Volume 39 Number 4 July - August 2020
ISSN (Print Edition) : 1686-9664
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 39 Number 4 July - August 2020

ปีที่ 39 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2563
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

Index in TCI (Tier 2)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วัตถุประสงค์
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา
อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

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

กองบรรณาธิการ
ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรวรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญญา วงศ์พิริยโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษ์จินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Mr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ
ฉวีวรรณ อรรคะเศรษฐัง

ผู้ช่วยเลขานุการ
พักตร์วิไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่
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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาติเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยงานวิจัยจากหลากหลายสาขาวิชา จำนวน 12 บทความ คลอบคลุมในศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งมีประโยชน์และมีคุณค่าในด้านวิชาการเป็นอย่างมาก นำมารวบรวมจัดพิมพ์และเผยแพร่เช่นเดียวกับฉบับก่อนๆ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือต่อยอดเพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่หรือเกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ได้ต่อไป

เนื้อหางานวิจัยจาก 12 บทความในวารสารฯ ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยเนื้อหาจากงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ จำนวน 4 บทความ งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพจำนวน 3 บทความ และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 บทความ เช่น ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อนของพีชคณิตบีอีไฮเพอร์ การเปรียบเทียบความต้องการของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ การพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลสำหรับการสอบข้อเขียน-การเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์การเขียนและอุปกรณ์การพิมพ์ ผลของการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก เวชกรรมพื้นบ้านในเอกสารใบลานอีสาน: กรณีศึกษาโรคผิวหนัง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ การวิเคราะห์โครงข่ายของสายน้ำด้วยทฤษฎีกราฟบนหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง: กรณีศึกษาพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี การประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2: กรณีศึกษาลุ่มน้ำลำปาว การผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง ความเป็นไปได้สำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

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

ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

Biological Science

การศึกษาแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือ (*Limnonectes taylori*) ในจังหวัดเชียงใหม่ของประเทศไทย **355**

Karyotypic Study of Taylor's Stream Frog (*Limnonectes taylori*) in Chiang Mai, Thailand

พรวดี ใจเที่ยงธรรม, อิสสระ ปะทะวัง

Pronwadee Chaithiangtham, Isara Patawang

Mathematics Science

ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อนของพีชคณิตบีอีไฮเพอร์ **361**

Fuzzy Weak Hyper Filters of Hyper BE-Algebras

วรุจน์ นาคเสน

Warud Nakkhasen

Food Science and Technology

ผลของการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก **368**

Effect of Roasting on Bioactive Compounds of Germinated Soybean

ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, กฤตนัย แก้วยศ

Chaiyong Taechapairoj, Krittanai Kaewyot

Computer and Information Technology

การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลสำหรับการสอบข้อเขียน-การเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์การเขียนและอุปกรณ์การพิมพ์ **374**

Performance study of input devices for generating writing with drawing tasks in written exams-a comparison between handwriting and typing devices

สุนันทา วงศ์จตุรภัทร, นพพร โชติกกำธร

Sununthar Vongjaturapat, Nopporn Chotikakamthorn

การวิเคราะห์โครงข่ายของสายน้ำด้วยทฤษฎีกราฟบนหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง: กรณีศึกษาพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี **389**

An Analysis of Water Network Employed by Graph Theory-based Centrality: A Case Study of Flood Risk Areas in Chanthabur Province

ธนพล พุกเส็ง

Thanaphon Phukseng

Geospalial

ความเป็นไปได้สำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม **400**

Possible Earthquake Prediction In Thailand with Artificial Neural Network models

พรรณปพร บุญแปง, ทวี ชัยพิมลผลิน

Phanpaporn Boonpaeng, Tawee Chaipimonplin

สารบัญ

Engineering

การเปรียบเทียบความต้องการของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ **414**
Comparison of Travelers' and Experts' Requirements on the Decision Making of Non-Motorized Transportation Traveling Inside the University Area in Chiang Mai
พันธุ์ระวี กองบุญเทียม
Punravee Kongboontiam

การพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล **426**
Development of a simple light pipe from a Fresnel lens
สรวิศ สอนสารี, เอกภูมิ บุญธรรม
Sorawit Sonsaree, Eakpoom Boonthum

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ **438**
Factors affecting musculoskeletal disorders of workers in the silk weaving professions in Chaiyaphum province
มาโนช ริทินโย, อมรศักดิ์ มาใหญ่, ภรณี หลาวทอง
Manote Rithinyo, Amornsak Mayai, Poranee Loatong

การประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2: กรณีศึกษาลุ่มน้ำลำปาว **446**
Estimation of Suspended Sediment Concentration in Rivers using Sentinel-2 Imagery: A Case Study of Lam Pao Basin
จุฬาวัลย์ นนตะพันธ์, ศิวา แก้วปลั่ง
Jurawan Nontapon, Siwa Kaewplang

Health Science

เวชกรรมพื้นบ้านในเอกสารใบลานอีสาน: กรณีศึกษาโรคผิวหนัง **457**
Folk medicine recorded in Palm Leaf Manuscripts of Isan: A case study of skin disorders
ชินพัฒน์ เฉลิมรัมย์, สุทธิรา เซดลัค
Chinnaphat Chaloemram, Sutthira Sedlak

Environment Technology

การผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง **472**
Production of Lightweight Expended Clay Aggregate from Water Treatment Sludge and Cassava Sludge
กรรณิการ์ วงศ์มุกดา, สุพิญญา เมาะราษี, ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์
Kannika Wongmukda, Supinya Mullasir, Panjai Saueprasearsit

คำอธิบายภาพปก : การศึกษาแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือ (*Limnonectes taylori*) ในจังหวัดเชียงใหม่ของประเทศไทย

ภาพปก : พรวดี ใจเที่ยงธรรม, อิสสระ ปะทะวัง. 2563, 459-464

การศึกษาแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือ (*Limnonectes taylori*) ในจังหวัดเชียงใหม่ของประเทศไทย

Karyotypic Study of Taylor's Stream Frog (*Limnonectes taylori*) in Chiang Mai, Thailand

พรวดี ใจเที่ยงธรรม[1], อิสสระ ปะทะวัง[2*]
Pronwadee Chaithiangtham[1], Isara Patawang[2*]

Received: 3 July 2019 ; Revised: 29 October 2019 ; Accepted: 22 november 2019

บทคัดย่อ

รายงานนี้เป็นการศึกษาแคริโอไทป์และอิดิโอแกรมของกบห้วยขาปุ่มเหนือ (*Limnonectes taylori*) ในภาคเหนือของประเทศไทย เก็บตัวอย่างจากจังหวัดเชียงใหม่ เตรียมโครโมโซมโดยตรงจากไขกระดูก ย้อมสีโครโมโซมแบบธรรมดาด้วยสีจิมซ่า 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาจำนวน รูปร่าง และขนาดของโครโมโซม ผลการศึกษาพบว่ากบห้วยขาปุ่มเหนือมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ (2*n*) เท่ากับ 22 แท่ง มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน (NF) เท่ากับ 44 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย แคริโอไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกขนาดใหญ่ 8 แท่ง ซับเมทาเซนทริกขนาดใหญ่ 2 แท่ง เมทาเซนทริกขนาดกลาง 2 แท่ง ซับเมทาเซนทริกขนาดกลาง 2 แท่ง และเมทาเซนทริกขนาดเล็ก 8 แท่ง ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของโครโมโซมเพศได้ กบห้วยขาปุ่มเหนือมีสูตรแคริโอไทป์ คือ $2n\ (22) = L^{m}_{8} + L^{sm}_{2} + M^{m}_{2} + M^{sm}_{2} + S^{m}_{8}$

คำสำคัญ: โครโมโซม แคริโอไทป์ กบห้วยขาปุ่มเหนือ เชียงใหม่

Abstract

This study analyzed the karyotype and idiogram of Taylor's stream frog (*Limnonectes taylori*) collected from Chiang Mai Province in Northern Thailand. A mitotic chromosome preparation from bone marrow was obtained by direct method. Chromosomes were stained by conventional staining technique with 20% Giemsa solution in order to examine diploid number, shape and size. The result showed that the diploid number (2*n*) of *Limnonectes taylori* was 22, the fundamental number (NF) was 44 both male and female. The type of chromosomes were 8 large metacentrics, 2 large submetacentrics, 2 medium metacentrics, 2 medium submetacentrics and 8 small metacentrics. No cytologically distinguishable sex chromosome was observed. The karyotype formula of *L. taylori* is as follows: $2n\ (22) = L^{m}_{8} + L^{sm}_{2} + M^{m}_{2} + M^{sm}_{2} + S^{m}_{8.}$

Keywords: Chromosome, Karyotype, *Limnonectes taylori*, Chiang Mai

[1] นักศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2] อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[1] Master's degree student, Graduate School, Chiang Mai University
[2] Instructor, Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Mueang District, Chiang Mai 50200, Thailand
Corresponding author: isara.p@cmu.ac.th

บทนำ

กบเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่มีความหลากชนิดมากจัดอยู่ในอันดับกบ (order Anura) วงศ์ Dicroglossidae ทั่วโลกพบกบในวงศ์นี้จำนวน 14 สกุล และประมาณ 215 ชนิด แบ่งออกเป็น 2 วงศ์ย่อย คือ วงศ์ย่อย Dicroglossinae มี 12 สกุล 200 ชนิด และ วงศ์ย่อย Occidozyginae มี 2 สกุล 15 ชนิด กบห้วย ขาปุ่มเหนือหรือกบห้วยขาปุ่มเทเลอร์ (*Limnonectes taylori*) อยู่ในวงศ์ย่อย Dicroglossinae สกุลกบลำห้วย (genus *Limnonectes*) ในสกุลนี้มีสมาชิกอยู่ 72 ชนิด[1] สำหรับในประเทศไทยพบ 16 ชนิด[2] กบห้วยขาปุ่มเหนือจัดเป็นกบขนาดกลาง มีส่วนหัวค่อนข้างโต เพศผู้มีขนาดลำตัว 46-93 มิลลิเมตร เพศเมียมีขนาด 40-62 มิลลิเมตร เพศผู้มีส่วนหัวยาวกว่าเพศเมีย ลำตัวด้านหลังและขามีแถบสีดำหรือสีเข้ม มีตุ่มขนาดเล็กละเอียดด้านหลัง และมีพังผืดเว้าลึกแต่กางเต็มนิ้วตีน[3] (Figure 1) มีเขตกระจายพันธุ์ทางภาคเหนือของประเทศไทยในพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง แพร่ น่าน และภาคตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตาก[2]

Figure 1 General characteristics of the *Limnonectes taylori*

รายงานการศึกษาโครโมโซมของกบในวงศ์ Dicroglossidae ก่อนหน้านี้พบว่ากบส่วนใหญ่ในวงศ์นี้มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ (2*n*) อยู่ระหว่าง 22-26 แท่ง[4-14] ลักษณะแคริโอไทป์ประกอบด้วยออโตโซมและโครโมโซมเพศ (พบในบางชนิด) โดยออโตโซมส่วนใหญ่จะเป็นโครโมโซมชนิดที่มี 2 แขน ส่วนโครโมโซมเพศนั้นพบว่ากบบางชนิดในวงศ์นี้มีระบบกำหนดเพศทั้งแบบ XX/XY[4] และระบบกำหนดเพศ แบบ ZZ/ZW[10] และในอดีตเคยมีรายงานการศึกษาโครโมโซมของกบในสกุล *Limnonectes* พบว่ามีจำนวนโครโมโซมอยู่ระหว่าง 22-26 แท่ง ลักษณะโครโมโซมเป็นชนิดที่มี 2 แขน (bi-armed) แบบเมทาเซนทริก และ/หรือซับเมทาเซนทริก ยกเว้นในกบ *L. blythii* ที่มีเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และซับเทโลเซนทริก และในกบ *L. modestus* ที่มีโครโมโซมแบบเมทาเซนทริกและเทโลเซนทริก มีค่าจำนวนโครโมโซมพื้นฐานอยู่ระหว่าง 44-52 และไม่มีรายงานการตรวจพบโครโมโซมเพศในกบสกุล *Limnonectes* ทุกชนิด[5-9] (Table 1) สำหรับกบห้วยขาปุ่มเหนือเคยมีรายงานการศึกษาโครโมโซมไว้โดย Phimphan and Aiumsumang เมื่อปี 2562 ซึ่งศึกษาจากประชากรกบห้วยขาปุ่มเหนือในจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพะเยา พบว่ามีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 22 แท่ง และไม่สามารถตรวจพบโครโมโซมเพศได้ การศึกษาโครโมโซมของกบจะเป็นข้อมูลพื้นฐานทางด้านพันธุกรรมของสัตว์กลุ่มนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับการศึกษาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น ด้านอนุกรมวิธาน สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ การอนุรักษ์พันธุกรรม และการศึกษาพันธุศาสตร์ด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างกบห้วยขาปุ่มเหนือทั้งเพศผู้ (n=4, หมายเลข AC v21-v24) และเพศเมีย (n=6, หมายเลข AC v26-v31) รวมจำนวน 10 ตัว ในบริเวณแหล่งน้ำต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ จำแนกและระบุชนิดโดยเทียบเคียงกับคำบรรยายลักษณะสัณฐานวิทยา จากเอกสารของ Matsui et al.[3] เลี้ยงกบไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1 วัน เพื่อเป็นการปรับสภาพสัตว์ ทำการเตรียมโครโมโซมโดยตรงจากไขกระดูกดัดแปลงจาก Patawang et al.[4] โดยนำตัวอย่างกบมาฉีดด้วยสารละลายโคลชิซินความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 10 กรัม ทิ้งไว้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นทำการสลบกบและผ่าตัดแยกเอาเซลล์ไขกระดูกจากขาหน้า ขาหลัง สับเนื้อเยื่อไขกระดูกให้ละเอียด ย้ายตะกอนเซลล์ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วนำมาผ่านขั้นตอนการทำให้เซลล์พองโตโดยเติมสารละลายไฮโพโทนิคซึ่งใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ (M) เติมให้ได้ปริมาตร 7 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที เมื่อปั่นเสร็จแล้วดูดส่วนใสด้านบนทิ้งให้เหลือไว้เฉพาะตะกอนเซลล์ที่ก้นหลอด ทำการตรึงเซลล์ด้วยน้ำยาตรึงเซลล์สูตรคาร์นอยด์ (Carnoy's fixative) จำนวน 3 รอบ ย้อมสีโครโมโซมแบบธรรมดาด้วยสีจิมซ่าความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างสีออกด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า เลือกถ่ายภาพเซลล์ที่มีการกระจายตัวดี นำภาพที่ได้มาจัดทำแคริโอไทป์พร้อมกับวัดค่าความยาวของโครโมโซมจากเพศผู้จำนวน 10 เซลล์ และเพศเมียจำนวน 10 เซลล์ จัดทำอิดิโอแกรมมาตรฐาน จำแนกชนิด รูปร่าง และขนาดของโครโมโซม โดยดัดแปลงจากวิธีของอลงกลด และคณะ[15]

Table 1 Review of cytogenetic reports in the genus *Limnonectes*

Species	(2*n*)	Fundamental number (NF)	Karyotype	Reference
Limnonectes taylori	22	44	16m+6sm	Phimphan and Aiumsumang[5]
L. blythii	24	48	10m+12sm+2st	ธวัช และอัจฉริยา[6]
L. modestus	24	44	20m+4t	Nasaruddin et al.[7]
L. gruniens	24	48	24m	Nasaruddin et al.[7]
L. kuhlii	22	44	8m+14sm	Supaprom[8]
L. pileatus	26	52	16m+10sm	Supaprom[8]
	26	52	16m+10sm	Supaprom and Baimai[9]

Remarks: m, metacentric; sm, submetacentric; st, subtelocentric; t, telocentric

ตัวอย่างซากกบห้วยขาปุ่มเหนือที่เหลือจากการศึกษาโครโมโซมจะถูกแยกเอาเนื้อเยื่อตับเก็บรักษาสภาพในเอทิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการศึกษาชีววิทยาโมเลกุลในอนาคต และส่วนของร่างกายที่เหลือ รวมทั้งตัวอย่างกบห้วยขาปุ่มเหนือบางส่วนที่มีสภาพสมบูรณ์จะถูกรักษาสภาพไว้ในเอทิลแอลกอฮอล์และเก็บรักษาไว้ ณ แหล่งรวบรวมสัตว์ของห้องปฏิบัติการวิจัยพันธุศาสตร์ระดับเซลล์และเซลล์ซิสเทเมติคส์ (Animal Collection of Cytogenetics and Cytosystematics Research, AC) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลการศึกษา

กบห้วยขาปุ่มเหนือมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 22 แท่ง (Figure 2) และมีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 44 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย แคริโอไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกขนาดใหญ่ 8 แท่ง (คู่ที่ 1, 2, 4 และ5) ซับเมทาเซนทริกขนาดใหญ่ 2 แท่ง (คู่ที่ 3) เมทาเซนทริกขนาดกลาง 2 แท่ง (คู่ที่ 6) ซับเมทาเซนทริกขนาดกลาง 2 แท่ง (คู่ที่ 7) และเมทาเซนทริกขนาดเล็ก 8 แท่ง (คู่ที่ 8-11) (Figure 3 and Table 2) แคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือจากการย้อมสีโครโมโซมแบบธรรมดาไม่สามารถตรวจพบบริเวณที่เป็นรอยคอดที่สอง (2nd constriction) หรือโครโมโซมที่เป็นแซตเทลไลต์ (satellite chromosome) อันจะใช้เพื่อระบุเป็นโครโมโซมเครื่องหมายได้ นอกจากนี้แคริโอไทป์จากการย้อมสีแบบธรรมดายังไม่สามารถระบุโครโมโซมเพศของกบห้วยขาปุ่มเหนือได้ สูตรแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือคือ $2n$ (22)=L^m_8+ L^{sm}_2 +M^m_2+ M^{sm}_2+S^m_8

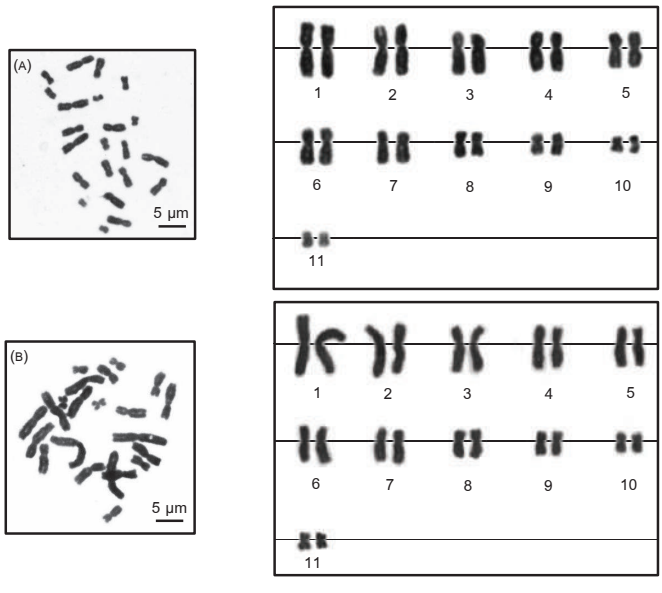


Figure 2 Metaphase chromosome plates and karyotypes of male (A) and female (B) *Limnonectes taylori*, 2*n*=22, by conventional staining technique

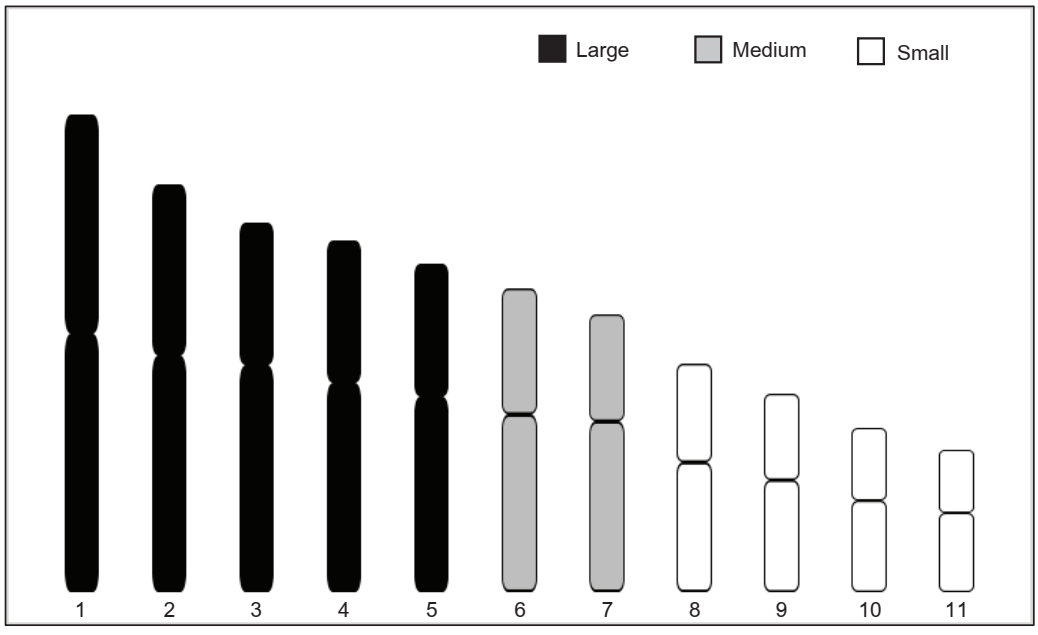


Figure 3 Idiogram of *Limnectes taylori*, 2*n*=22, by conventional staining technique

