัตโนมัติเมื่อน้ำในถังน้ำใสลดลงเครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำดิบเข้าระบบ น้ำดิบจะผสมกับสารส้มซึ่งผสมไว้ในปริมาณคงเดิมหรือเปิดน้ำผ่านสารส้มให้ละลายน้ำเอง การระบายตะกอนในถังตกตะกอนและการล้างทรายกรองจะทำเมื่อทรายกรองอุดตัน โดยจ้างเหมาล้างถังตกตะกอนและถังกรองทรายเป็นต้น เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำที่จ่ายเข้าชุมชนเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ.2553 ดัง Table 2 น้ำประปาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ได้แก่ ค่าพีเอชที่ต่ำมักจะพบคลอรีนอิสระคงเหลือ ส่วนค่าความขุ่นและปริมาณเหล็กที่เกินมาตรฐานร้อยละ 12 และ 6 ตามลำดับนั้นอาจจะมีสาเหตุจากช่วงที่เก็บตัวอย่างน้ำเป็นช่วงที่มีฝนตกและเกี่ยวเนื่องกับการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบด้วย การตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในระบบประปาผิวดินมีมากกว่าระบบประปาบาดาล ซึ่งการตรวจพบนี้มีความสัมพันธ์กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ กล่าวคือหมู่บ้านที่ตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่จะไม่พบโคลิฟอร์มแบคทีเรียหมู่บ้านที่ใช้ น้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค และประปาเทศบาล ผลของคุณภาพน้ำมีความสอดคล้องกับงานวิจัยหลายงานอาทิเช่น สุวรรณ⁴ ที่ศึกษาระบบประปาผิวดินในองค์การบริหารส่วนตำบลหนองบัว อำเภอวังทอง จังหวัดนครสวรรค์ และ นราพล และคณะ⁷ ที่ศึกษาทั้งระบบประปาผิวดิน

ดินและใต้ดินจำนวน 16 แห่งใน ตำบลเชียงเครือ จังหวัด สกลนคร ล้วนสรุปว่ามีประปาหมู่บ้านจำนวนมากไม่ผ่าน เกณฑ์คุณภาพน้ำประปา

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในระบบประปาในจังหวัดสกลนครมีหมู่บ้าน ใช้บริการน้ำประปาจากกรมการปกครองประปาหมู่บ้าน ร้อยละ 87 ที่เหลือรับบริการน้ำประปาจากการประปาส่วน ภูมิภาค และการประปาเทศบาล ระบบประปาส่วนใหญ่เป็น ระบบประปาน้ำบาดาลซึ่งส่วนใหญ่ไม่มีระบบกรอง ผู้ดูแล รักษาประปาส่วนใหญ่ไม่เคยเข้ารับการศึกษาอบรมการดูแล รักษาประปา การดูแลรักษาไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ กรมทรัพยากรน้ำและคุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำ ประปาของกรมอนามัย การบริหารระบบประปากรมการ บริหารการประปาหมู่บ้านมีประสิทธิภาพต่ำ การดูแลโดยการ ประปาส่วนภูมิภาค และการประปาเทศบาล (ยกฐานะจาก สุขาภิบาล) มีประสิทธิภาพดีกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสานที่สนับสนุนทุนวิจัยปีงบประมาณ 2560 ขอขอบคุณ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ช่วยตอบแบบสอบถาม กำหนด ผู้ใหญ่บ้านและผู้ดูแลระบบประปาหมู่บ้านที่เสียสละเวลาให้ ข้อมูลและดูงาน