Table 2 Mean length of the short arm chromosome (Ls), long arm chromosome (LI), total arm chromosome (LT), relative length (RL), centromeric index (CI) and standard deviation (SD) of RL, CI from metaphase chromosome in 20 cells of male and female *Limnonectes taylori*, 2*n*=22

Pair	Ls	LI	LT	RL±SD	CI±SD	Size	Type
1	3.174	3.736	6.910	0.147±0.005	0.541±0.016	Large	Metacentric
2	2.471	3.419	5.890	0.125±0.008	0.581±0.022	Large	Metacentric
3	2.054	3.284	5.338	0.114±0.004	0.615±0.017	Large	Submetacentric
4	2.055	3.022	5.077	0.108±0.004	0.595±0.021	Large	Metacentric
5	1.921	2.817	4.737	0.101±0.005	0.595±0.019	Large	Metacentric
6	1.814	2.568	4.381	0.093±0.004	0.587±0.029	Medium	Metacentric
7	1.561	2.463	4.024	0.086±0.006	0.613±0.020	Medium	Submetacentric
8	1.426	1.860	3.304	0.070±0.004	0.569±0.036	Small	Metacentric
9	1.248	1.614	2.864	0.061±0.005	0.565±0.035	Small	Metacentric
10	1.053	1.322	2.375	0.050±0.004	0.559±0.045	Small	Metacentric
11	0.914	1.143	2.057	0.044±0.004	0.557±0.054	Small	Metacentric

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าลักษณะแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือ มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 22 แท่ง สอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้[5] จากความสอดคล้องของ 2 รายงานการศึกษานี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่งสำหรับประกอบการศึกษาด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านการระบุชนิด รวมถึงความสัมพันธ์ในระดับอนุกรมวิธานและวิวัฒนาการของกบห้วยขาปุ่มเหนือที่อยู่ต่างกลุ่มประชากรกัน

โครโมโซมของกบห้วยขาปุ่มเหนือมี 3 ขนาด คือ โครโมโซมขนาดใหญ่ 10 แท่ง โครโมโซมขนาดกลาง 4 แท่ง และโครโมโซมขนาดเล็ก 8 แท่ง โดยทั้งหมดเป็นโครโมโซมชนิดที่มี 2 แขน มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 44 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย ไม่พบความแตกต่างของรูปร่างโครโมโซม

เพศ เมื่อเปรียบเทียบแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือกับกบชนิดอื่นในสกุลเดียวกัน พบว่ากบห้วยขาปุ่มเหนือมีจำนวนโครโมโซมน้อยที่สุดในสกุล *Limnonectes* ซึ่งเท่ากับกบ *L. kuhlii* [8] ขณะที่กบชนิดอื่น ได้แก่ *L. blythii, L. modestus* และ *L. gruniens* มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 24 แท่ง[6, 7] ซึ่งมากกว่ากบห้วยขาปุ่มเหนือ 2 แท่ง และในกบชนิด *L. pileatus* มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 26 แท่ง[8, 9] มากกว่ากบห้วยขาปุ่มเหนือ 4 แท่ง แม้จะมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาที่ลักษณะของแคริโอไทป์ พบว่าโครโมโซมของกบในสกุลนี้มีการอนุรักษ์สูง คือโครโมโซมเป็นชนิดที่มี 2 แขน และโดยส่วนใหญ่เป็นแบบเมทาเซน ทริกหรือซับเมทาเซนทริก และไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของรูปร่างโครโมโซมเพศได้ในทุกชนิด

เมื่อเปรียบเทียบแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือกับกบชนิดอื่นในวงศ์เดียวกัน (วงศ์ Dicroglossidae) และวงศ์อื่นในอันดับเดียวกัน (อันดับ Anura) พบว่ากบห้วยขาปุ่มเหนือมีจำนวนโครโมโซมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาที่ลักษณะของแคริโอไทป์ พบว่ากบชนิดอื่นในวงศ์เดียวกันรวมถึงวงศ์อื่นๆ ในอันดับ Anura โดยส่วนใหญ่มีโครโมโซมเป็นแบบ 2 แขนทั้งหมด[5-14, 16] ซึ่งจัดเป็นแคริโอไทป์แบบสมมาตร (symmetrical karyotype) คือ โครโมโซมเป็นแบบเมทาเซนทริกและ/หรือซับเมทา เซนทริก และไม่เป็นแบบไบโมดัล (non-bimodal karyotype) คือไม่มีโครโมโซมชุดใหญ่และชุดเล็กที่แตกต่างกันชัดเจน[16] แสดงถึงลักษณะโครโมโซมที่มีการอนุรักษ์สูงในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในอันดับ Anura

การศึกษาในอนาคตควรมีการเพิ่มเทคนิคการย้อมสีโครโมโซมด้วยเทคนิคอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อ ตรวจหาเอกลักษณ์ของแคริโอไทป์ของกบห้วยขาปุ่มเหนือและเอกลักษณ์เฉพาะของโครโมโซมเพศ เช่น เทคนิคการย้อมสีแบบซี (C-banding) เทคนิคการย้อมสีแบบจี (G-banding) หรือเทคนิคการศึกษาพันธุศาสตร์ระดับเซลล์เชิงโมเลกุล (molecular cytogenetics)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และได้รับอนุญาตการใช้สัตว์ทดลองตามมาตรฐานสถาบันพัฒนาการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (เลขที่คำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-04491-2559)

เอกสารอ้างอิง

1. David W. *Limnonectes*. Amphibiaweb. 2019. Available from: https://amphibiaweb.org /cgibi n/amphib_query Accessed 19 February 2019.
2. ประทีป ด้วงแค ยอดชาย ช่วยเงิน อิงอร ไชยเยศ ยุวดี พลพิทักษ์ และศุภลักษณ์ ศิริ. บัญชีรายการ ทรัพยากรชีวภาพสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน); 2559. หน้า 165-233.
3. Matsui M, Panha S, Khonsue W, Kuraishi N. Two new species of the "*kuhlii*" complex of the genus *Limnonectes* from Thailand (Anura: Dicroglossidae). Zootaxa 2010; 2615: 1-22.
4. Patawang I, Tanomtong A, Phimphan S, Chuaynkern Y, Chuaynkern C, Phaengphairee PH, Khrueanet W, Nithikulworawong N. The identification of sex-chromosomes and karyological analysis of rice frog, *Fejervarya limnocharis* (Anura, Ranidae) from Northeast Thailand. Cytologia 2014;79(2): 141-150.
5. Phimphan S, Aiumsumang S. Chromosomal characteristics of Taylor's stream frog (*Limnonectes taylori*) (Amphibia, Anura) from Thailand. Nucleus 2019;doi:10.1007/s1 3237-019-00291-2.
6. ธวัช ดอนสกุล และอัจฉริยา รังษิรุจิ. คาริโอไทป์ของเซลล์ตับในกบภูเขา เขียดบัว เขียดกาญจนบุรี เขียดน้ำนอง และอึ่งเพ้า. ใน: เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2548. หน้า 544-551.
7. Nasaruddin, Suriana, Adi DA, Salamansyah. The karyotype of seven species of amphibians (Anuran order) from South-east Sulawesi. Veteriner 2009;10(2): 77-86.
8. Supaprom T. Cytogenetics of amphibians in Thailand. Ph.D. dissertation, Mahidol university; 2003.
9. Supaprom T, Baimai V. Karyotypes of ten species of ranid frogs (Anura: Ranidae) from Thailand. Amphibia Reptilia 2004; 25(1): 104-111.
10. Saba N, Tripathi N. Preliminary cytogenetic study and report of ZZ/ZW sex chromosomes in the bullfrog, *Hoplobatrachus tigerinus* (Anura, Amphibia) from high altitude area of Jammu and Kashmir, India. Nucleus 2014; 57(1): 55-59.

11. Shanthi PA, Singh P, Barh D, Venkatachalaiah G. Comparative karyology based systematics of *Euphlyctis hexadactylus* and *E. cyanophlyctis*. International Journal of Integrative Biology 2009; 9(1): 6-9.
12. Kour P, Tripath NK, Poonam I, Jangral S. Karyological analysis of Indian skittering frog, *Euphlyctis cyanophlyctis* from Jammu and Kashmir (India). International Journal of Recent Scientific Research 2015; 6(2): 2719-2724.
13. Joshy SH, Kuramoto M. Comparative chromosome studies of five species of the genus *Fejervarya* (Anura: Ranidae) from South India. Cytologia 2008; 73(3): 243-250.
14. Suttichaiya A, Khammanichanh A, Patawang I, Sriuttha M, Tanamtong A, Neeratanaphan L. Chromosome aberrations of East asian bullfrog (*Hoplobatrachus rugulosus*) around a gold mine area with arsenic contamination. EnvironmentAsia 2016; 9(1): 60-69.
15. อลงกลด แทนออมทอง กฤษณ์ ปิ่นทอง และ อิสสระ ปะทะวัง. พันธุศาสตร์ระดับเซลล์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2562. หน้า 492-505.
16. ประวีรณ์ สุพรรณอ่วม. วิวัฒนาการของโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 2561; 46(4): 654-663.

ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อนของพีชคณิตบีอีไฮเพอร์
Fuzzy Weak Hyper Filters of Hyper BE-Algebras

วรุจน์ นาคเสน[1]
Warud Nakkhasen[1]

Received: 5 October 2019 ; Revised: 3 March 2020 ; Accepted: 24 March 2020

บทคัดย่อ
ในบทความวิจัยนี้ได้แนะนำแนวคิดของตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อนในพีชคณิตบีอีไฮเพอร์ และได้ศึกษาสมบัติบางประการของตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อน จากนั้นได้แสดงว่าเซตของตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อนทั้งหมดของพีชคณิตบีอีไฮเพอร์เป็นแลตทิซบริบูรณ์ที่มีการแจงแจง ยิ่งไปกว่านั้นได้จำแนกลักษณะเฉพาะของพีชคณิตบีอีไฮเพอร์นอเทอร์เรียน และพีชคณิตบีอีไฮเพอร์อาร์ทิเนียน โดยใช้ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อน

คำสำคัญ: ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัย ตัวกรองไฮเพอร์วิภัชนัยแบบอ่อน พีชคณิตบีอี พีชคณิตบีอีไฮเพอร์

Abstract
The aim of this work is to introduce the notion of fuzzy weak hyper filters in hyper BE-algebras and investigate some of their properties. This research shows that the set of all fuzzy weak hyper filters of hyper BE-algebras is a distributive complete lattice. Also, the concepts of Noetherian hyper BE-algebras and Artinian hyper BE-algebras are characterized by their fuzzy weak hyper filters.

Keywords: fuzzy hyper filter, fuzzy weak hyper filter, BE-algebra, hyper BE-algebra

[1] อาจารย์, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand
[1] Corresponding author: E-mail: warud.n@msu.ac.th

Introduction

The fuzzy set was introduced by Zadeh[1] as a function from a nonempty set X to the unit interval $[0,1]$. Later, many researchers have discussed the generalizations of the concepts of fuzzy sets with applications in computing, logic and many ramifications of pure and applied mathematics. Kim and Kim[2] introduced the notion of BE-algebras, as a generalization of BCK-algebras[3] and BCI-algebras[4]. In 2010, the concept of fuzzy ideals in BE-algebras was introduced and some of its properties were investigated by Song, Jun and Lee[5]. Then, Dymek and Walendziak[6] studied and characterized the concept of fuzzy filters in BE-algebras.

The hyperstructure theory was introduced by Marty[7] in 1934 as a generalization of ordinary algebraic structures. Radfar, Rezaei and Borumand Saeid[8] applied the hyper theory to introduce the notion of hyper BE-algebras, as a generalization of BE-algebras. In 2015, Cheng and Xin[9] investigated some types of hyper filters on hyper BE-algebras.

In this work, the concept of fuzzy weak hyper filters of hyper BE-algebras is introduced, and its properties are considered. Finally, the concepts of Noetherian hyper BE-algebras and Artinian hyper BE-algebras are characterized by their fuzzy weak hyper filters.

Preliminaries

Let X be a nonempty set. The mapping $\circ$, $X \times X \to P^*(X)$, where $P^*(X)$ denotes the set of all nonempty subsets of H, is called a *hyperoperation*[10-13] on H. The hyperstructure $(H,\circ)$ is called a *hypergroupoid*. Let A and B be any two nonempty subsets of H and $x \in H$. Then, we denote

$$A \circ B = \bigcup_{a \in A, b \in B} a \circ b,$$

$$A \circ x = A \circ \{x\} \text{ and } x \circ B = \{x\} \circ B.$$

Let H be a nonempty set and $\circ: X \times X \to P^*(X)$ be a hyperoperation. Then $(H,\circ,1)$ is called a *hyper BE-algebra*[8] if it satisfies the following axioms:

(i) $x < 1$ *and* $x < x$;

(ii) $x \circ (y \circ z) = y \circ (x \circ z)$;

(iii) $x \in 1 \circ x$;

(iv) $1 < x$ *implies* $x = 1$;

for all $x, y, z \in H$, where the relation "$<$" is defined by $x<y$ if and only if $1 \in x \circ y$.

Example 2.1[8] Define the hyperoperation "$\circ$" on $\mathbb{R}$ as follows:

$$x \circ y = \begin{cases} \{y\} & \text{if } x = 1; \\ \mathbb{R} & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Then, $(\mathbb{R},\circ,1)$ is a hyper BE-algebra.

Example 2.2[8] Let $X = \{1,a,b\}$. Define the hyperoperation "$\circ$" on as follows:

$\circ$	1	a	b
1	$\{1\}$	$\{a\}$	$\{b\}$
a	$\{1,a\}$	$\{1,a,b\}$	$\{1,a\}$
b	$\{1,a,b\}$	$\{a\}$	$\{1,a,b\}$

Then, $(H,\circ,1)$ is a hyper BE-algebra.

Let F be a nonempty subset of a hyper BE-algebra H and $1 \in F$. Then F is called:

(i) a *weak hyper filter*[8] of H if $x \circ y \subseteq F$ and $x \in F$, then $y \in F$, for all $x,y \in F$;

(ii) a *hyper filter*[8] of H if $x \circ y \approx F$ and $x \in F$, then $y \in F$, where $x \circ y \approx F$ means that $x \circ y \cap F \neq \emptyset$, for all $x,y \in H$.

Note that every hyper filter of a hyper BE-algebra H is a weak hyper filter of H, but the converse is not true in general[8]. In this paper, we will focus on weak hyper filters of hyper BE-algebras.

Lemma 2.3 If $\{F_i : i \in I\}$ is a chain of a family of weak hyper filters of a hyper BE-algebra H, then $\bigcup_{i \in I} F_i$ is also a weak hyper filter of H.

Proof. Let $\bigcup_{i \in I} F_i$. Clearly, $1 \in F$. Let $x,y \in H$ such that $x \circ y \subseteq F$ and $x \in F$. Then $x \circ y \subseteq F_i$ and $x \in F_i$ for some $i,j \in I$. Assume that $F_i \subseteq F_j$. It follows that $x \circ y \subseteq F_j$ and $x \in F_j$. Since F_j is a weak hyper filter of H, we have $y \in F_j \subseteq F$. Hence, F is a weak hyper filter of H.

A *fuzzy set*[1] of a nonempty set X is a mapping $\mu: X \to [0,1]$. Then, the set $U(\mu;\alpha)=\{x \in X : \mu(x) \geq \alpha\}$ is called a *level subset* of μ. where $\alpha \in [0,1]$. Let μ and ν be any two fuzzy sets of a nonempty set X. Then $\mu \subseteq \nu$, means

that $\mu(x)\leq v(x)$, for all $x\in X$. In addition, the intersection and the union of μ and v, denoted by $\mu\cap v$ and $\mu\cup v$, respectively, are defined by letting $x\in X$, $(\mu\cap v)(x)=\min\{\mu(x), v(x)\}$ and $(\mu\cup v)(x)=\max\{\mu(x), v(x)\}$.

Results

In this section, we introduce the notion of fuzzy weak hyper filters of hyper BE-algebras, and we investigate some fundamental properties of fuzzy weak hyper filters in hyper BE-algebras.

Definition 3.1 A fuzzy set μ of a hyper BE-algebra H is called a *fuzzy weak hyper filter* of H if it satisfies the following conditions:

(i) $\mu(1) \geq \mu(x)$;

(ii) $\mu(x) \geq \min\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\}$;

for all $x,y \in H$.

Example 3.2 Let $H=\{1,a,b\}$ be a set with a hyperoperartion "$\circ$" on defined as follows:

$\circ$	1	a	b
1	$\{1\}$	$\{a,b\}$	$\{b\}$
a	$\{1\}$	$\{1,a\}$	$\{1,b\}$
b	$\{1\}$	$\{1,a,b\}$	$\{1\}$

Then, is a hyper BE-algebra[8]. We define a fuzzy set μ of H by $\mu(a)\leq \mu(b)\leq \mu(1)$. By routine computations, we have that μ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Theorem 3.3 Let be a fuzzy set of a hyper BE-algebra H. Then μ is a fuzzy weak hyper filter of H if and only if its nonempty level subset $U(\mu;\alpha)=\{x\in H:\mu(x)\geq\alpha\}$ is a weak hyper filter of for all $\alpha\in[0,1]$.

Proof. Assume that μ is a fuzzy weak hyper filter of H. Let $\alpha\in[0,1]$ such that $U(\mu;\alpha)\neq\emptyset$. Then there exists $x_0\in U(\mu;\alpha)$ such that $\mu(x_0)\geq\alpha$. Since $\mu(1)\geq\mu(x_0)$, $1\in U(\mu;\alpha)$. Let $x,y\in H$ such that $x\circ y\subseteq U(\mu;\alpha)$ and $x\in U(\mu;\alpha)$. Then $\mu(z)\geq\alpha$, for all $z\in x\circ y$. Thus, $\mu(y)\geq\min\{\inf_{z\in x\circ y}\mu(z), \mu(x)\}\geq\alpha$, that is, $y\in U(\mu;\alpha)$. Hence, $U(\mu;\alpha)$ is a weak hyper filter of H.

Conversely, suppose that $\mu(1)\geq\mu(x_0)=\beta$ for some $x_0\in H$ and $\beta\in[0,1]$. Then $U(\mu;\beta)\neq\emptyset$, and so $U(\mu;\beta)$ is a weak hyper filter of H. It follows that $1\in U(\mu;\beta)$, which implies that $\mu(1)\geq\beta$. This is a contradiction. Thus, $\mu(1)\geq\mu(x)$, for all $x\in H$. Suppose that $\mu(a) < \min\{\inf_{z\in b\circ a}\mu(z), \mu(b)\}$ for some $a,b\in H$. Letting $\alpha=\frac{1}{2}\left(\mu(a)+\min\left\{\inf_{z\in b\circ a}\mu(z), \mu(b)\right\}\right)$.

We have $\mu(a)<\alpha<\min\{\inf_{z\in b\circ a}\mu(z), \mu(b)\}\leq\inf_{z\in b\circ a}\mu(z)$ and $\alpha<\mu(b)$. Then $b\circ a\subseteq U(\mu;\alpha)$ and $b\in U(\mu;\alpha)$. Since is a weak hyper filter of H, we have $a\in U(\mu;\alpha)$, that is, $\mu(a)\geq\alpha$. This is a contradiction. We obtain that $\mu(a)\geq\min\{\inf_{z\in b\circ a}\mu(z), \mu(b)\}$ for all $a,b\in H$. Therefore, μ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Corollary 3.4 If μ is a fuzzy weak hyper filter of a hyper BE-algebra H, then the set $H_a=\{x\in H:\mu(x)\geq\mu(a)\}$ is a weak hyper filter of H for all $a\in H$.

Corollary 3.5 If μ is a fuzzy weak hyper filter of a hyper BE-algebra H, then the set $H_\mu=\{x\in H:\mu(x)=\mu(1)\}$ is a weak hyper filter of H.

Theorem 3.6 Let $F_1\subset F_2\subset\cdots F_n\subset\ldots$ be a strictly ascending chain of weak hyper filters of a hyper BE-algebra H and $\{t_n\}$ be a strictly decreasing sequence in $[0,1]$. Let μ be a fuzzy set of H, defined by $\mu(x)=$

$$\begin{cases} 0 & \text{if } x\notin F_n \text{ for each } n\in\mathbb{N}; \\ t_n & \text{if } x\in F_n-F_{n-1} \text{ for } n=1,2,\ldots; \end{cases}$$

for all $x\in H$, where $F_0=\emptyset$. Then μ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Proof. Let $F=\bigcup_{n\in\mathbf{N}}F_n$. By Lemma 2.3, F is a weak hyper filter of H. Then $\mu(1)=t_1\geq\mu(x)$, for all $x\in H$. Let $x,y\in H$. Thus, we can divide to be two cases, as follows.

Case 1: $x\notin F$. Then $y\circ x\notin F$ or $y\notin F$. There exists $a\in y\circ x$ such that $x\notin F$. Thus, $\mu(a)=0$ or $\mu(y)=0$. Hence, $\min\{\inf_{z\in y\circ x}\mu(z), \mu(y)\}$.

Case 2: $x\in F_n$-F_{n-1} for some $n=1,2,\ldots$. Then $y\circ x\not\subseteq F_{n-1}$ or $y\notin F$. Thus, there exists $a\in y\circ x$ such that $a\notin F_{n-1}$. We obtain that, $\inf_{z\in y\circ x}\mu(z)\leq t_n$ or $\mu(y)\leq t_n$. Therefore, $\min\left\{\inf_{z\in y\circ x}\mu(z), \mu(y)\right\}\leq t_n=\mu(x)$. Consequently, μ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Let μ and v be fuzzy sets of a nonempty set X. The *cartesian product*[14] of μ and v is defined by $(\mu\times v)(x,y)=\min\{\inf_{z\in y\circ x}\mu(z), \mu(b)$, for all $x,y\in X$.

Theorem 3.7 Let H be a hyper BE-algebra. If μ and v are fuzzy weak hyper filters of H, then $\mu\times v$ is a fuzzy weak hyper filter of $H\times H$.

Proof. Assume that μ and v are fuzzy weak hyper filters of H. Let $(x,y)\in H\times H$. Then

$(\mu \times \nu)(1,1) = \min\{\mu(1), \nu(1)\} \geq \min\{\mu(x), \nu(y)\}$ $= (\mu \times \nu)(x,y)$. Now, let $(x_1, y_2), (x_2, y_2) \in H\,x\,H$. Then $(\mu, \nu)\,(x_1, y_1)$

$$
\begin{aligned}
&= \min\{\mu(x_1), \nu(y_1)\} \\
&\geq \min\{\min\{\inf_{z_1 \in x_2 \circ x_1} \mu(z_1), \mu(x_2)\}, \\
&\qquad \min\{\inf_{z_2 \in y_2 \circ y_1} \nu(z_2), \nu(y_2)\}\} \\
&\geq \min\{\inf_{\substack{z_1 \in x_2 \circ x_1 \\ z_2 \in y_2 \circ y_1}} \{\min\{\mu(z_1), \nu(z_2)\}, \\
&\qquad \min\{\mu(x_2), \nu(y_2)\}\}\} \\
&\geq \min\{\inf_{(z_1,z_2) \in (x_2,y_2) \circ (x_1,y_1)} (\mu \times \nu)\,(z_1, z_2), \\
&\qquad (\mu \times \nu)(x_2, y_2)\}.
\end{aligned}
$$

Therefore, $\mu\,x\,\nu$ is a fuzzy weak hyper filter of $H\,x\,H$.

Let be a fuzzy set of a nonempty set X, $\alpha \in [0, 1 - \sup_{x \in X} \mu(x)]$ and $\beta \in [0,1]$. Then:

(i) the mapping $\mu^{T}_{\alpha}: X \to [0,1]$ is called a *fuzzy translation*[15] of μ if $\mu^{T}_{\alpha}(x) = \mu(x) + \alpha$, for all $x \in X$;

(ii) the mapping $\mu^{M}_{\beta}: X \to [0,1]$ is called a *fuzzy multiplication*[15] of μ if $\mu^{M}_{\beta}(x) = \beta\mu(x)$, for all $x \in X$;

(iii) the mapping $\mu^{MT}_{\beta,\alpha} : X \to [0,1]$ is called a *fuzzy magnified translation*[16] of μ if $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}(x) = \beta\mu(x) + \alpha$, for all $x \in X$.

Theorem 3.8 Let H be a hyper BE-algebra, μ be a fuzzy set of H, $\alpha \in [0, 1 - \sup_{x \in H} \mu(x)]$ and $\beta \in [0,1]$. Suppose that $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}$ is a fuzzy magnified translation of μ, with respect to α and β. Then μ is a fuzzy weak hyper filter of H if and only if $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Proof. Assume that μ is a fuzzy weak hyper filter of H. Let $a \in H$. Since $\mu(1) \geq \mu(a)$, we have $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}(1) = \beta\mu(1) + \alpha \geq \beta\mu(a) + \alpha = \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(a)$, for all $a \in H$. Let $x, y \in H$. Then

$$
\begin{aligned}
\mu^{MT}_{\beta,\alpha}(x) &= \beta\mu(x) + \alpha \\
&\geq \beta \min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\} + \alpha \\
&= \min\{\inf_{z \in y \circ x} (\beta\mu(z) + \alpha), \beta\mu(y) + \alpha\} \\
&= \min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(z), \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(y)\}.
\end{aligned}
$$

Hence, $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Conversely, assume that $\mu^{MT}_{\beta,\alpha}$ is a fuzzy weak hyper filter of H. Let $x, y \in H$. Consider $\beta\mu(1) + \alpha = \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(1) \geq \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(x) = \beta\mu(x) + \alpha$ and

$$
\begin{aligned}
\beta\mu(x) + \alpha &= \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(x) \\
&\geq \min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(z), \mu^{MT}_{\beta,\alpha}(y)\} \\
&= \min\{\inf_{z \in y \circ x} (\beta\mu(z) + \alpha), \beta\mu(y) + \alpha\} \\
&= \min\{\beta(\inf_{z \in y \circ x} \mu(z)) + \alpha, \beta\mu(y) + \alpha\} \\
&= \beta\min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\} + \alpha.
\end{aligned}
$$

Since $\beta > 0$ and $\alpha \geq 0$, we have $\mu(x) \geq \min\left\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\right\}$ and $\mu(1) \geq \mu(x)$, for all $x, y \in H$. Hence, μ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Corollary 3.9 Let H be a hyper BE-algebra, μ be a fuzzy set of H, $\alpha \in [0, 1 - \sup_{x \in X} \mu(x)]$, and $\beta \in [0,1]$. Suppose that μ^{T}_{α} is a fuzzy translation and is a fuzzy multiplication of with respect to and , respectively. Then the following conditions are equivalent:

(i) μ is a fuzzy weak hyper filter of H ;

(ii) μ^{T}_{α} is a fuzzy weak hyper filter of H ;

(iii) μ^{M}_{β} is a fuzzy weak hyper filter of H.

Theorem 3.10 If μ and ν are fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H, then $\mu \cap \nu$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Proof. Assume that μ and ν are fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H. Let $x, y \in H$. Then

$$
\begin{aligned}
(\mu \cap \nu)(1) &= \min\{\mu(1), \nu(1)\} \\
&\geq \min\{\mu(x), \nu(x)\} = (\mu \cap \nu)(x)
\end{aligned}
$$

and

$$
\begin{aligned}
(\mu \cap \nu)(x) &= \min\{\mu(x), \nu(x)\} \\
&\geq \min\{\min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\}, \\
&\qquad \min\{\inf_{z \in y \circ x} \nu(z), \nu(y)\}\} \\
&= \min\{\inf_{z \in y \circ x} \{\min\{\mu(z), \nu(z)\}\}, \\
&\qquad \min\{\mu(y), \nu(y)\}\} \\
&= \min\{\inf_{z \in y \circ x} (\mu \cap \nu)(z), (\mu \cap \nu)(y)\}.
\end{aligned}
$$

Hence, $\mu \cap \nu$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Theorem 3.11 If μ and ν are fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H such that $\mu \subseteq \nu$ or $\nu \subseteq \mu$, then $\mu \cup \nu$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Proof. Assume that μ and ν and are fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H such that $\mu \subseteq \nu$ or $\nu \subseteq \mu$. Let $x, y \in H$. Then

$$(\mu \cup \nu)(1) = \max\{\mu(1), \nu(1)\}$$
$$\geq \max\{\mu(x), \nu(x)\} = (\mu \cup \nu)(x).$$

Now,

$$\begin{aligned}(\mu \cup \nu)(x) &= \max\{\mu(x), \nu(x)\}\\ &\geq \max\{\min\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \min\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}\\ &= \min\{\max\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \max\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}\\ &= \min\{\inf_{z\in y\circ x} \{\max\{\mu(z), \nu(z)\}\},\\ &\qquad \max\{\mu(y), \nu(y)\}\}\\ &= \min\{\inf_{z\in y\circ x} (\mu \cup \nu)(z), (\mu \cup \nu)(y)\}.\end{aligned}$$

In general, $\max\{\min\{\ \}\}\min\{\max\{\ \}\}$. Suppose for this case

$$\begin{aligned}&\max\{\min\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \min\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}\\ &\neq \min\{\max\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \max\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}.\end{aligned}$$

Then there exists $\alpha\in[0,1]$ such that

$$\begin{aligned}&\max\{\min\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \min\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}\\ &< \alpha < \min\{\max\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\},\\ &\qquad \max\{\inf_{z\in y\circ x} \nu(z), \nu(y)\}\}.\end{aligned}$$

Thus, $\alpha < \min\left\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\right\}$. On the other hand, $\min\left\{\inf_{z\in y\circ x} \mu(z), \mu(y)\right\} < \alpha$, which is a contradiction. This completes the proof.

Then, we have the following corollary.

Corollary 3.12 Let $\{\mu_i : i\in\Lambda\}$ be a nonempty set of a family of fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H, where Λ is an arbitrary indexed set. Then the following statements hold:

(i) $\bigcap_{i\in\Lambda} \mu_j$ is a fuzzy weak hyper filter of H;

(ii) if $\mu_i \subseteq \mu_j$ or $\mu_j \subseteq \mu_i$ for all $i,j\in\Lambda$, then $\bigcup_{i\in\Lambda} \mu_j$ is a fuzzy weak hyper filter of H.

Next, we denote by $FHF(H)$ the set of all fuzzy weak hyper filters of a hyper BE-algebra H. By Corollary 3.12, we obtain the following theorem.

Theorem 3.13 Let H be a hyper BE-algebra and $(FHF(H);\subseteq)$ be a totally ordered set by the set inclusion. Then $(FHF(H);\subseteq,\vee,\wedge)$ is a complete lattice, where

$$\wedge\{\mu_i\in FHF(H) : i\in\wedge\} = \bigcap_{i\in\Lambda} \mu_i,$$
$$\vee\{\mu_i\in FHF(H) : i\in\wedge\} = \bigcap_{i\in\Lambda} \mu_i.$$

Lemma 3.14 Let H be a hyper BE-algebra and $(FHF(H);\subseteq)$ be a totally ordered set. Then $\mu\cap(\nu\cup\lambda) = (\mu\cap\nu)\cup(\mu\cap\lambda)$ and $\mu\cup(\nu\cap\lambda) = (\mu\cup\nu)\cap(\mu\cup\lambda)$,

for all $\mu,\nu,\lambda\in FHF(H)$.

Proof. Let $\mu,\nu,\lambda\in FHF(H)$ and $x\in H$. Then $(\mu\cap(\nu\cup\lambda))\ (x)$

$$= min\{\mu(x), (\nu\cup\lambda)(x)\}$$
$$= min\{\mu(x), max\{\nu(x), \lambda(x)\}\}$$
$$= max\{min\{\mu(x),\nu(x)\}, min\{\mu(x),\lambda(x)\}\}$$
$$= max\{(\mu\cap\nu)(x), (\mu\cap\lambda)(x)\}$$
$$= ((\mu\cap\nu)\cup(\mu\cup\lambda))(x).$$

Hence, $\mu\cap(\nu\cup\lambda) = (\mu\cap\nu)\cup(\mu\cap\lambda)$. Similarly, we can prove that $\mu\cup(\nu\cap\lambda) = (\mu\cup\nu)\cap(\mu\cup\lambda)$.

From Lemma 3.14, we have the following theorem.

Theorem 3.15 Let be a hyper BE-algebra and be a totally ordered set. Then is a distributive complete lattice.

Next, we characterize Noetherian hyper BE-algebras and Artinian hyper BE-algebras using their fuzzy weak hyper filters.

A hyper BE-algebra H is called *Noetherian* if H satisfies the ascending chain condition on weak hyper filters, that is, for any weak hyper filters $F_1, F_2, F_3, \ldots$ of H, with $F_1\subseteq F_2\subseteq F_3\subseteq \ldots\subseteq F_i\subseteq\ldots$.

There exists $n\in\mathbb{N}$ such that $F_i = F_i+1$ for all $i\geq n$.

A hyper BE-algebra H is called *Artinian* if H satisfies the descending chain condition on weak hyper filters, that is, for any weak hyper filters $F_1, F_2, F_3, \ldots$ of H, with $F_1\subseteq F_2\subseteq F_3\subseteq \ldots\subseteq F_i\subseteq\ldots$.

There exists $n\in\mathbb{N}$ such that $F_i = F_i+1$ for all $i\geq n$.

Theorem 3.16 Let H be a hyper BE-algebra. Then H is Noetherian if and only if for every fuzzy weak

hyper filter μ of H, the set $Im(\mu) = \{\mu(x): x \in H\}$ is a well-ordered subset of $[0,1]$.

Proof. Assume that H is Noetherian. Suppose that there exists a fuzzy weak hyper filter μ of H such that $\mathrm{Im}(\mu)$ is not a well-ordered subset of $[0,1]$. Then there exists a strictly infinite decreasing sequence $\{t_n\}_{n=1}^{\infty}$ such that $\mu(x_n) = t_n$ for some $x_n \in H$. Let $I_n = U(\mu; t_n) = \{x \in H: \mu(x) \geq t_n\}$. By Theorem 3.3, I_n is a weak hyper filter of H, for all $n \in \mathbb{N}$. Moreover, $I_1 \subset I_2 \subset I_3 \subset \ldots$ is a strictly infinite ascending chain of weak hyper filters of H. This is a contradiction that H is Noetherian. Therefore, $Im(\mu)$ is a well-ordered subset of $[0,1]$, for each fuzzy weak hyper filter μ of H.

Conversely, assume that for every fuzzy weak hyper filter μ of H, the set $Im(\mu) = \{\mu(x): x \in H\}$ is a well-ordered subset of . Suppose that is not Noetherian. Then there exists a strictly infinite ascending chain $F_1 \subset F_2 \subset F_3 \subset \ldots \subset F_n \subset \ldots$ of weak hyper filters of H. We define the fuzzy weak hyper filter of μ of H by

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \notin F_n \quad \text{for each } n \in \mathbb{N}; \\ \frac{1}{n} & \text{if } x \in F_n - F_{n-1} \quad \text{for } n = 1, 2, \ldots; \end{cases}$$

where $F_0 = \varnothing$. By Theorem 3.6, μ is a fuzzy weak hyper filter of H, but $Im(\mu)$ is not a well-ordered subset of $[0,1]$. We get a contradiction. Consequently, H is Noetherian.

Corollary 3.17 Let H be a hyper BE-algebra. If for every fuzzy weak hyper filter μ of H such that $\mathrm{Im}(\mu)$ is a finite set, then H is Noetherian.

Theorem 3.18 Let H be a hyper BE-algebra and $T = \{t_1, t_2, \ldots\} \cup \{0\}$, where $\{t_n\}_{n=1}^{\infty}$ is a strictly decreasing in $[0,1]$. Then the following conditions are equivalent:

(i) H is Noetherian;

(ii) for every fuzzy weak hyper filter μ of H, if $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$, then there exists $k \in \mathbb{N}$ such that $Im(\mu) \subseteq \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \cup \{0\}$.

Proof. (i) ⇒ (ii): Assume that H is a Noetherian. Let μ be a fuzzy weak hyper filter of H such that $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$. By Theorem 3.16, $\mathrm{Im}(\mu)$ is a well-ordered subset of $[0,1]$. Hence, there exists $k \in \mathbb{N}$ such that $Im(\mu) \subseteq \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \cup \{0\}$.

(ii) ⇒ (i): Assume that for every fuzzy weak hyper filter μ of H, if $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$, then there exists $k \in \mathbb{N}$ such that $Im(\mu) \subseteq \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \cup \{0\}$. Suppose that H is not Noetherian. Then there exists a strictly ascending chain $F_1 \subset F_2 \subset F_3 \subset \ldots$ of weak hyper filters of H. We define a fuzzy set μ of H by

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \notin F_n \quad \text{for each } n \in \mathbb{N}; \\ t_n & \text{if } x \in F_n - F_{n-1} \quad \text{for } n = 1, 2, \ldots; \end{cases}$$

where $F_0 = \varnothing$. By Theorem 3.6, μ is a fuzzy weak hyper filter of H. This is a contradiction with our assumption. Therefore, H is Noetherian.

Theorem 3.19 Let H be a hyper BE-algebra and $T = \{t_1, t_2, \ldots\} \cup \{0\}$, where $\{t_n\}_{n=1}^{\infty}$ is a strictly increasing sequence in $[0,1]$. Then the following conditions are equivalent:

(i) H is Artinian;

(ii) for every fuzzy weak hyper filter μ of H, if $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$, then there exists $k \in \mathbb{N}$ such that $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \cup \{0\}$.

Proof. (i) ⇒ (ii): Assume that H is Artinian. Let μ be a fuzzy weak hyper filter of H such that $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$. Suppose that $t_{i_1} < t_{i_2} < \cdots < t_{i_m} < \ldots$ is a strictly increasing sequence of elements in $\mathrm{Im}(\mu)$. Let $I_m = U(\mu; t_{i_m})$ for $m = 1,2,\ldots$ This implies that $I_1 \supset I_2 \supset \ldots \supset I_m \supset \ldots$ is a strictly descending chain of weak hyper filters μ of H, which is a contradiction that H is Artinian.

(ii) ⇒ (i): Assume that for every fuzzy weak hyper filter μ of H, if $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \mathrm{T}$, then there exists $k \in \mathbb{N}$ such that $\mathrm{Im}(\mu) \subseteq \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \cup \{0\}$. Suppose that H is not Artinian. Then there exists a strictly descending chain $F_1 \supset F_2 \supset \ldots \supset F_n \supset \ldots$ of weak hyper filters of H. We define a fuzzy set μ in H by

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \notin F_1, \\ t_n & \text{if } x \in F_n - F_{n+1} \quad \text{for } n = 1, 2, \ldots, \\ 1 & \text{if } x \in F_n \quad \text{for all } n \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

We have that $\mu(1) = 1 \geq \mu(x)$, for all $x \in H$. Next, let $x, y \in H$. Thus, we can divide to be three cases, as follows.

Case 1: $x \notin F_1$. Then $y \circ x \notin F_1$ or $y \notin F_1$. Thus,

Case 2: $x \in F_n - F_{n+1}$ for some $n=1,2,....$ Then $y \circ x \not\subseteq F_{n+1}$ or $y \notin F_{n+1}$. We obtain that $\mu(y) \leq t_n$ or $\mu(z) \leq t_n$ for some $z \in y \circ x \backslash F_{n+1}$. So, $\min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\} \leq t_n = \mu(x)$..

Case 3: $x \in F_n$ for all $n \in \mathbb{N}$. Clearly, $\mu(x) = 1 \geq \min\{\inf_{z \in y \circ x} \mu(z), \mu(y)\}$.

Hence, μ is a fuzzy weak hyper filter of H. We have a contradiction with our assumption. Consequently, H is Artinian.

Corollary 3.20 Let H be a hyper BE-algebra. If for every fuzzy weak hyper filter μ of H, $\mathrm{Im}(\mu)$ is a finite set, then H is Artinian.

Conclusions

The concept of fuzzy weak hyper filters in hyper BE-algebras is introduced and investigated. It was shown that the set of all fuzzy weak hyper filters of hyper BE-algebras is a distributive complete lattice. Also, the concepts of Noetherian hyper BE-algebras and Artinian hyper BE-algebras are characterized by their fuzzy weak hyper filters. In future work, we will study the concept of characterizations of fuzzy weak hyper filters in hyper BE-algebras.