เอกสารอ้างอิง

1. วิเชียร จุ่งรุ่งเรือง, เทวารักษา เครือคล้าย. ความเป็นมา และรูปแบบการบริหารระบบประปาชนบท. วารสาร สมาคมทรัพยากรน้ำ. 2548:14-22.
2. มยุรี โยธาวุฒิ. การบริหารจัดการระบบประปาหมู่บ้านของ ประเทศไทย: กรณีศึกษาชุมชน จังหวัดนครนายก. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; 2560.
3. พัชรินทร์ ราโช, บุญชัย วิจิตรเสถียร, ฉัตรเพชร ยศพล. การประเมินด้านวิศวกรรมของระบบผลิตประปาชุมชน. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2555.
4. สุวรรณ เพ็ชรรัตน์. การศึกษาระบบผลิตและคุณภาพน้ำ ประปาผิวดิน พื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลหนองบัว อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์. วารสารบัณฑิตวิทยาลัย. 2553;5(11):68.
5. ยุภาพร อำนาจ, นันทพร สุทธิประภา, วัฒนาชัย มาลัย. การประเมินประสิทธิภาพระบบประปาหมู่บ้านในพื้นที่ จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 2557;6(12): 77-90

6. มาสสุภา เจียงवास, อุไรวรรณ อินทร์ม่วง. การดูแลระบบ ประปาและคุณภาพน้ำประปาของระบบประปาหมู่บ้าน แบบบาดาล ในเขตตำบลวังทอง อำเภอหนองบัว จังหวัด หนองบัวลำภู. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. 2556;6(1): 47-60.
7. นราพล เกษมสานต์, สมณพร สุธิบาก, นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์. การประเมินคุณภาพน้ำระบบประปาหมู่บ้าน ตำบลเชียงเครือจังหวัดสกลนคร. ใน:การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามครั้งที่ 12. 2559 หน้า 432-440.
8. ชินวัฒน์ เรือนใหม่. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำ ประปาที่ผลิตได้ของชุมชน 4 หมู่ อำเภอโนนไทย จังหวัด นครราชสีมา. โครงการวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การ บริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี; 2555.
9. นฤมล ประภาสสมุทร, วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์. การดูแล ระบบผลิตและคุณภาพน้ำประปาของระบบประปาหมู่บ้าน แบบผิวดินในเขตจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัย ขอนแก่น ฉบับบัณฑิตศึกษา, 2549;6(12): 121-134.
10. สำนักงานเขตสุขภาพที่ 8 กระทรวงสาธารณสุข. รายงาน ประจำปี. 2560.
11. ไพรัตน์ ทัตศร, พุ่งศรี ภัคดีสุวรรณ, วิจิตรา สุจริต. การมี ส่วนร่วมความพึงพอใจ และความต้องการเทคโนโลยีใน การบริหารจัดการการผลิตน้ำประปาของเทศบาลตำบล จีวต่อน อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร. วารสาร บัณฑิตศึกษา. 2556;10(50): 47-58.
12. กรมทรัพยากรน้ำ. มาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษา ระบบประปาแบบผิวดิน. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2548.
13. กรมทรัพยากรน้ำ. มาตรฐานการดูแลและบำรุงรักษา ระบบประปาแบบบาดาล, กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2548.
14. สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย. คู่มือการ พัฒนาคุณภาพระบบบริการอนามัยสิ่งแวดล้อม องค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่น (Environmental Health Accreditation : EHA). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร แห่งประเทศไทย จำกัด; 2559.
15. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. รายงานสถานการณ์น้ำบาดาล ประเทศไทย พ.ศ.2558. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2558.
16. วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์, ชัชวาล กীরติวรสกุล, กฤษณชัย เรืองจาบ. สถานการณ์คุณภาพน้ำประปาและความพึง

พอใจของผู้ใช้น้ำประปาหมู่บ้านบาดาล ในพื้นที่ลุ่มน้ำสามหมอ
จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
2552;14(10): 961-974

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

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

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

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

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

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

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

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

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

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

1. การอ้างอิงหนังสือ

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

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

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

2. การอ้างอิงจากวารสาร

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

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

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

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

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

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่าง: Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. In: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.
พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะเนงศักดิ์ มณีวรรณ, พongam เดชคาร์ณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูดของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

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

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

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

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

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

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมั่นใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and 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. If the information is complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

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

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

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

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

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

Submission of manuscripts

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

Review of manuscripts:

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



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

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

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

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

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

ออกใบเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

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

สาขาทำขออนุญาตมหาสารคาม

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