References

1. Zadeh LA, Fuzzy sets*, Information and Control* **1965** ; *8(3)*: 338-353.
2. Kim HS, Kim YH. On BE-algebras, Scientiae Mathematicae Japonicae 2007 ; 66(1): 113-116.
3. Imai Y, Iséki K. On axiom systems of propositional calculi XIV, Proceeding of the Japan Academy 1966 ; 42: 19-22.
4. Iséki K. An algebra related with a propositional calculus, Proceeding of the Japan Academy 1966 ; 42: 26-29.
5. Song SZ, Jun BY, Lee KJ. Fuzzy ideals in BE-algebras, Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society 2010 ; 33(1): 147-153.
6. Dymek G, Walendziak A. Fuzzy filters of BE-algebras, Mathematica Slovaca 2013 ; 63(5): 935-945.
7. Marty F. Sur une generalization de la notion de group, Proceeding of 8th Congress des Mathematician Scandinave 1934 ; 45-49.
8. Radfar A, Rezaei A, Borumand Saeid A. Hyper BE-algebras, Novi Sad of mathematics 2014 ; 44(2): 137-147.
9. Cheng XY, Xin XL. Filter theory on hyper BE-algebras, Italian Journal of Pure and Applied Mathematics 2015 ; 35: 509-526.
10. Corsini P. Prolegomena of hypergroup theory. USA: Aviani Editore ; 1993.
11. Vougiouklis T. Hyperstructures and their representations. USA: Handronic Press inc. ; 1994.
12. Corsini P, Leoreanu V. Applications of hyperstructures theory Advances Mathematics. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 2003.
13. Davvaz B, Leoreanu-Fotea V. Hyperring theory and applications. USA: International Academic Press ; 2007.
14. Bhattaccharya P, Mukherjee NP. Fuzzy relation and fuzzy groups, *Information and Sciences* **1985** ; *36*: 267-282.
15. Vasantha Kandasamy WB. Smarandache fuzzy algebra. Rehoboth: American Research Press; 2007.
16. Sardar SK, Majumder SK. Fuzzy magnified translation on groups, Journal of Mathematics 2008 ; 1(2): 117-124.

ผลของการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก
Effect of Roasting on Bioactive Compounds of Germinated Soybean

ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์[1], กฤตนัย แก้วยศ[1]
Chaiyong Taechapairoj[1], Krittanai Kaewyot[1]

Received: 20 July 2019 ; Revised: 7 October 2019 ; Accepted: 13 November 2019

บทคัดย่อ
การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก คือ ปริมาณเจนีสทีน ไดซีอิน ฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ด้วยการแช่ถั่วเหลืองในน้ำ 4 ชั่วโมง และเกิดการงอกในอากาศ 19 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยการคั่วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ คือ 6 นาที 7 นาที และ 8 นาที โดยอุณหภูมิและความเร็วของอากาศในกระบวนการคั่วคงที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณเจนีสทีน และปริมาณไดซีอิน มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการคั่ว และมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองอ้างอิง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกๆ เวลาของการคั่ว และมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองอ้างอิง

คำสำคัญ: การคั่ว ถั่วเหลืองเริ่มงอก เจนีสทีน ไดซีอิน สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract
This research investigated the effect of roasting on the bioactive compounds of germinated soybean. Content of genistein, daidzein and total phenolics was measured and antioxidant activity estimated. The soybean samples were soaked for 4 hours, then germinated for 19 hours and roasted at 200°C for 6, 7 or 8 minutes. Roasting temperature and air flow rate were constant throughout the experiment. The results demonstrated the genistein, daidzein and total phenolic content and antioxidant activity were not affected by different drying times, but they were increased when compared with raw soybean.

Keywords: roasting, germinated soybean, genistein, daidzein, antioxidant

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
[2] นักวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
[1] Assistant professor, Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000
[2] Researcher, Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000
* Corresponding author, Chaiyong Taechapairoj, Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, chaiyong_t@yahoo.com

บทนำ

ถั่วเหลือง (Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill) เป็นธัญพืชที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากมาย โดยเฉพาะโปรตีนที่มีประโยชน์ พบถึงร้อยละ 30-50 นอกจากนี้ยังพบไขมันร้อยละ 13-25 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14-24[1] ซึ่งโปรตีนจากถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ถั่วเหลืองจึงเป็นแหล่งโปรตีนเหมาะกับคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ และถั่วเหลืองยังถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการแปรรูปถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันจากถั่วเหลือง นมจากถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ้ว ฯลฯ ถั่วเหลืองนอกจากจะเป็นแหล่งโปรตีนแล้ว ในถั่วเหลืองยังถือว่าเป็นพืชที่มีฤทธิ์คล้ายคลึงกับฮอร์โมนเอสโตรเจน (phytoestrogen) นั้นคือ สารกลุ่มไอโซฟลาโวน (isoflavones) เช่น เจนีสทีน (genistein) ไดซีอิน (daidzein) และไกลซิทีน (glycitein) โดยฮอร์โมนนี้ที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง โดยการบริโภคถั่วเหลืองมีผลช่วยลดระดับไขมันในเลือด[2] ลดอาการร้อนวูบวาบ (hot flashes) ในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนที่มีระดับฮอร์โมนลดลงตามวัย[3-5] จากการศึกษาของ Morabito และคณะ[6] พบว่า genistein เป็น phytoestrogen ช่วยเพิ่มมวลกระดูก (Bone mass) ให้หนาแน่นขึ้น โดยลดการสลายกระดูกและเพิ่มการสร้างกระดูกในสตรีวัยหมดประจำเดือน และที่สำคัญยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามเมล็ดถั่วเหลืองดิบไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้โดยตรง เนื่องจากว่าในถั่วเหลืองดิบมีสารขัดขวางทางโภชนาการอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น เอนไซม์ยูรีเอส สารยับยั้งทริปซิน สารฮีมแอกกลูตานิน ฯลฯ และบางชนิดมีโทษต่อผู้บริโภค จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งสามารถลดสารขัดขวางทางโภชนาการได้[7]

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มีการนำถั่วเหลืองไปผ่านกระบวนการงอก ซึ่งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยกระบวนการงอกเป็นการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลสารอาหารในเมล็ดพืชทำให้ร่างกายสามารถย่อยง่าย[8] และในเมล็ดถั่วเหลืองที่กำลังเริ่มงอกจะมีเอ็นไซม์หลายชนิดทำหน้าที่ย่อยแป้ง โพลีแซคคาไรด์ และโปรตีน ให้เปลี่ยนเป็นโอลิโกแซคคาไรด์และกรดอะมิโน[9] แต่ด้วยกระบวนการงอกจะทำให้ถั่วเหลืองมีความชื้นภายในเมล็ดสูง ทำให้ยากต่อการเก็บรักษา จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นด้วยวิธีการต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการคั่ว เพื่อลดความชื้นภายในเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งการคั่วคือ กระบวนการใช้ความร้อนกับอาหารแห้งโดยไม่ใช้น้ำหรือน้ำมันเป็นตัวกลาง ส่วนใหญ่การคั่วจะกระทำกับอาหารอย่างเช่นถั่วเปลือกแข็งหรือเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง กาแฟ ในระหว่างการคั่วนั้น น้ำและความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดจะถูกไล่ออกไป ทำให้สีของเมล็ดเริ่มเปลี่ยนจากสีอ่อนกลายเป็นสีน้ำตาลซีด และจะค่อย ๆ เข้มขึ้นตามระยะเวลาในการคั่ว ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั่วจะมีลักษณะที่น่ารับประทาน และสามารถเก็บรักษาวัตถุดิบได้นานยิ่งขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Lee และ Lee (2009)[10] ได้ทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยลมร้อน การคั่ว และ explosive puffing พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 120 นาที ปริมาณไอโซฟลาโวนมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าการคั่วทำให้ปริมาณไอโซฟลาโวน มีค่าลดลง 25.46% ที่ 200°C เวลา 21 นาที และวิธี explosive puffing ที่ 686 kPa มีผลต่อปริมาณไอโซฟลาโวนลดลง 10.42% ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานการศึกษาในถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการงอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาผลของการอบแห้งด้วยการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ของถั่วเหลืองเริ่มงอก

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัตถุดิบ

ในงานวิจัยนี้ใช้ถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร จังหวัดพิษณุโลก เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4°C ก่อนทำการทดลองถั่วเหลืองจะถูกปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้องก่อน และนำไปทำความสะอาด หลังจากนั้นจึงนำมาทำการทดลองได้ โดยจะมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 10-13% (dry basis) db.

กระบวนการงอกถั่วเหลือง

แช่ถั่วเหลืองด้วยน้ำสะอาด เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดดูดน้ำเต็มที่ และใส่ในภาชนะที่มี ผ้าขาวบางที่ชุ่มน้ำปิดทับ เพื่อให้เกิดกระบวนการงอกอากาศของถั่วเหลือง ให้ได้รากที่เริ่มงอกออกมากจากเมล็ดมีความยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร โดยงานวิจัยนี้จะใช้ระยะเวลาในกระบวนการงอกอากาศของถั่วเหลือง 19 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และหยุดปฏิกิริยาการงอกด้วยการคั่วต่อไป

การอบแห้งด้วยการคั่ว

ชั่งถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการงอก 800 กรัม ใส่เครื่องคั่ว (IMEX, Korea) อบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 นาที วัดปริมาณความชื้นหลังอบแห้งทันที หลังจากครบเวลาที่กำหนดลดอุณหภูมิถั่วเหลืองที่ผ่านการคั่ว ด้วยลมเย็น ณ อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิของถั่วเหลืองเท่ากับอุณหภูมิห้อง และทำเช่นเดิมที่เวลา 7 และ 8 นาที

การหาปริมาณความชื้น

การหาความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองโดยมาตรฐานของ AAAC[11] มีขั้นตอนการทดลองดังนี้ ชั่งน้ำหนักของถั่วเหลือง 50 กรัม ใส่ในกระป๋องความชื้น (moisture can) อบลมร้อนอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้น 45 นาที ชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณเป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db.) ด้วยค่าเฉลี่ยจากทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอิน

การสกัดถั่วเหลืองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอินตามวิธีการของ Lee *et al.*[12] วิเคราะห์หาปริมาณเจนีสทีนและไดซีอิน ด้วยเครื่อง High pressure liquid chromatography (HPLC) ดัดแปลงจากวิธีการของ Akitha Devi *et al.*[13] สภาวะของเครื่อง HPLC ที่ใช้ ดังนี้ 1) คอลัมน์ Inertsil ODS-3 ขนาด 4.6 x 250 มิลลิเมตร 2) acetonitrile H_2O + 0.1% glacial acetic acid อัตราส่วน 25:75 3) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที 4) ปริมาตรที่ใช้ 20 ไมโครลิตร และ 5) ค่าการดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น mg/100 g น้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้ Folin-Ciocalteu method ตามวิธีการของ Skerget *et al.*[14] ใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น mg GAE/g extract โดยการเติมสาร Folin-Ciocalteu 2.5 มิลลิลิตร ลงในสารสกัดถั่วเลือง ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เติมสารละลาย 7.5% Na_2CO_3 2 มิลลิลิตร นำไป incubated ที่ 50 องศาเซลเซียส 5 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

1. วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ตามวิธีการของ Maisuthisakul *et al.*[15] ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น % inhibition DPPH โดยเติมสารละลาย DPPH 3.9 มิลลิลิตร ลงในสารสกัดถั่วเหลือง 0.1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 2 ชั่วโมง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร

2. วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ตามวิธีการของ Benzie และ Strain[16] ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น µmol $FeSO_4$/g extract โดยการเติมสาร FRAP 950 ไมโครลิตร ลงในสารสกัดถั่วเหลือง 50 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้มีแผน แบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยการวิเคราะห์จะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด ด้วยสถิติ One-way ANOVA กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษา

ความชื้นหลังการคั่ว

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถั่วเหลืองเริ่มงอก พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการงอก 23 ชั่วโมง เฉลี่ยเท่ากับ 173.58 ± 0.55%db. และเมื่อผ่านการคั่วที่อุณหภูมิคงที่ 200 องศาเซลเซียส ที่ 6 นาที 7 นาที และ 8 นาที ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.39 ± 0.25%db., 7.43 ± 0.10%db. และ 3.65 ± 0.04%db. ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Moisture content of roasting germinated soybean at various time

drying time	moisture content (% db.)
0 min	173.58 ± 0.55^a
6 min	13.39 ± 0.25^b
7 min	7.43 ± 0.10^c
8 min	3.65 ± 0.04^d

Different superscripts mean that the values are significantly different ($p < 0.05$)

Table 2 Genistein and daidzein content of roasting germinated soybean at various time

Drying time	genistein content (mg/100 g dry weight)	daidzein content (mg/100 g dry weight)	total content (mg/100 g dry weight)
raw soybean*	6.02 ± 0.03^{c}	3.42 ± 0.03^{e}	9.44 ± 0.01^{d}
0 min	15.02 ± 0.05^{b}	12.14 ± 0.20^{d}	27.16 ± 0.25^{c}
6 min	16.25 ± 0.17^{b}	15.41 ± 0.20^{c}	31.66 ± 0.04^{b}
7 min	18.04 ± 0.17^{a}	17.35 ± 0.25^{b}	35.40 ± 0.11^{a}
8 min	18.34 ± 0.11^{a}	18.34 ± 0.13^{a}	36.69 ± 0.15^{a}

Different superscripts mean that the values are significantly different (p < 0.05)

*not germinated and not roasting

Table 3 Total phenolic content, FRAP content and inhibition DPPH of roasting germinated soybean at various time

Drying time	total phenolic content (mg GAE/g extract)	FRAP content (µmol FeSO4/g extract)	inhibition DPPH (%)
raw soybean*	0.19 ± 0.13^{c}	0.75 ± 0.27^{c}	34.23 ± 0.12^{c}
0 min	0.23 ± 0.02^{b}	0.81 ± +0.03^{c}	35.52 ± 0.05^{c}
6 min	0.36 ± 0.06^{a}	1.39 ± 0.07^{b}	44.09 ± 0.37^{b}
7 min	0.38 ± 0.03^{a}	1.53 ± 0.14^{a}	44.82 ± 0.18^{b}
8 min	0.39 ± 0.06^{a}	1.63 ± 0.23^{a}	51.31 ± 0.21^{a}

Different superscripts mean that the values are significantly different (p < 0.05)

*not germinated and not roasting

ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอิน

Table 2 แสดงปริมาณเจนีสทีนและไดซีอินของถั่วเหลืองเริ่มงอกที่ผ่านการคั่วที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอินของถั่วเหลืองดิบ (raw soybean) ที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกและการคั่ว เท่ากับ 6.02 ± 0.03 และ 3.42 ± 0.03 mg/100 g มวลแห้ง ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการงอก ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอิน เพิ่มขึ้นเป็น 15.02 ± 0.05 และ 12.14 ± 0.20 mg/100 g มวลแห้ง ตามลำดับ และเมื่อผ่านการคั่วที่ 6, 7 และ 8 นาที ปริมาณเจนีสทีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 16.25 ± 0.17, 18.04 ± 0.17 และ 18.34 ± 0.11 mg/100 g มวลแห้ง ตามลำดับ ส่วนปริมาณไดซีอินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เป็น 15.41 ± 0.20, 17.35 ± 0.25 และ 18.34 ± 0.13 mg/100 g มวลแห้ง ตามลำดับ

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

Table 3 แสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของ ถั่วเหลืองเริ่มงอกที่ผ่านการคั่วที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น (0.36-0.39 mg GAE/g extract) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ (0.19 mg GAE/g extract) และมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาของการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ FRAP มีค่าเพิ่มขึ้น (1.39-1.63 µmol FeSO4/g extract) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ (0.75 µmol FeSO4/g extract) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ ผลจากการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (%inhibition DPPH เท่ากับ 44-51) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ (%inhibition DPPH เท่ากับ 34)

วิจารณ์และสรุปผล

การศึกษาผลของการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก คือ ปริมาณเจนีสทีน ไดซีอิน ฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน พบว่า เวลาการคั่วให้แห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นภายในเมล็ดลดลง ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิเมล็ดและอุณหภูมิในการคั่วต่างกันมาก มีผลค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้น้ำระเหยออกจากวัตถุดิบได้รวดเร็วขึ้น[17]

ปริมาณเจนีสทีนและไดซีอินของถั่วเหลืองเริ่มงอกที่ผ่านการคั่วที่ระยะเวลาต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ Niamnuy *et al.*[18] อธิบายว่าปริมาณไอโซฟลาโวน (เจนีสทีนและไดซีอิน) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่างการอบแห้ง โดยอนุพันธ์ malony–β–glucosides และ acetyl-β–glucosides มีค่าลดลง ส่วน β–glucosides และ aglycones มีค่าเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Lee และ Lee (2009)[10] รายงานว่าโดยทั่วไประดับพลังงาน ความร้อนที่ใช้และ

ปริมาณความชื้นในตัวอย่างมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโซฟลาโวน และการกระจายตัวของไอโซฟลาโวนในอาหารถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกรรมวิธี และความเสถียรของอนุพันธ์เจนีสทีนและไดซีอินนั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดลอง

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเหลืองเริ่มงอกที่ผ่านการคั่วที่เวลาต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ Kim *et al.*[19] อธิบายว่ากระบวนการให้ความร้อนมีผลต่อการส่งเสริมสุขภาพโดยการเพิ่มความสามารถ antioxidant activity ให้มีมากขึ้น และผลการทดลองปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการคั่วนั้น เนื่องมาจากในถั่วเหลืองมีสารจำพวก phytochemicals ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก ชนิดหนึ่งที่อยู่บริเวณผนังและเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ความร้อนที่ได้จากการอบแห้งจะทำลายพันธะเคมีของโพลีฟีนอลภายในเมล็ดถั่ว ทำให้สารประกอบฟีนอลิกหลุดออกจาก glycoside phenylpropanoid esters มากขึ้น[20] จึงมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ส่วนปริมาณ FRAP และ%inhibition DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ สอดคล้องงานวิจัยของ Niamnuy *et al.*[18] พบว่าปริมาณ FRAP และ %inhibition DPPH มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้ง จากผลการทดลองถั่วเหลืองเริ่มงอกเมื่อผ่านการคั่ว ความสามารถในการต้านออกซิเดชันมากขึ้นนั้น เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการอบแห้งไปกระตุ้นสารภายในเมล็ดถั่วเหลือง เช่น วิตามินอี และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส[10] เมื่อได้รับความร้อนประกอบกับภายในเมล็ดถั่วเหลืองมีน้ำและความชื้น ทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดี ส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิทุกอุณหภูมิ นอกจากนี้ Akitha Devi *et al.*[13] รายงานว่า ปริมาณฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอโซฟลาโวนในถั่วเหลือง โดยเฉพาะไดซีอินและเจนีสทีน ถ้ามีปริมาณไอโซฟลาโวนมากก็จะพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกมากเช่นเดียวกัน

จากการการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก สรุปได้ว่า ปริมาณเจนีสทีน ปริมาณไดซีอิน ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรม และการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

1. คัดนางค์ ทองสุก. ถั่วเหลืองอาหารสุขภาพ. วารสารอาหาร 2542; 3: 212-3.
2. Nishimura M, Ohkawara T, Sato Y, Satoh H, Takahashi Y, Hajika M, et al. Improvement of triglyceride levels through the intake of enriched-β-conglycinin soybean (nanahomare) revealed in a randomized, double-blind, placebo-controlled study. Nutrients 2016; 8(8): 1-14.
3. Tranche S, Brotons C, Pascual de la Pisa B, Macías R, Hevia E, Marzo-Castillejo M. Impact of a soy drink on climacteric symptoms: an open-label, crossover, randomized clinical trial. Gynecol Endocrinol 2016; 32(6): 477-82.
4. Nahas EA, Nahas-Neto J, Orsatti FL, Carvalho EP, Oliveira ML, Dias R. Efficacy and safety of a soy isoflavone extract in postmenopausal women: a randomized, double-blind, and placebo-controlled study. Maturitas 2007; 58(3): 249-58.
5. Albert A, Altabre C, Baró F, Buendía E, Cabero A, Cancelo MJ, et al. Efficacy and safety of a phytoestrogen preparation derived from Glycine max (L.) Merr in climacteric symptomatology: a multicentric, open, prospective and non-randomized trial. Phytomedicine 2002; 9(2): 85-92.
6. Morabito A, Crisafulli A, Vergara C, Gaudio A, Frisina N, D'Anna R, et al. Effect of genistein and hormone-replacement therapy on bone loss in early postmenopausal women: a randomized double-blind placebo-controlled study. J Bone Miner Res 2002; 17(10): 1904-12.
7. Stewart OJ, Raghavan GSV, Orsat V, Golden KD. The effect of drying on unsaturated fatty acids and trypsin inhibitor activity in soybean. Process Biochem 2003; 39: 483-9.
8. Taechapairoj C, Kaewyot K. Effects of hot-air fluidized-bed drying on cooking quality, antioxidant activity and bioactive compounds in germinated brown rice. Science, Engineering and Health Studies 2020; 14(1): 62-72.

9. กรุณา วงษ์กระจ่าง, พัชรี ตั้งตระกูล, รัศมี ศุภศรี, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ชมดาว สิกขะมณฑล, สมจิต อ่อนเหม. รายงานการวิจัย เรื่อง ผลิตภัณฑ์เต้าหู้และนมถั่วเหลืองที่มีสาร GABA สำหรับผู้สูงอายุ. ได้จาก: http://research.ifrpd.ku.ac.th/attachFile/1251/20160805112022.pdf. 8 กรกฎาคม 2560.
10. Lee SW, Lee JH. Effects of oven-drying, roasting and explosive puffing process on isoflavones distributions in soybean. Food Chem 2009; 112: 316-20.
11. American Association Cereal Chemistry. Approved methods of the American Association Cereal Chemistry. 9th ed. St. Paul; 1995.
12. Lee SJ, Sequin P, Kim JJ, Moon HI, Ro HM, Kim EH, et al. Isoflavones in Korean soybean differing in seed coat and cotyledon color. J Food Compost Anal 2010; 23: 160-5.
13. Akitha Devi MK. Gondi M, Sakthivelu G, Giridhar P, Rajasekaran T, Ravishankar GA. Function attributes of soybean seeds and products, with reference to isoflavone content and antioxidant activity. Food Chem 2009; 114: 771-6.
14. Skerget M, Kotnit P, Hadolin M, Hras AR, Simonic M, Knez Z. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant material and their antioxidant activity. Food Chem 2005; 89: 191-8.
15. Maisuthisakul P, Suttajit M, Pongsawatmanit R. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chem 2007; 100: 1409-18.
16. Benzie IFF, Stain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. Anal Biochem 1996; 236: 70-6.
17. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2540.
18. Niammuy C. Nachaisin M, Laohavanich J and Devahastin S. Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and condition. Food Chem 2011; 129: 889-906.
19. Kim HG, Kim GW, Oh H, Yoo SY, Kim YO, Oh MS. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (Glycine max L. Merrill). LWT-Food Sci Technol 2011; 44: 992-8.
20. Dewanto V, Wu X, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. J Agric Food Chem 2002; 50: 4959-64.

การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลสำหรับการสอบข้อเขียน- การเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์การเขียนและอุปกรณ์การพิมพ์

Performance study of input devices for generating writing with drawing tasks in written exams-a comparison between handwriting and typing devices

สุนันทา วงศ์จตุรภัทร[1], นพพร โชติกกำธร[2*]
Sununthar Vongjaturapat[1], Nopporn Chotikakamthorn[2*]

Received: 4 July 2019 ; Revised: 25 October 2019 ; Accepted: 19 December 2019

บทคัดย่อ

การสอบเป็นเครื่องมือในการประเมินผลของมหาวิทยาลัย ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ป้อนข้อมูลประเภทต่างๆ ในการสอบข้อเขียน การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบการใช้อุปกรณ์ป้อนข้อมูลแบบดิจิทัลว่าจะมีผลต่อการใช้กล้ามเนื้อมากกว่าการใช้เครื่องมือแบบดั้งเดิมหรือไม่ งานวิจัยได้ตรวจสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ที่ตำแหน่งกล้ามเนื้อ Trapezius (TRAP) กล้ามเนื้อ Biceps brachii (BB) กล้ามเนื้อ Flexor Digitorum Superficialis (FDS) กล้ามเนื้อ Extensor Carpi Radialis Brevis (ECRB) และกล้ามเนื้อ Extensor Digitorum Communis (EDC) ในขณะสอบข้อเขียนโดยใช้อุปกรณ์ป้อนข้อมูลแบบดิจิทัล ได้แก่ Boogie Board, Chromebook, iPad pro, Keyboard Notebook, Ballpoint Pen และ Yoga Book ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 20 คน ที่ใช้ Boogie Board และ Ballpoint Pen จะมีการใช้กล้ามเนื้อในระดับมากที่สุด ซึ่งเมื่อใช้ Boogie Board และ Ballpoint Pen กลุ่มตัวอย่างมีแนวโน้มใช้กล้ามเนื้อ FDS และ ECRB ในระดับมากที่สุด ตลอดทั้ง Boogie Board ยังส่งผลให้มีการใช้กล้ามเนื้อ BB ในระดับมากที่สุดอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้เมื่อใช้ Yoga Book กลุ่มตัวอย่างมีแนวโน้มใช้กล้ามเนื้อ TRAP, FDS และ EDC เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อเป็นการใช้ Chromebook และ iPad pro จะส่งผลให้การใช้กล้ามเนื้อ FDS และ EDC ลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามเมื่อเป็นการพิมพ์บนคีย์บอร์ดของโน๊ตบุ๊ค กลุ่มตัวอย่างใช้กล้ามเนื้อ BB, FDS และ ECRB น้อยลง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า เมื่อใดที่เป็นการเขียนที่ใช้เวลานาน การใช้คีย์บอร์ดโน๊ตบุ๊คอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าการเขียนด้วยลายมือ โดยเฉพาะในด้านการศึกษา ซึ่งการค้นพบนี้ยังชี้ให้เห็นว่าอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่เป็นการเขียนด้วยลายมือ จะใช้พลังงานมากขึ้นและอาจทำให้เกิดความเสียหายของกล้ามเนื้อในขณะทำงานเขียนด้วยลายมือ

Keywords: การประเมินผล การตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การออกแบบด้วยหลักการยศาสตร์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์

Abstract

Examinations are an assessment and evaluation tool at University. They can be performed using different types of input devices to complete them. This study investigated whether using digital input devices affects muscle activation than a traditional input instrument. We monitored the Electromyography (EMG) activity of Trapezius (TRAP), Biceps Brachii (BB), Flexor Digitorum Superficialis (FDS), Extensor Carpi Radialis Brevis (ECRB) and Extensor Digitorum Communis (EDC) muscle activity during generative writing with drawing tasks in written exams using a Boogie Board, Chromebook, iPad pro, Notebook Keyboard, Ballpoint Pen, and Yoga Book. Twenty university students were included in this study. The results showed Boogie Board, and Ballpoint Pen used the most muscle activity. When using Boogie Board and Ballpoint Pen, participants tended to mostly use FDS and ECRB muscle activity.

---

[1] ปรด.(เทคโนโลยีสารสนเทศ), อาจารย์, คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[2] ปรด. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) รองศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[1] Ph.d. (Information Technology), Lecturer, Faculty of Humanities, Ramkhamhaeng University
[2] Ph.D. (Electrical and Electronic Engineering) Assoc. Prof., Faculty of Information Technology, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang
* Corresponding author: Nopporn Chotikakamthorn, Faculty of Information Technology, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, Telephone 02-723-4884. E-mail address: nopporn@it.kmitl.ac.th

Additionally, Boogie Board consistently had the greatest BB muscle activity. Moreover, when using the indirect input device, Yoga Book, participants had indications of a trend of increasing in TRAP, FDS and EDC muscle activities. In contrast, Chromebook and iPad pro showed consistently lower FDS and EDC muscle activities. However, when typing on the Notebook Keyboard, subjects had the least BB, FDS, and ECRB muscle activity. Therefore, when a long writing scenario is required, a Notebook Keyboard may be a more suitable interface, especially in education. The findings also suggest that handwriting devices have a greater potential energy expenditure in performing handwriting tasks and muscular damage with the maintenance of motor patterns in handwriting tasks.

Keywords: Assessments, Electromyography, Ergonomic design, Human computer interaction

Introduction

Examinations are a very common assessment and evaluation tool in universities. Many Universities are spending more money each year on test administration, such as preparing examination scripts and answer sheets, as well as storing such scripts and sheets. If we analyze all characteristics of examination administration, we see that digital input devices such as keyboards and digital handwriting instruments make possible a more efficient examination process for test administration and review[1-2.]

Previous results have indicated that both computer keyboard characteristics and handwriting instruments can affect users' risks for developing injury and health risks from working conditions, especially during long sessions[3-4]. Moreover, in examination conditions, existing research indicates that assessment can be impacted by the type of device that was used to complete it[5-6]. In addition, psychological effects, such as excitement, fear and anxiety during examination may have an effect on muscle activity[7]. However, digital input devices are increasingly being used especially for test administration, e.g. pen-based testing in drawing, sketching, graphing, and writing text containing a mathematical equation[8-11]. Although digital input devices are increasingly widely used, it is still unclear exactly what type of digital input devices could be more suitable for generating writing with drawing tasks in written exams[12-13].

An important question in this new generation writing scenario is whether using digital input devices affects muscle activation differently than a traditional input instruments. Thus, it is important to understand the use of input devices that may affect physical risk factors and student performance. In this work we intend to empirically answer this research question. We compare generating writing input using six types of device: Notebook Keyboard, Pen and Paper, Yoga Book, Chromebook, iPad pro, and Boogie Board.

Methods

Subjects

Twenty university students at Burapha University and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, (17 males and 3 females), aged between 20-22 years, participated in this study. Participates were recruited to take part in the study through institutional e-mail, by telephone or by personal contract. In total, 51 e-mail addresses were mailed, 15 completed the online typing test program. 5 students were asked to write down their e-mail address on a list if they were interested to participate in the study. Eighteen subjects were right hand dominant and all subjects met the criteria, based on their experience of touch typing with no history of upper extremity musculoskeletal disorders or pain, discomfort, trauma or sequelae related to the upper limbs. The typing speed for all subjects was 46.15 words per minute (WPM) with an accuracy of 94.21%. The typing speed was collected using an online typing test program (https://10fastfingers.com/typing-test/thai) with the subject's own conventional keyboard during subject recruitment. This experimental protocol was approved by the University's Human Subjects Committee (194/2560) and each subject signed an informed consent prior to their participation in the study.

Table 1 Basic data of the participants

N=20	Classification
Gender	17 males, 3 females
Dominant side	Right hand 18, Left hand 2
Age (years) [mean (SD; range)]	21.27 (0.55; 20-22)
Typing speed (word per minute) [mean (SD; range)]	46.15 (9.50; 33-61.6)
Accuracy (%) [mean (SD; range)]	94.21 (3.39; 91.226-97.176)
Experienced touch typing (years) [mean (SD; range)]	7.72 (1.12; 7-10)

Experimental design

Because the nature of high-stakes assessment limits the amount of experimentation that can be undertaken, it would be suitable to ask students to sit a mock examination. Each of the participants is cited at a different time to participate in the experiment. Except for Keyboard, Notebook and Ballpoint Pen and Paper, the subjects has no experience for using each writing devices. Therefore, before evaluating the various input devices, the subjects were allowed to familiarize themselves with different writing devices including Boogie Board, Chromebook, iPad pro, Notebook Keyboard, Ballpoint Pen, and Yoga Book. Moreover, the seat and work surface were adjusted to match each subject's anthropometry along ANSI/HFES standards[14]. Participants were given different versions of the input devices and one writing exercise that required the participants to complete a paragraph of text containing an alphanumeric and geometrical content. Then students completed a task within 15 minutes (900s) for each different input device. They were also allowed 10 minutes break before starting the next version of the input device, to minimize any residual fatigue effects of the previous condition. Each exercise was followed by completing a questionnaire. Finally, during an interview we asked participants to describe their experience with the writing tool and asked them to compare their experience with all writing devices and their preferences. During the writing sessions, writing accuracy and speed were recorded by screen recorder software. The order of the input devices was randomized and counterbalanced to minimize any potential confusion due to the input device testing order[15-17].

Equipment and Material

Electromyography

The Surface Telemetry EMG version BTS Free EMG300 wireless (BTS Bioengineering Corp.), which is a 16-channel system, with a mode rejection of 126 dB was used to collect the surface EMG (sEMG) signals, conditioned with a digital band-pass filter between 10Hz-350Hz. EMG signals were recorded using digital data at a sample rate of 1000 Hz. Disposable Ag/AgCl surface electrodes with an 8 mm diameter pick up area (Ambu Blue Sensor P, REF: P-00-S/50) were placed with a 20-mm inter-electrode spacing over the five muscles.

Writing material

In the repeated–measures laboratory experiment, participants performed writing for fifteen minute sessions on each of six input device conditions including Boogie Board, Chromebook, iPad pro, Keyboard, Ballpoint Pen and paper and Yoga Book (Figure. 1).

The subject wrote on foolscap folio, with line spacing of 8 mm and paper gramature of 56g/m 2(g), using a pen with blue ink ballpoint, with medium point of 0.7 mm and line width of 0.4 mm, with hexagonal barrel. This object was conceived and developed as to be clean and reliable, and it is now the world's most-used writing instrument[18] and offers more precision with handwriting task[19-20].

The digital pen technology characteristics included Boogie Board, Chromebook, iPad pro and Yoga Book. Each of the digital pen technologies used in the study were chosen to cover a regular characteristic of digital pen technologies that are on offer. We considered the characteristics based on the accuracy, weight, grips, length, shape, tip size, and other functionality such as touch sensitivity, and electronic erasers.

The Notebook Keyboard had palm rests and tactile feedback. The key spacing (center-to-center distance) was approximately 19 mm on all the keyboard and all conformed to ANSI[14, 21].

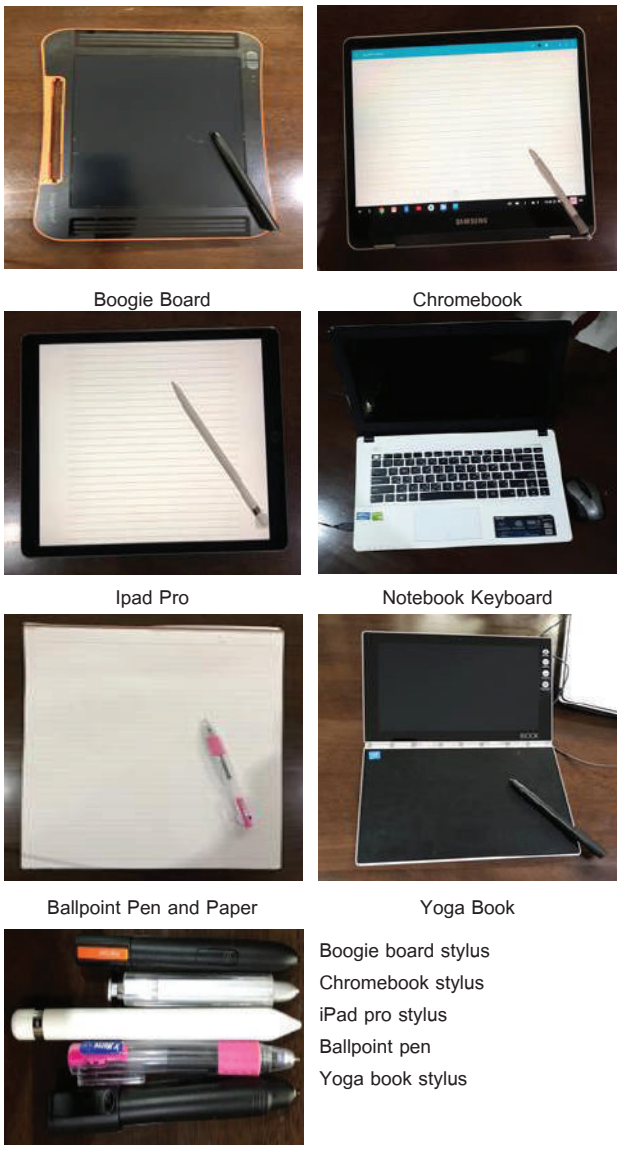


Figure 1 Input devices used in study

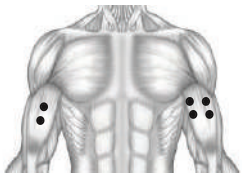
Muscle activity

Muscle activity was recorded from the Trapezius (TRAP), Biceps Brachii (BB), Flexor Digitorum Superficialis (FDS), Extensor Carpi Radialis Brevis (ECRB)[4, 22-24], and the Extensor Digitorum Communis (EDC) muscle. The TRAP, BB, FDS and ECRB muscle were selected for their main functions to stabilize and move the upper arm during fine dexterity activities such as handwriting[22]. The EDC muscle were selected for their major role in extending the phalanges, then the wrist, and the elbow. The EDC tends to separate the fingers as it extends them[4].

Electrode placement

The location of muscles was identified through palpation during voluntary contraction[25-26]. The active electrodes for the TRAP muscle were placed 2 cm lateral to the halfway point between C7 and the right acromium process[27] (Figure 2 A). The BB was identified by asking the subject to flex their forearm in the supinated position and then the palpate muscle mass in the anterior aspect of the arm emerges[28] (Figure 2 B). The EDC was identified by palpating the muscle on the dorsal side of the forearm one third of the way up the forearm and having the subject wiggle their fingers. The electrodes were located where the muscle contractions could be felt[25-26] (Figure 2 C). Similarly, the FDS was located by touching the muscle on the palmar side one third of the way up the forearm and locating the electrodes where the muscle contractions could be felt[25-26] (Figure 2 D). The ECRB was identified by asking the subject to extend the wrist and palpate the muscle mass approximately 5 cm distal from the lateral epicondyle of the elbow[28] (Figure 2 E).

A. Electrode placement for the upper Trapezius (TRAP) site, post aspect.



Electrode placement for the Biceps-Brachium (BB) site, ant aspect.

C. Electrode placement for Extensor Digitorum Communis (EDC) site, post aspect.

D. Electrode placement for the Flexor Digitorum Superficialis (FDS) site, ant aspect.

E. Electrode placement for Extensor Carpi Radialis Brevis (ECRB) site, post aspect.

Figure 2 Electrode placement

Prior to applying the EMG electrodes to the skin, the electrode contact area was prepared by shaving where necessary and then the skin surface was cleaned with Alcohol 70° GL prior to electrode fixation in order to reduce contact impedance[28]. Then, the electrodes were connected to wireless surface sensors and the system communicated with a PC through a WiFi router, which managed 5 electrode channels simultaneously.

EMG data acquisition and analysis system

The electrodes were connected wirelessly to the BTS Free EMG300 (BTS Bioengineering Corp.) with a common mode rejection of 126 dB and then they were converted from analog-to-digital (A/D). The raw EMG data was fed into a specific analysis system programed with EMG-Analyzer software for further analysis. The analysis system used Root Mean Square (RMS) to eliminate the interference of ambient electromagnetic fields[30], and the Butterworth high pass filter at 20 Hz was used to apply additional digital filters to minimize the phase shift phenomenon in the RMS algorithms[30]. Moreover, the analysis system was equipped with a band pass in the range of 10-350 Hz filter that were needed to avoid anti-aliasing effects within sampling[30].

The filtered EMG data from the TRAP, BB, FDS, ECRB and EDC muscles was normalized relative to Maximum Voluntary Contractions (%MVC) for each muscle (Figure. 3), the 10th (static), 50th (median) and 90th (peak) muscle activities were calculated[31]. To obtain the two MVCs, an isometric contraction held at outer-range position, the subjects were instructed to extend their wrists and fingers up against isometric resistance (EDC) and to flex their fingers down against isometric resistance (FDS) with verbal encouragement. To obtain BB MVCs, the subjects were instructed to exert a force with the elbow flexor muscles and to minimize the involvement of other muscles[32]. To obtain TRAP MVCs, the isometric resistance was applied as subjects performed a continuous single shoulder shrug with their arms at their sides and without bending or twisting at the hips/waist[33-34]. Each contraction time lasted for three to five seconds[35]. Five MVCs were collected from which the maximum RMS signal over a 1s period was identified and used to normalize the EMG data.

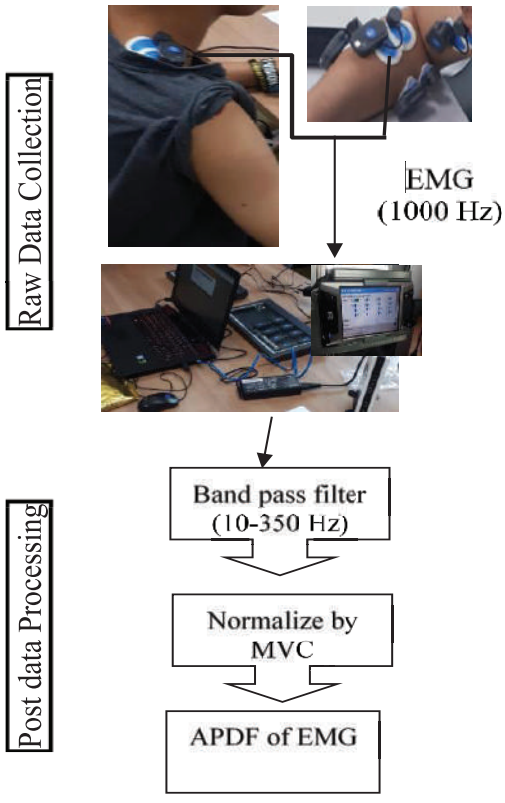


Figure 3 Experimental setup

Data analysis

In order to reduce variation and condense the colossal amount of data, the section corresponding to the task execution was divided into 6 time periods of electrical activity (EA). The first collection started at the second of 30-s epoch (time window) and the next collection was done every 150 seconds. An analysis system calculated EMGs values for every 30-s epoch[36]. Filtered EMGs was normalized by the maximum voluntary contractions (MVC). The data was analyzed with statistical software SPSS for Windows (version 21.0) (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). We employed the method of means contrast based on analysis of variance (ANOVA) for the following reasons: (I) the sample followed a normal distribution, (II) the number of groups to be analyzed was greater than two, (Yoga Book, Chromebook, iPad pro, Boogie Board, note book key board and Ballpoint Pen) (III) all the samples were the same size (this is a small number: 20 subjects). ANOVA is an inferential statistic for analyzing the mean difference between muscle activities. This statistic can control Type I errors. In those cases, having a difference between the means, an additional exploration of the difference among means multiple comparisons test, is needed. Any statistical significance was followed-up with a post-hoc Tukey HSD to determine whether there were significant differences between handwriting and typing devices.

Results

The results of the EMG analysis indicated variations in muscular behavior during the execution of the writing with drawing tasks in written exams as follows.

Trapezius

The results indicated that there were differences in TRAP muscle activity between input devices (Figure. 4). The Yoga Book had a significantly higher static (10^{th} percentile) muscle activity compared to the Chromebook and Notebook Keyboard ($p<0.05$) and a higher median (50^{th} percentile) muscle activity compared to the Chromebook and iPad pro respectively ($p<0.05$) whereas boogie with a Ballpoint Pen had a significantly higher peak (90^{th} percentile) muscle activity compared to Notebook Keyboard ($p<0.05$).

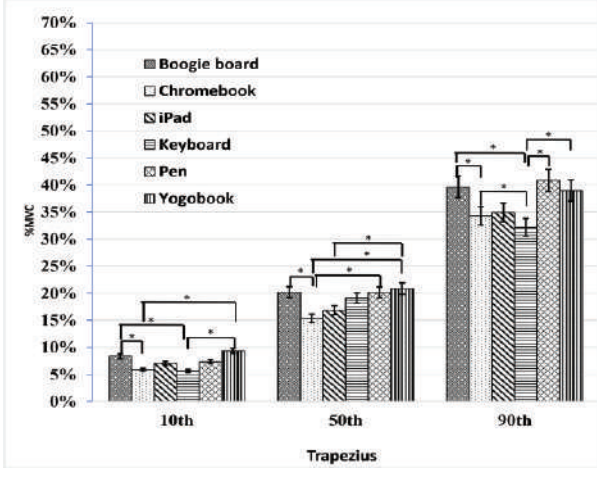


Figure 4 Comparison of 10^{th} 50^{th} and 90^{th} %tile muscle activity of TRAP. *statistical significance at α=0.05.

Biceps brachii

There were significant differences in the static median and peak BB muscle activities across the input devices (Figure. 5). The Boogie Board showed a consistently higher BB activity for the 10th 50th and 90th percentile muscle activity whereas the Notebook Keyboard had a lower static, median and peak ($p<0.05$) muscle activity.

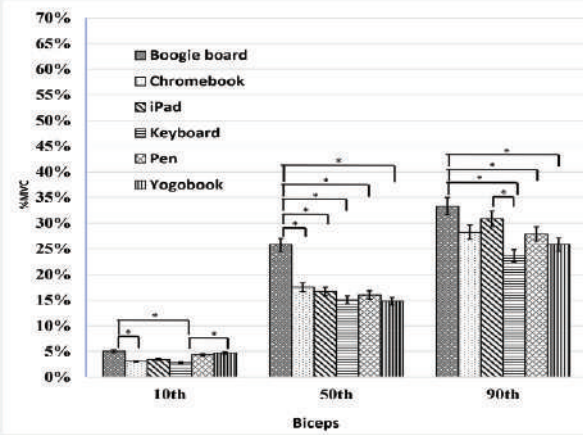


Figure 5 Comparison of 10th 50th and 90th %tile muscle activity of BB. *statistical significance at α=0.05.

Flexor digitorum superficialis

There were significant differences in static median and peak FDS muscle activities across input devices (Figure 6). The Ballpoint Pen showed a higher FDS activity for the 50th and 90th percentile muscle activity.

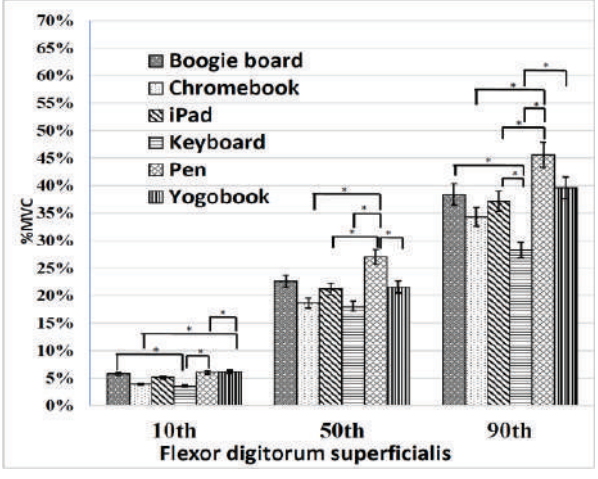


Figure 6 Comparison of 10th 50th and 90th %tile muscle activity of FDS. *statistical significance at α=0.05.

Extensor carpi radialis brevis

There were significant differences in static median and peak ECRB muscle activities across input devices (Figure 7). The Ballpoint Pen showed higher ECRB activities for the 50th and 90th percentile muscle activity with the Notebook Keyboard having a consistently lower static ($p<0.05$), median ($p<0.05$) peak ($p<0.05$) muscle activity.

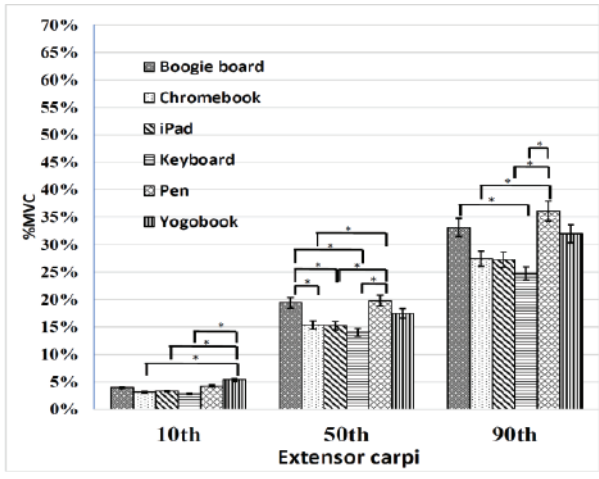


Figure 7 Comparison of 10th 50th and 90th %tile muscle activity of ECRB. *statistical significance at α=0.05.

Extensor digitorum communis

There were significant differences in the static median and peak EDC muscle activities across the input devices (Figure. 8). The Yoga Book had the highest peak ($p<0.05$) muscle activity (90th percentile) when compared to Chromebook and Notebook Keyboard respectively, whereas Chromebook showed lower EDC activities for the 50th and 90th percentile muscle activity compared to the Boogie Board and Ballpoint Pen (50th percentile) ($p<0.05$), and Boogie Board, Ballpoint Pen and Yoga Book (90th percentile) ($p<0.05$) respectively. Moreover, the Boogie Board had a higher static muscle activity (10th percentile) when compared to the Chromebook and the Notebook Keyboard ($p<0.05$) respectively.

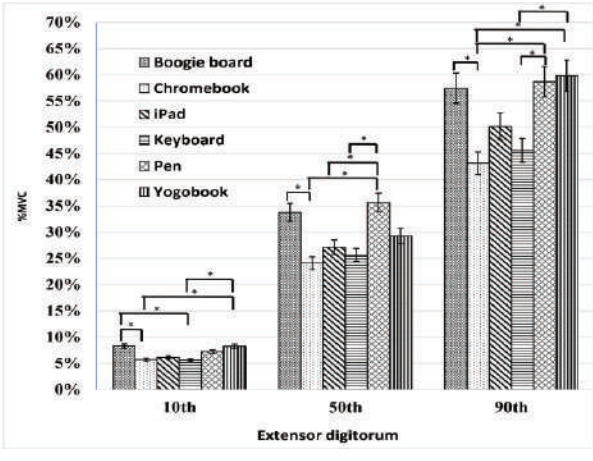


Figure 8 Comparison of 10th 50th and 90th %tile muscle activity of EDC. *statistical significance at α=0.05.

Discussion

The present study evaluated whether using digital input devices affects muscle activation, physical risk factors and student's performance, differently than a traditional input instrument. This study intends to help demonstrate the best practices for a University wanting to implement innovation for their examinations. This research result allows an efficient examination process for all parties involved, reflected in decreased correction times and lower copying and printing costs. The EMG results indicated that when using a Boogie Board and Ballpoint Pen, participants had a trend of higher FDS and ECRB muscle activities. Although, this study showed that writing with a Ballpoint Pen required the higher muscle activity for FDS and ECRB muscles compared to Boogie Board, there was no muscle activity difference between the Boogie Board and Ballpoint Pen. This is likely because the Boogie Board tip felt almost like a real pen and friction between the stylus and the slate was similar to Pen and paper[37]. Moreover, during interview, some participants expressed their opinion about enjoying writing with a Boogie Board. "Because the friction between the nib and surface is smooth and resembles regular pen and paper"

When expressing feelings about the Ballpoint Pen, the subjects often commented that "I had to press harder on the tip of the Ballpoint Pen nib to write with it, as the Ballpoint Pen nib is not fluid and smooth". "the feed's ink is not flowing smoothly, so I have to press hard on the Ballpoint Pen nib". This finding in the FDS and ECRB muscle activities corresponds with previous studies. Almeida, et al.,[22] which found that muscle activity associated with use of a pen involved a higher FDS muscle activity compared to ECRB muscle activity while perform handwriting tasks. Due to the difference of grasp patterns, there is an expenditure of different muscle activities (Figure 9 and Figure 10)[22, 38]. Thus, beyond the grasp pattern, the nib and ink feed are the most important component that may affect muscle activity.

Additionally, when using a Boogie Board, participants had consistently higher BB activities for the 10th 50th 90th percentile muscle activities, compared to other devices (Figure. 5). However, to our knowledge, there have only been a few previous studies using EMG to Boogies Board. This is likely because the adoption of proximal joint movements, such as shoulder elevation and elbow flexion, during the handwriting[22].

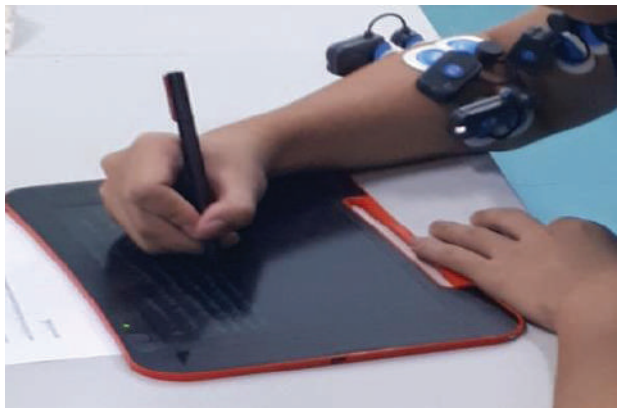


Figure 9 Participant's handwriting samples from Boogie Board

Figure 10 Participant's handwriting samples from Ballpoint pen

Moreover, if we analyzed the Boogie Board, the results showed the EDC muscle was higher for the 10th 50th 90th percentile muscle activities compared to other muscle activities (Figure. 11). This is likely because of the major role of the EDC muscle in extending the phalanges, then the wrist, and the elbow. The EDC tends to separate the fingers as it extends them, and it extends the medial four digits of the hand[4].

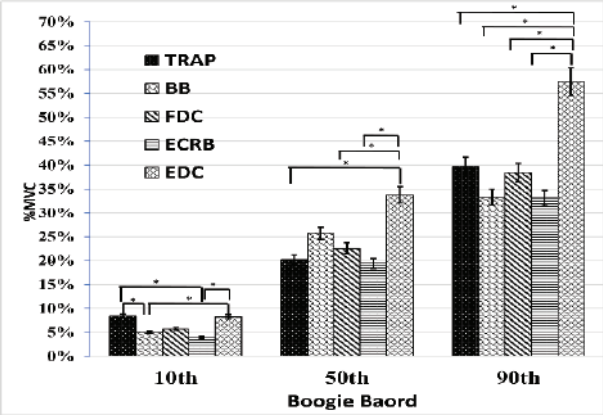
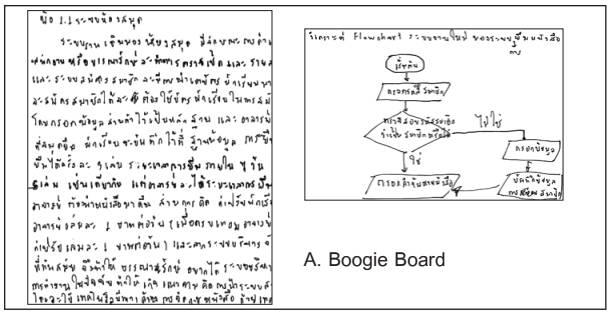
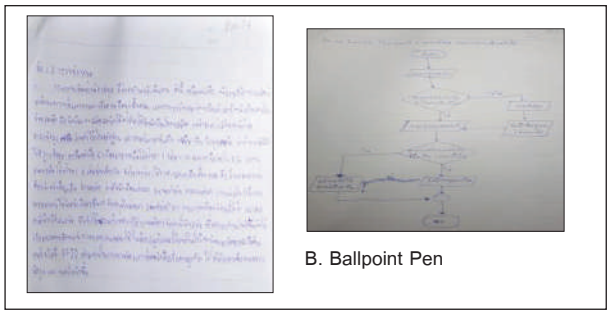


Figure 11 Comparison of the TRAP, BB, FDC, ECRB and EDC muscle activities of the Boogie Board

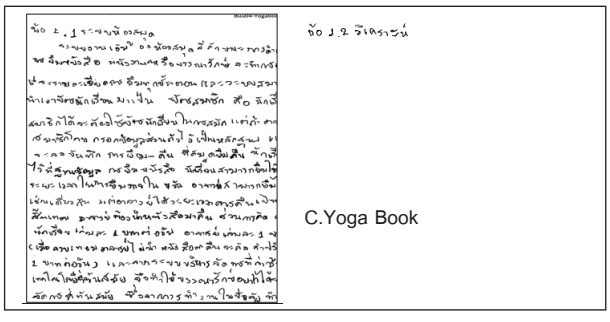
Besides, when expressing feelings about the Boogies Board, the subjects commented that “because of the similarity between a black screen of slate and line color of stylus, it created the difficulty of seeing the appearance of stokes, so I had to alter my writing size”. “Sometimes, I had to press harder on the tip of stylus nib to write with it, because of the color of stokes and black screen is not contrast” (Figure 12). Thus, our analysis of all the descriptive data indicate that beyond stylus accuracy and precision of strokes, the contrast between background and text color invoked a stronger connection to one’s writing because it forced them to alter their writing size and variety of pressures, and these may ultimately affect muscle activity[11].



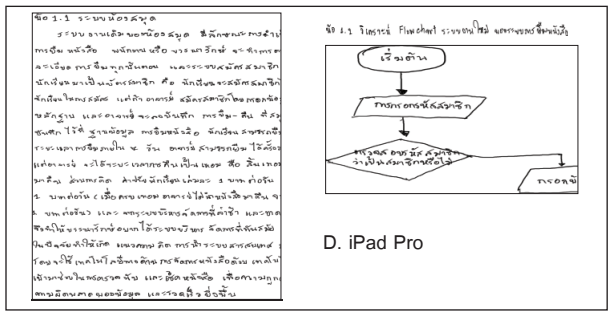
A. Boogie Board



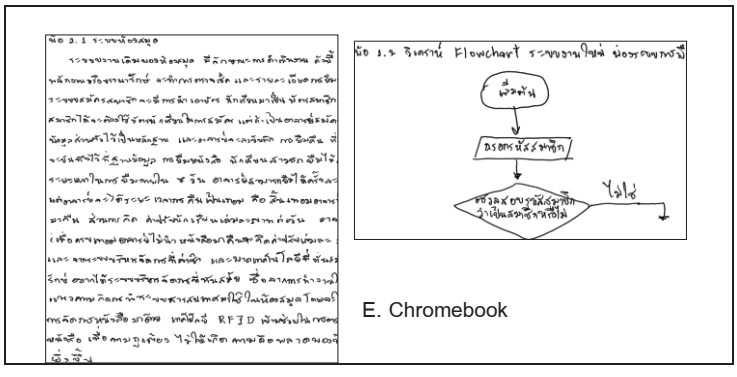
B. Ballpoint Pen



C.Yoga Book



D. iPad Pro



E. Chromebook

Figure 12 The images were cropped to show details of the character’ size and the variety of stroke pressure created using Boogie Board compared to handwriting sample from other devices. (Participants No.4)

Interestingly, when using the indirect input device, Yoga Book, participants had consistently higher TRAP, FDS, and EDC activities especially for the 10th percentile muscle activities, compared to Chromebook ($p<0.05$). However, to our knowledge, there have been few previous studies using EMGs on Yoga Book. Also, we analyzed the screen recorder and video data regarding the subject's writing. We found that participants wrote with a variety of pressure in handwriting. Some participants had more difficultly forming and terminating writing with the Yoga book (Figure 12 C). When participants begin to write, they had to look at the screen to monitor their stroke as well as seeing what they had already written on the screen whilst the subject wrote down on the touch slate (halo keyboard) (Figure 13). These were thought to be a result of mismatch of the interaction between the nib on the touch slate and the appearance of digital ink on the screen. Many participants commented on the appearance of their stroke beautification and their aesthetics. Moreover, they expressed opinions about a mismatch of the movement between the nib and digital ink on screen, if it forced them to alter their writing size, needed them to write slower and required more attention. Participants most often expressed the opinion "difficult to control". "The writing on the line is not easier to master than other devices". These may lead to a higher energy expenditure with the maintenance of a motor pattern in handwriting tasks[11, 22]. Therefore, inking on screen with altered writing size would likely involve higher muscle activities.

However, if we analyzed TRAP, FDS, and EDC activities for the 50th 90th percentile muscle activity, then we see that the Yoga Book indicated variations in muscle activities. The possible reason would be the difference in adapting movement patterns for individuals. When handwriting events were improperly handled, many more modified their behavior than participants were comfortable with, so they would have a different movement style[11] and eventually it may lead to the difference of muscle activities.

Figure 13 The usage of Yoga Book with stylus

When using Chromebook and iPad Pro, participants had consistently lower FDS (Figure 6) and EDC (Figure 8) activities for the 10th 50th 90th percentile muscle activities. Although, the iPad pro had a higher FDS and EDC muscle activity than Chromebook, there were no muscle activity differences between the Chromebook and iPad Pro. This is likely because both of the styli had pressure sensitivity and low latency thereby enabling smooth inking on the screen[39]. Moreover, when participants expressed opinions about Chromebook and iPad Pro, they were frequently described as "different and easy to control" by participants. Participants had positive writing experiences with them and felt that their display surface felt "smooth" which is a prominent feature identified as an ideal characteristic. In addition, with unintended touch, participants could write in a comfortable position and could rest their palm on the display (Figure14 and Figure15). Many participants felt that the stylus tip felt almost like a real pen and there was enough friction between the stylus and screen to feel natural. Interestingly, stroke beautification and productivity were similar between them (Figure 12 D and E). Thus, our analysis of all the descriptive and letter formation data shows that lower FDS and EDC muscle activities among Chromebook and iPad Pro may be caused by the mature grasp pattern which is the handwriting activity itself, modifying the muscular performance when controlling the stylus on the surface[40].

Figure 14 The usage of Chromebook

Figure 15 The usage of iPad Pro

When typing on the Notebook Keyboard, subjects had consistently the lowest BB (Figure 5), FDS (Figure. 6) and ECRB (Figure 7) muscle activity for the 10th 50th and 90th %tile muscle activities. The possible reason might be due to subjects being able to rest either their fingers or hands during typing[4, 22] as well as an adjustment of the chair and work surface to match each user's anthropometry in accordance with ANSI/HFES standards[14]. Thereby the preferred working position for most Notebook Keyboard participants is the forearms being parallel to the floor and elbows at the sides; this allows the hands to move easily over the keyboard[41-42] (Figure16). If not, then Notebook Keyboard for long period of time may affect muscle strain and risk of carpal tunnel syndrome or other kinds of repetitive strain injury[43-46]. Moreover, previous studies, Callegari, et al.,[47] and Nag, et al.,[48] found that when using the Notebook Keyboard, the hand and wrist rest would support the user's wrists as they type, and the BB and EDC muscle activity showed a reduced percentage of fatigue. This may lead to a muscle-selective reduction in the occurrence of fatigue and thus provide direct evidence that they may prevent work-related musculoskeletal disorders.

Figure 16 The usage of Notebook Keyboard

In addition, when we analyzed the Notebook Keyboard's muscle activity especially for the 50th percentile muscle activity: TRAP (19.118 %MVC), BB (15.0680 %MVC), FDS (18.0930 %MVC), ECRB (14.0560 %MVC) and EDC (25.6406 %MVC), we found that the EDC muscle was the highest muscle activity. This may play a major role in extending the phalanges, then the wrist, and finally the elbow. It also tends to separate the fingers as it extends them, and it extends the medial for digits of the hand. Similarly, the TRAP muscle is a higher muscle activity. This may be a function of the TRAP muscle to support the arm[4,49]. This finding corresponds with previous studies, Kim et. al.,[4] and found that the Notebook Keyboard's muscle activity showed a tendency to be an intermediate TRAP muscle activity. The reason is the difference in muscle activities by typing force[4,50], higher typing forces applied to a Notebook Keyboard are more likely to be affected by key activation force than the typing speed[4]. As this present study allowed subjects to type at their preferred speed, this may have affected the difference in muscle activity by typing force[4,50]. As a result, muscle activity may be problematic due to the typing forces reduce with lower key activation forces and that the lower typing forces resulted in reduced muscle activity[4], and the study condition where subjects may use different typing forces, further clarification should be made in future studies to draw conclusive information.

Conclusion

Universities allocate more budget each year on test administration, and digital input devices are increasingly being used, especially for test administration. However, computer keyboard characteristics and

handwriting instruments can affect user's risks for developing injury and health risks from working conditions. Therefore, it is important to understand whether using digital input devices affects muscle activation, physical risk factors and student's performance. In conclusion, the study demonstrated that there were differences between handwriting and typing devices for generating writing with drawing task in written exams. This work provided insight evidence of the difference between input devices in muscle activity. According to the result obtained in the EMG activities, using a Boogie Board, and Ballpoint Pen may be detrimental and cause muscle damage after trying to generate writing tasks for long sessions, especially in written exams that require the students to express their knowledge with alphanumeric and geometrical content. Moreover, when using and indirect input device like the Yoga Book, participants had an indication of a trend of increasing in TRAP, FDS and EDC muscle activities. This was thought to be a result of the pressure on the nib of the Ballpoint Pen and alteration of writing size when using the Boogie board and Yoga Book. These could be crucial when the accumulate over time. Besides, participants had positive experiences with Chromebook and iPad Pro and felt that these were ideal characteristics for generating writing. When typing on the Notebook Keyboard, subjects had the lowest BB, FDS, and ECRB muscle activity, this may imply that using a Notebook Keyboard may be an efficient tool for generating writing with drawing task, especially geometrical content in written exams. Moreover, using this tool may allow teachers to spend less time checking and correcting the answers once students have finished. Thus, when a task involves alphanumeric and geometrical content, it is more likely that the technological advances could be most advantageous[51].

Limitations and Future direction.

Even though conducted over a short experimental period, the results of this experiment indicated the tendency of user's risk for developing health problems from long-term use of IT instruments for writing. There are a number of limitations to this study. Fist, we eliminated specific factors: the thinking time, short and long answer for writing, and the revision level by participants that may impact or influence the real writing examination. Second, this study focused only on muscle activity and did not include typing forces and quality of writing. Since Notebook Keyboard had consistently the lowest muscle activities, it is uncertain if participants used substantially different typing forces that reduce with lower key activation forces and that the lower typing forces resulted in reduced muscle activity[4], futures researches should take into account the limitation of this study by including using a force platform and investigating the individual keystroke force profiles as well as the other muscle activity such as Neck muscle, back muscle and abdominal muscle.

Acknowledgements

National Research Council of Thailand (NRCT), Annual budget 2561 was kindly acknowledged for its research grant and facilities.

References

1. Kurtz BL, Esmaili A, Tate SR. Active Learning During Lecture Using Tablets. SIGCSE '14 Proceedings of the 45th ACM technical symposium Computer science education; 2014. P.121-6.
2. Maiorana C, Sgarbossa L, Salomoni V. New methodologies in teaching e-structural mechanics using WWW; Comput Appl Eng Educ 2008; 16:189-210.
3. Ravindra S, Hoffmann ER, Luximon A. Effects of pen design on drawing and writing performance; Appl Ergon 2009; 40(2): 292-301.
4. Kim JH, et al. Differences in typing forces, muscle activity, comfort, and typing performances among virtual, notebook, and desktop keyboards; Appl Ergon 2014; (45): 1406-13.
5. Zabramski S, Neelakannan S. Paper equal screen; A comparison of a pen-based figural creativity test in computerized and paper form. Proceeding DESIRE' 11 Proceedings of the Second Conference on Creativity and Innovation in Design; 2011.P. 47-50.
6. Huff KC. The comparison of mobile devices to computers for web-based assessments; Comput Human Behav 2015; 49:208-12.

7. Chisnoiu A, Lascu L, Pascu L, Georgiu C, Chisnoiu R. Emotional stress evaluation in patients with temporomandibular joint disorder; Hum & Vet Med 2015; 7(2): 104-7.
8. Dualde BJV, Buendia F, Lemus L, Cano JC, Gutierrez CJ, Lopez MA.Redesigning engineering courses by introducing digital ink technology. Paper presented at the IEEE Frontiers in Education Conference FIE; 2013 Oct 23-26; Oklahoma: USA; 2013.
9. Kowalski SE, Kowlski FV, Gardner TQ. Lessons Learned When Gathering Real-Time Formative Assessment in the University Classroom Using Tablet PCs. Proceedings of the 39th Frontiers in Education Conference IEEE; 2009 Oct 18-21; San Antonio, TX: USA; 2009. P.1-5.
10. Isabwe GMN, Reichert F, Carlsen M, Lian TA. Using Assessment for Learning Mathematics with Mobile Tablet Based Solutions; Int J Emerging Technol in Learning 2014; 9 (2): 29-36.
11. Annett M, Anderson F, Bischof WF, Gupta A. The Pen is Mightier: Understanding Stylus Behaviour While inking on tablets. Proceeding of Graphics Interface Conference; 2014 May 7-9; Canadian Information Processing Society Toronto: Ont: Canada; 2014.P.193-200.
12. Mogey N. Typing compared with handwriting for essay examination at university: letting the students choose; ALT-J. Research in Learning Technol 2010; 18(1): 29-47.
13. Moge N. Students' choices between typing and handwriting in examination; Active learning in higher educ 2012; 13(2): 117-28.
14. Human Factors and Ergonomics Society. ANSI/ HFES100-2007 Human Factors Engineering of Computer Workstations. CA: USA Santa Monica; 2007.
15. Gerard MJ, Armstrong TJ, Franzblau A, Martin BJ, Rempel DM. The effects of key switch stiffness on typing force, finger electromyography, and subjective discomfort; Am Ind Hyg Assoc J 1999; 60 (6): 762–9.
16. Gerard MJ, Armstrong TJ, Martin BJ, Rempel DM. The effects of work pace on intra-subject and inter-subject keying force, electromyography, and fatigue; Hum. Factors 2002; 44(1):51-61.
17. Pereira A, Hsieh CM, Laroche C, Rempel D. The effect of keyboard key spacing on typing speed, error, usability, and biomechanics, part 2: vertical spacing; Hum. Fact. J. Hum. Fact. Ergonom. Soc. 2013; 56(4):752-9.
18. Perry R. How products are made. Ballpoint pen. High Beam Research, Inc. Dicapai February 2013.
19. Sassoon R. The art and science of handwriting. USA: Intellect Ltd; 1993.
20. Goonetilleke RS, Hoffmann ER, Luximon A. Effects of pen design on drawing and writing performance; Appl Ergon 2009;40(2):292–301.
21. International Organization for Standardization. Ergonomics of human—system interaction: Part 410. Design criteria for physical input devices (Reference No. ISO 9241-410: 2008). Geneva, Switzerland: Author 2008.
22. Almeida PH, Cruz DM, Magna LA, Ferrigno IS. An electromyographic analysis of two handwriting grasp patterns; J. Lectromyogr Kinesiol 2013; 23(4):838-43.
23. Leonard JH, Kok KS, Ayiesha R. Prolonged writing task: comparison of electromyographic analysis of upper trapezius muscle in subjects with or without neck pain; Clin Ther 2010; 161 (1):29–33.
24. Steinhart NS, Leurer KM. Analysis of proximal and distal muscle activity during handwriting tasks; Am J Occup Ther 2007; 61(4):392–8.
25. Basmajian JV, Luca DCJ. Muscles Alive:Their Functions Revealed by Electromyography. Baltimore. Williams & Wilkins; 1985.
26. Perotto A, Delagi EF. Anatomical Guide for the Electromyographer: the Limbs and Trunk. 4th ed. AO Perotto: Springfield, IL,Charles C Thomas Publisher Ltd; 2005.
27. Jensen C, Vasseljen O, Westgaard RH. The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle; Eur. J. *Appl.* Physiol. Occup. Physiol. *1*993; 67 (3): 266-73.
28. Criswell E. Cram's introduction to Surface Electromyography. 2nd ed. United States of America: Jones and Bartlett publishers; 2011.

29. Hermens H, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G. European recommendations for surface electromyography-SENIAM 8. 2nd ed. Enschede, NL: Roessing Research and Development; 1999.
30. Peter K. The ABC of EMG-A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. USA: Noraxon INC; 2005.
31. Jonsson B. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during contained work; J. Hum. Ergol. 1982; 11 (1): 73-88.
32. Riley ZA, Baudry S, Enoka R M. Reflex inhibition in human biceps brachii decreases with practice of a fatiguing contraction; J of neurophysiol 2008; 100(5): 2843-51.
33. HarmsRingdahl K, Ekholm J, Schuldt K, Linder J, Ericson MO. Assessment of jet pilots' upper trapezius load calibrated to maximal voluntary contraction and a standardized load; J. Electromyogr. Kinesiol 1996; 6 (1): 67-72.
34. Schuldt K, Harmsringdahl K. Activity levels during isometric test contractions of neck and shoulder muscles; Scand. J. Rehabil. Med. 1988; 20 (3): 117-27.
35. Soderberg GL, Knutson LM. A guide for use and interpretation of kinesiologic electromyographic data; Phys Ther. 2000; 80(5):485-98.
36. Keenan KG, Cuevas FJV. Epoch length to accurately estimate the amplitude of interference EMG is likely the result of unavoidable amplitude cancellation; Bio Sig Pro Cont 2008 Apr; 3(2): 154–62.
37. Boogie Board. [Internet]. 2018 [cited 2018 Jul 5]. Available from: https://www.myboogieboard.com/.
38. Benbow M. Principles and practice of teaching handwriting. In: Henderson A, Pehoski C, editors. Hand function in the child: foundations for remediation. 2nd ed. St. Louis: Elsevier; 2006. P. 321–44.
39. Statt N. Here's why Apple made the stylus that Steve Jobs hated: Styluses and screens have come a long way. [cited 2015 September 10]. Available from: https://www.theverge.com.
40. Mann AM, Hinrichs U, Quigley A. Digital Pen Technology's Suitability to Support Handwriting Learning. In: Hammond T., Valentine S., Adler A., Payton M. (eds) The Impact of Pen and Touch Technology on Education. Human–Computer Interaction Series. Springer, Cham; 2015. P. 7-17.
41. Arunesh C, Pankaj C, Surinder D, Rajender K. Ergonomics in the Office Environment: A Review. Proceedings of international conference on energy and environment; 2009 March 19-21; 913-19.
42. Michael YCL, Justin GY, Jack TD. Evaluating the effect of four different pointing device designs on upper extremity posture and muscle activity during mousing tasks; Appl Ergon 2015; 47:259-64.
43. Hobday S. Keyboards designed to fit hand & reduce postural stress. Paper presented by S.W. Hobday at the ninth congress of the international ergonomic association; 1985 Sep 2–6; Bournemouth, England. England: PCD Maltron Ltd; 1985; 457.
44. Hobday S. A Keyboard to Increase Productivity and Reduce Postural Stress. Proceeding of the Annual International Industrial Ergonomics and Safety Conference; 1988 June 8–10; New 0rleans, Netherlands. Netherlands: Elsevier Science Publishers; 1991; 1561-5.
45. Hobday SW. Computer Related Upper Limb Disorder: A Keyboard to Eliminate the Stress and the Pain. Proceeding of the 19th Annual Congress of IMART; 1994 May 4; London, England. England: PCD Maltron Ltd.; 1994.
46. Rempel D. The Split Keyboard: An Ergonomics Success Story. Human Factors: J of the Hum Fact and Ergon Soci 2008; 50 (3): 385–92.
47. Callegari B, Maniglia M. Hand rest and wrist support are effective in preventing fatigue during prolonged typing; J of Hand Ther 2018; 31: 42-51.
48. Nag PK, Pal S, Nag A, Vyas H. Influence of arm and wrist support on forearm and back muscle activity in computer keyboard operation; Appl Erg. 2009; 40(2):86-291.
49. Jensen C, Finsen L, Sogaard K, Christensen H. Musculoskeletal symptoms and duration of computer and mouse use; Int. J. Indus. Ergon 2002; 30 (45): 265-75.

50. Armstrong TJ, Foulke JA. Martin BJ, Gerson J, Rempel DM. Investigation of applied forces in alphanumeric keyboard work; Am Ind Hyg Assoc J 1994; 55 (1):30–5.
51. Estibaliz AM, Candida DC, Jose IN, Inmaculada MJ, Manuel FRO. A comparative Study of Handwriting and Computer Typing in Note-taking by University Students; Media Educ Research J 2016; 48 (14): 99-107.

การวิเคราะห์โครงข่ายของสายน้ำด้วยทฤษฎีกราฟบนหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง: กรณีศึกษาพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี

An Analysis of Water Network Employed by Graph Theory-based Centrality: A Case Study of Flood Risk Areas in Chanthabur Province

ธนพล พุกเส็ง[1]
Thanaphon Phukseng[1]

Received: 19 October 2019 ; Revised: 20 January 2020 ; Accepted: 13 February 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจข้อมูลสายน้ำ และวิเคราะห์พื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งจะเป็นข้อมูลช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องวางแผนรับมือกับปัญหาดังกล่าว โดยให้ความสำคัญกับจุดพื้นที่ที่เป็นจุดเริ่มต้นหรือปลายทางของสายน้ำ จุดที่สายน้ำเชื่อมโยงกัน และจุดที่สายน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวาง กำหนดเป็นจุดยอด (Node) และการเชื่อมโยงระหว่างจุดพื้นที่เป็นเส้นเชื่อม (Edge) ในรูปแบบกราฟเชิงเดียวไม่มีทิศทาง (Undirected Graph) และใช้โปรแกรม Gephi version 0.9.2 ประมวลผลด้วยทฤษฎีกราฟจากหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง (Centrality) 5 วิธี คือ Degree Centrality, Eccentricity Centrality, Closeness Centrality, Betweeness Centrality และ Eigenvector Centrality โดยพื้นที่ที่ได้คัดเลือกจะมีค่าผลลัพธ์จากหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางวิธีต่างๆ ในระดับสูง สำหรับผลการวิจัยสามารถวิเคราะห์พื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี จำแนกตามอำเภอได้แก่ แก่งหางแมว 41 จุด ขลุง 85 จุด เขาคิชฌกูฏ 55 จุด ท่าใหม่ 59 จุด นายายอาม 28 จุด โป่งน้ำร้อน 12 จุด มะขาม 13 จุด เมืองจันทบุรี 123 จุด สอยดาว 1 จุด และแหลมสิงห์ 4 จุด รวมทั้งสิ้น 421 จุด

คำสำคัญ: น้ำท่วมรอการระบาย โครงข่ายสายน้ำ จันทบุรี ทฤษฎีกราฟ ค่าความเป็นจุดศูนย์กลาง

Abstract

The objectives of this research were to explore stream data and to analyze flood risk areas in Chanthaburi in order to gain useful information for local agencies in Chanthaburi to make plans to deal with such problems. This research focused on the sources or ends of streams, points where streams are linked, and points where streams cut through obstacles. Three areas were determined as nodes. The stream paths between points were called edges, which were represented utilizing undirected graphs. Data collected were then processed through Gephi version 0.9.2. Later, Graph Theory-based Centrality was considered for data analysis, consisting of five methods, namely: Degree Centrality, Eccentricity Centrality, Closeness Centrality, Betweeness Centrality, and Eigenvector Centrality. Selected areas must have obtained high values estimated from various methods of Graph Theory-based Centrality. The results of this research could lead to an analysis of flood risk areas in Chanthaburi. With the classification of districts, it was found that there were 41 points of flood risk areas in Kaeng Hang Maeo; 85 points in Khlung; 55 points in Khao Khitchakut, 59 points in Tha Mai, 28 points in Na Yai Am, 12 points in Pong Nam Ron, 13 points in Makham, 123 points in Mueang Chanthaburi, 1 point in Soi Dao, and 4 points in Laem Sing, totaling 421 points.

Keywords: Flood Risk Areas, Water Network, Chanthaburi Province, Graph Theory, Centrality

---

[1] อาจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ถนนชลประทาน ต.โขมง อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี 22170

[1] Lecture, Bachelor of Science Program in Information Technology, Faculty of Science and Arts, Burapha University Chanthaburi Campus, Ta-Mai District, Chanthaburi Province, Thailand, 22170

บทนำ

น้ำท่วมเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบเป็นอย่างมาก ทั้งภาคเศรษฐกิจและภาคสังคม ซึ่งจะเห็นได้จากในปี 2554 ที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาอย่างมากทั้งความเสียหายที่เกิดต่อบุคคลและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก สำหรับลักษณะของน้ำท่วมนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทหลัก[1,2] คือ 1. น้ำท่วมฉับพลันและน้ำป่า เป็นภาวะที่ฝนตกหนักในพื้นที่สูงมีความรุนแรงและเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2. น้ำล้นตลิ่ง เป็นภาวะที่ฝนตกหนักต่อเนื่องจนระบายไม่ทัน ทำให้น้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ใกล้เคียง 3. น้ำท่วมขัง เป็นภาวะที่การระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพ มักเกิดในพื้นที่ราบลุ่มและบริเวณชุมชนเมือง ซึ่งเป็นได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และ 4. คลื่นซัดฝั่งเป็นภาวะที่พายุลมแรงซัดฝั่ง โดยที่สาเหตุของการเกิดปัญหาน้ำท่วมนั้นเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น ฝนตกหนัก ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ น้ำทะเลหนุน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวมีหลายหน่วยงานร่วมจัดการแก้ปัญหาน้ำท่วมมาโดยตลอด แต่ปัญหาน้ำท่วมในลักษณะต่าง ๆ ก็ยังเกิดขึ้นได้เป็นระยะ ๆ สำหรับการจัดการกับปัญหาน้ำท่วม[3] ได้แก่ การก่อสร้างคันกั้นน้ำเลียบลำน้ำ การก่อสร้างทางผันน้ำ การปรับปรุงสภาพลำน้ำ การก่อสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำ การก่อสร้างคันกั้นน้ำโอบล้อมพื้นที่ และการอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำลำธาร ซึ่งเป็นแนวทางหลักในการป้องกันปัญหาน้ำท่วมโดยทั่วไป

เมื่อพิจารณาในแต่ละพื้นที่ ลักษณะของปัญหาน้ำท่วมที่พบจะมีความแตกต่างกัน ในจังหวัดจันทบุรีเกิดปัญหาน้ำท่วมอยู่เป็นระยะ โดยเฉพาะในเขตตัวเมืองจันทบุรีเคยเกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลันและน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน ซึ่งต่อมาเมื่อมีการขุดคลองภักดีรำไพ อันเป็นโครงการบรรเทาอุทกภัยตัวเมืองจันทบุรีตามพระราชดำริ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช รัชกาลที่ 9 [4] ทำให้ลดปัญหาน้ำท่วมในเขตตัวเมืองจันทบุรีได้ แต่ทั้งนี้ในปัจจุบันลักษณะของปัญหาน้ำท่วมในจังหวัดจันทบุรีที่พบได้บ่อยและหลายพื้นที่ คือ ลักษณะของน้ำท่วมขังในระยะสั้น หรือที่เรียกว่า น้ำท่วมรอการระบาย ที่เกิดจากภาวะฝนตกหนักแล้วน้ำมีการระบายออกได้ช้าจนทำให้น้ำเอ่อล้นแผ่กระจายออกไปในพื้นที่โดยรอบ สร้างความเสียหายต่อพื้นที่รอบข้างได้ ซึ่งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นจุดรวมของน้ำจากหลายสาย หรือพื้นที่ที่มีการสร้างถนน สะพานหรือมีการวางท่อระบายน้ำ ทำให้แบ่งสายน้ำออกเป็นช่วง ซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำท่วมรอการระบายได้หากไม่มีการจัดการในพื้นที่ เช่น การขุดลอกคลอง การกำจัดขยะ และการกำกับเปิดปิดประตูระบายน้ำให้ดี เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งศึกษาโครงข่ายของสายน้ำในจังหวัดจันทบุรี โดยพิจารณาพื้นที่ที่เป็นจุดเชื่อมโยงของสายน้ำ และนำเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อวิเคราะห์การเชื่อมโยงสายน้ำ ด้วยทฤษฎีกราฟจากหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางวิธีการต่าง ๆ ซึ่งพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางสูงจะแสดงถึงความสำคัญในการเป็นจุดเชื่อมโยงของโครงข่ายสายน้ำ และมีโอกาสสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้ โดยที่ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้จะได้ให้ข้อมูลกับหน่วยงานในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ที่สามารถใช้ประกอบการวางแผนเพื่อรับมือกับปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. สำรวจข้อมูลการเชื่อมโยงสายน้ำในจันทบุรี

2. วิเคราะห์หาพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี ด้วยทฤษฎีกราฟบนหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎีกราฟ และหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง ดังนี้

1. ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้สำหรับจำลองปัญหาบางอย่างด้วยแผนภาพ[5] ที่ประกอบด้วยจุดยอด (Node) ที่วาดแทนด้วย จุดทึบ และเส้นเชื่อม (Edge) ที่เชื่อมโยงบางจุดยอด ซึ่งได้มีการนิยามกราฟในรูปแบบต่อไปนี้[6]

กราฟ $G=(V, E)$

ประกอบด้วยเซตจำกัด 2 เซต ได้แก่

1) เซตของจุดยอด V ที่ไม่เป็นเซตว่างและเรียกสมาชิกใน V ว่าจุดยอด

2) เซตของเส้นเชื่อม E ที่อาจเป็นเซตว่างได้และเรียกสมาชิกใน E ว่า เส้นเชื่อม

โดยที่แต่ละเส้นเชื่อม e ใน E ถูกกำหนดด้วยคู่ไม่อันดับ (Unordered Pair) ของจุดยอด (u,v) ซึ่งเรียกว่า จุดยอดปลาย (End Vertex) ของ e ทั้งนี้ อาจแทนด้วย $V(G)$ และ $E(G)$ เพื่อเน้นว่าเป็นเซตของจุดยอดและเซตของเส้นเชื่อมของกราฟ G

โดยกราฟนั้นสามารถจำแนกได้หลายลักษณะ[7] เช่น

จำแนกตามทิศทาง แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1) กราฟแบบมีทิศทาง (Directed graph) หมายถึง กราฟที่มีการระบุทิศทางของเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอด

2) กราฟแบบไม่มีทิศทาง (Undirected graph) หมายถึง กราฟที่มีเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอดแบบไม่มีทิศทาง

และจำแนกตามการเชื่อมโยงของเส้นเชื่อม แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1) กราฟเชิงเดียว (Simple Graph) หมายถึง กราฟที่ไม่มีเส้นเชื่อมขนานกันระหว่างจุดยอดและไม่มีวงวนรอบจุดยอด

2) กราฟหลายเชิง (Multigraph) หมายถึง กราฟที่มีเส้นเชื่อมขนานกันระหว่างจุดยอด

ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยพื้นฐานในการสร้างการวิเคราะห์การเชื่อมโยงของกราฟต่อไป

2. การวิเคราะห์การเชื่อมโยงของกราฟด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง (Centrality) เป็นการวัดค่าความเป็นจุดศูนย์กลางของจุดยอดแต่ละจุด ซึ่งวิธีการที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ [8-11]

1) Degree Centrality หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากดีกรี เป็นการคำนวณค่าการเป็นจุดศูนย์กลางของการเชื่อมโยง (Hub) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีอิทธิพลสูงสุดของการเชื่อมโยง โดยวัดได้จากจำนวนเส้นเชื่อมโยงทั้งหมดที่โยงมาจากจุดยอดอื่นๆ สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากวิธีนี้สูง จะแสดงถึงการเป็นจุดร่วมของสายน้ำซึ่งมีโอกาสเกิดน้ำท่วมรอการระบายได้มากกว่า โดยนำเสนอได้ดังสมการที่ (1)

$$d(i)=\sum_j m_{ij} \quad (1)$$

เมื่อ $d(i)$ หมายถึง ค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากดีกรีของการเชื่อมโยงที่จุดยอด i ใดๆ โดยที่ m_{ij} จะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าหากมีการเชื่อมโยงระหว่างจุดยอด และ จะมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าหากไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างกัน

2) Closeness Centrality หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากความใกล้ชิด เป็นการคำนวณค่าความเป็นจุดศูนย์กลางของเครือข่ายจากความใกล้ชิดกับจุดยอดอื่นๆ และใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดในการเข้าถึง (Geodesic Path Distance) โดยวัดได้จากจำนวนเส้นเชื่อมโยงทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางจากจุดยอดหนึ่งไปยังอีกจุดยอดหนึ่ง โดยการลากผ่านจุดยอดอื่นๆ ด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากวิธีนี้สูง จะแสดงถึงโอกาสที่น้ำจากจุดพื้นที่อื่นๆ จะไหลมารวมยังจุดพื้นที่ดังกล่าวได้ง่ายกว่า ซึ่งสามารถเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้มากกว่า โดยนำเสนอได้ดังสมการที่ (2)

$$c(i)=\sum_j n_{ij} \quad (2)$$

เมื่อ $c(i)$ หมายถึง ค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากความใกล้ชิดของการเชื่อมโยงที่จุดยอด i ใดๆ โดยที่ n_{ij} คือ จำนวนเส้นการเชื่อมโยงในเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอดหนึ่งไปยังอีกจุดยอดหนึ่ง

3) Betweenness Centrality หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากการคั่นกลาง เป็นการคำนวณค่าความเป็นจุดศูนย์กลางของเครือข่ายจากการเป็นจุดคั่นกลาง หรือตำแหน่งที่เป็นสะพานเชื่อมจุดยอดต่างๆ (Bridgers) เข้าหากันโดยพิจารณาจากสัดส่วนของระยะทางที่สั้นที่สุด (Geodesic Path) ในการเชื่อมโยงระหว่างจุดยอดแต่ละคู่ สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากวิธีนี้สูง จะแสดงถึงความสำคัญของพื้นที่ดังกล่าวที่จะเป็นจุดผ่านที่เชื่อมโยงระหว่างจุดพื้นที่อื่นแต่ละคู่ ซึ่งจะมีโอกาสเกิดน้ำท่วมรอการระบายได้มากกว่า โดยนำเสนอได้ดังสมการที่ (3)

$$b(i) = \sum_{j,k} \frac{g_{jik}}{g_{jk}} \quad (3)$$

เมื่อ $b(i)$ หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากการคั่นกลางของการเชื่อมโยงที่จุดยอด i ใดๆ โดยที่ g_{jk} คือ จำนวนเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอด j ไปยังจุดยอด $k(j,k\neq i)$ ส่วน g_{jik} คือ จำนวนเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอด j ไปยังจุดยอด k ที่ต้องผ่านจุดยอด i

4) Eccentricity Centrality หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดความสัมพันธ์ที่แตกต่างของจุดยอด เป็นการวัดความสามารถในการเข้าใช้งานของจุดยอด โดยคำนวณจากระยะทางสูงสุดของจุดยอดหนึ่งไปยังจุดยอดหนึ่ง วิธีการนี้มักจะแสดงเป็นส่วนกลับของค่าสูงสุดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่ามากแสดงถึงการเชื่อมโยงที่มีความหมายเชิงบวก สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากวิธีนี้สูง จะแสดงถึงการเชื่อมโยงจากจุดพื้นที่อื่นมายังจุดพื้นที่นี้ได้สูง จึงมีโอกาสที่น้ำจากจุดพื้นที่อื่นจะไหลมารวมก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้มากกว่า โดยนำเสนอได้ดังสมการที่ (4)

$$ecc(i) = \frac{1}{Max\{dist(i,j)\}} \quad (4)$$

เมื่อ $ecc(i)$ หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากความสัมพันธ์ที่แตกต่างของจุดยอด i ใดๆ โดยที่ $dist(i,j)$ คือ ระยะทางระหว่างจุดยอด i ไปยังจุดยอด j ซึ่งเป็นความยาวของระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่าง 2 จุดยอดนั้น โดยจะให้ความสำคัญกับระยะทางที่มีค่ามากที่สุด

5) Eigenvector Centrality หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเป็นการคำนวณค่าความเป็นจุดศูนย์กลางของเครือข่ายจากการวัดค่าอิทธิพลของจุดยอดในเครือข่าย โดยหากจุดยอดนั้นเชื่อมโยงกับจุดยอดอื่นที่มีค่าอิทธิพลสูงอยู่แล้ว ก็จะมีค่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่สูงกว่าจุดยอดที่เชื่อมโยงกับจุดยอดอื่นที่มีค่าอิทธิพลต่ำ สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากวิธีนี้สูง จะแสดงว่าจุดพื้นที่ดังกล่าวที่ได้รับอิทธิพลจากจุดพื้นที่อื่น ซึ่งเมื่อจุดพื้นที่อื่นเกิดปัญหา จะส่งผลกระทบต่อจุดพื้นที่นี้ทำให้เกิดเกิดน้ำท่วมรอการระบายได้มากยิ่งขึ้น โดยนำเสนอได้ดังสมการที่ (5)

$$ev(i) = \frac{1}{\lambda}\left(\sum_{t \in V(i)} t\right) \quad (5)$$

เมื่อ $ev(i)$ หมายถึง ความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของจุดยอด i ใดๆ โดยที่ t เป็นสมาชิกของ $V(i)$ ซึ่งหมายถึง ชุดของจุดยอดที่เชื่อมโยงไปยังจุดยอด i และ λ เป็นค่าคงที่

สำหรับในงานวิจัยนี้จะเป็นการนำเสนอกราฟของการเชื่อมโยงสายน้ำในจังหวัดจันทบุรี G ประกอบด้วย $G=(V,E)$ ซึ่ง V คือ เซตของจุดพื้นที่ที่สายน้ำเชื่อมโยงกันหรือจุดพื้นที่เริ่มต้นหรือปลายทางของสายน้ำ และ E คือ เส้นทางของสายน้ำที่เชื่อมโยงระหว่างจุดพื้นที่ดังกล่าว และวิเคราะห์การเชื่อมโยงของกราฟด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษางานวิจัยที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาน้ำท่วม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาน้ำท่วมโดยส่วนใหญ่จะเป็นการนำเสนอการใช้หลักการทางภูมิสารสนเทศ เช่น งานวิจัยการประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในจังหวัดสระแก้ว[12] ได้ศึกษาถึงปัจจัยทางกายภาพที่อาจส่งผลต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมและพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยและประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการแสดงถึงพื้นที่ที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม สำหรับการวิจัยที่สองเป็นการนำเสนอการประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่[13] เป็นการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจากข้อมูลการเกิดน้ำท่วมในอดีต และใช้โปรแกรมภูมิสารสนเทศในการนำเสนอและร่วมวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ งานวิจัยต่อไปเป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมกูเกิลเอิร์ทเพื่อการเฝ้าระวังภัยพิบัติ: กรณีตัวอย่างน้ำท่วมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2554[14] โดยใช้โปรแกรมกูเกิลเอิร์ทในการนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาก่อน ระหว่างและหลังเกิดภัยพิบัติร่วมกับโปรแกรมภูมิสารสนเทศ และงานวิจัยสุดท้ายที่นำเสนอคือ การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการเตือนภัยพิบัติน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา[15] เป็นการศึกษาพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยเตือนภัยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมโดยมีพื้นฐานจากโปรแกรมกูเกิลแมป

ซึ่งจากงานวิจัยที่นำเสนอนั้นจะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีที่มีความเกี่ยวข้องกับภูมิสารสนเทศมาเป็นส่วนประกอบ ทั้งที่เป็นปัจจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ หรือการแสดงผล ทำให้ได้เห็นภาพรวมของสภาพพื้นที่ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว นอกเหนือจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลจริงซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง

งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟ

ในด้านการวิจัยที่มีการประยุกต์นำทฤษฎีกราฟมาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น การวิเคราะห์การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษาวิทยาลัยพณิชยการธนบุรี[16] ได้ใช้ทฤษฎีกราฟวิเคราะห์การเชื่อมต่อของเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อหาอุปกรณ์กระจายสัญญาณที่มีความสำคัญในระบบเครือข่าย โดยหาความเป็นจุดศูนย์กลางจากวิธี Degree Centrality ร่วมกับ Betweenness Centrality สำหรับงานวิจัยที่สอง คือการวิเคราะห์เครือข่ายการท่องเที่ยวของกลุ่มจังหวัดภาคกลางในประเทศไทย[17] ได้ใช้ทฤษฎีกราฟในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของสถานที่ท่องเที่ยว โดยในการหาค่าความเป็นจุดศูนย์กลางได้ใช้วิธี Degree Centrality Closeness Centrality และ Betweenness Centrality งานวิจัยต่อไปเป็นการวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมโดยทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษา คณาจารย์คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี[9] เป็นการใช้ทฤษฎีกราฟในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของบุคลากรภายในองค์กร เพื่อหาผู้ที่มีความสำคัญต่อการกระจายข่าวสารไปยังบุคลากรต่างๆ ในองค์กร โดยได้ใช้วิธีการหาความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจาก Degree Centrality Closeness Centrality และ Betweenness Centrality และงานวิจัยสุดท้ายที่นำเสนอเป็นการวิเคราะห์โครงข่ายเส้นทางสถานที่ท่องเที่ยวด้วยทฤษฎีกราฟ: กรณีศึกษาการจัดตั้งจุดประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวในเขตจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด[18] ได้ใช้ทฤษฎีกราฟในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของสถานที่ท่องเที่ยว และทางร่วมทางแยก ที่มีความเหมาะสมต่อการจัดตั้งจุดประชาสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการหาความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจาก Degree Centrality และ Betweenness Centrality

จากงานวิจัยที่นำเสนอนั้นจะเห็นได้ว่าทฤษฎีกราฟได้มีการนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง โดยที่ต้องมีลักษณะเชื่อมโยงของปัจจัยที่พิจารณาเป็นแบบเครือข่าย

งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาน้ำท่วมและประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟ

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อนี้จะได้นำเสนองานวิจัยที่มีการนำทฤษฎีกราฟมาใช้กับปัญหาน้ำท่วม ได้แก่ การวิจัยเพื่อการวิเคราะห์การระบายน้ำโดยใช้ทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษาเขตพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา[19] ซึ่งได้นำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์ของการระบายน้ำ โดยใช้แนวทางความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจาก Degree Centrality และ Betweenness Centrality แต่เป็นการมุ่งเน้นที่ประตูระบายน้ำ และแหล่งน้ำใหญ่ในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นหลัก และงานวิจัยการวิเคราะห์โครงข่ายประตูระบายน้ำด้วยความเป็นศูนย์กลางระหว่างความสัมพันธ์ร่วมกับกระแสการไหลสูงสุด[20] ซึ่งได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในส่วนของความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากการคั่นกลาง เพื่อนำเสนอวิธี “BC-Max” ที่กำหนดเส้นทางในการระบายน้ำจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยนำค่าความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากการคั่นกลางมาคำนวณหาค่าการไหลสูงสุด (Maximum Flow) ที่สามารถระบายน้ำที่ประตูระบายน้ำได้

ซึ่งจากที่นำเสนองานวิจัยนั้น แสดงให้เห็นว่าการนำทฤษฎีกราฟมาใช้กับปัญหาน้ำท่วมนั้นมีความน่าสนใจ ทั้งนี้งานวิจัยทั้งสองจะเป็นการมุ่งเน้นในลักษณะของแหล่งน้ำใหญ่และที่ประตูระบายน้ำ โดยยังไม่ได้พิจารณาถึงพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นจุดเชื่อมต่อของสายน้ำซึ่งอาจเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้ รวมถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หาค่าความเป็นจุดศูนย์กลาง หากใช้หลายวิธีผสานกัน สามารถส่งผลให้วิเคราะห์ปัญหาได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมทำให้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าในการเก็บรวมรวมข้อมูลของสายน้ำนั้นสามารถใช้วิธีการทางภูมิสารสนเทศเพื่ออำนวยความสะดวกได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการนำทฤษฎีกราฟที่มีการวิเคราะห์ข้อมูลการเชื่อมโยงต่าง ๆ ด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางนั้นมีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้วิเคราะห์นำเสนอทางออกของปัญหาที่วิจัยได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งวิธีดำเนินการเป็น 4 กระบวนการ ดัง Figure 1 ต่อไปนี้

1. การเก็บรวมรวมข้อมูลสายน้ำและการเชื่อมโยงของสายน้ำในจังหวัดจันทบุรี ด้วยโปรแกรมกูเกิลแมป และสำรวจในพื้นที่จริง ซึ่งให้ความสำคัญกับจุดพื้นที่ 3 ลักษณะ คือ 1. จุดพื้นที่เริ่มต้นหรือปลายทางของสายน้ำ ซึ่งอาจเป็นน้ำตก หรือ พื้นที่เก็บน้ำ เช่น เขื่อน หรือ อ่างเก็บน้ำ 2. จุดพื้นที่ที่สายน้ำเชื่อมโยงกัน ซึ่งอาจเป็นทางร่วมทางแยกของสายน้ำ และ 3. จุดพื้นที่ที่สายน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ถนน หรือ สะพาน เป็นต้น เนื่องจากจุดพื้นที่ในลักษณะที่ 2 และ 3 จะเป็นคอขวดที่ส่งผลต่อการระบายน้ำได้

2. การกำหนดสัญลักษณ์แทนข้อมูลในจุดพื้นที่ต่าง ๆ และทำพจนานุกรมข้อมูลเพื่ออธิบายกำกับความหมายในแต่ละจุด

3. การวิเคราะห์การเชื่อมโยงของกราฟ โดยจัดรูปแบบและโหลดข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Gephi version 0.9.2 จากนั้นจึงกำหนดค่าปัจจัย สร้างแผนภูมิการเชื่อมโยงของสายน้ำและวิเคราะห์การเชื่อมโยงด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางวิธีต่าง ๆ และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้

4. การแปลผลและสรุปผล ในกระบวนการสุดท้ายจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางแต่ละวิธี มาการจัดเรียงลำดับจากมากไปน้อย จัดแบ่งเป็นช่วงตามแต่ละวิธี และเลือกคัดเลือกพื้นที่ที่มีค่าตัวเลขมากของหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางแต่ละวิธี ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้มากหมายถึงในจุดพื้นที่นั้นมีโอกาสสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายมากกว่า จากนั้นจึงเปรียบเทียบเพื่อหาจุดพื้นที่สามารถพบได้โดยหลายวิธีหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง เพื่อสรุปเป็นพื้นที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายมากที่สุด

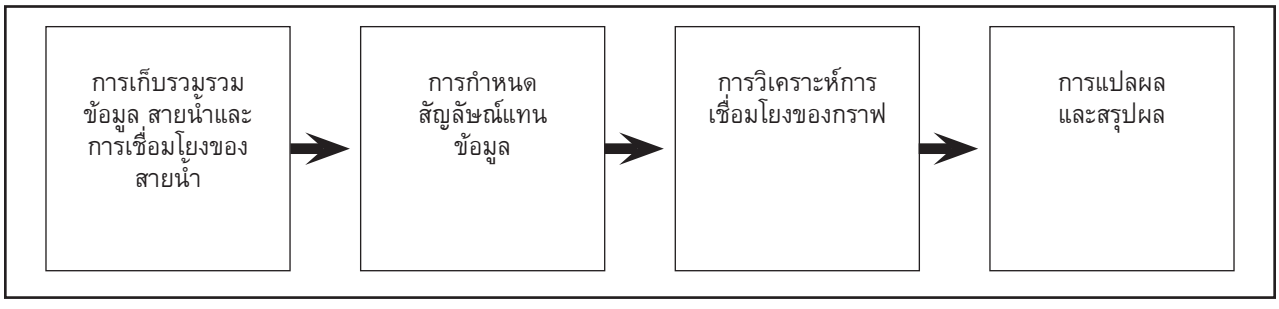


Figure 1 Research Processes

ผลการวิจัย

จากวิธีดำเนินการวิจัยจะได้นำเสนอผลการวิจัยเป็นลำดับดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลสายน้ำและการเชื่อมโยงของสายน้ำในจันทบุรี ได้จำนวนจุดพื้นที่ ดัง Table 1

Table 1 Numbers of Collecting Data Areas

Data areas	Numbers
The sources or ends of the rivers	296 Points
The point where rivers are linked	669 Points
The point river cut through obstacles	1,439 Points
Total	2,404 Points

2. กำหนดสัญลักษณ์แทนข้อมูล และทำพจนานุกรมข้อมูลดัง Table 2 Figure 2 และ Figure 3

Table 2 Defining Data as Symbols

Data areas	Symbols
The sources or ends of the rivers	REXXX
The point where rivers are linked	RRXXX
The point river cut through obstacles	LRXXX and RLXXX

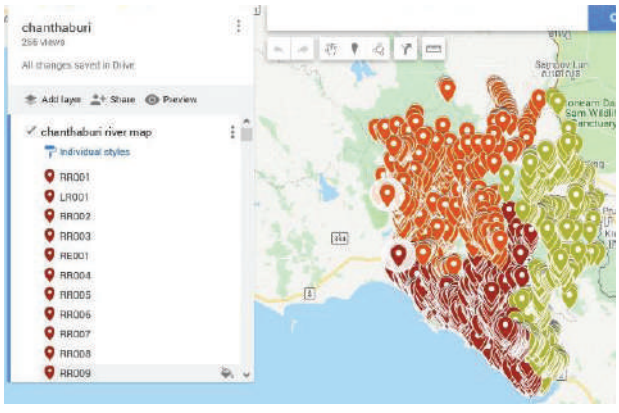


Figure 2 Defining Data as Symbols on Google Map

	A	B	C
1	Road&River		
2	Code	RoadandBride	River
3	LR001	ChaloemBuraphaChonlathitRd	
4	LR002	KhlongChak-yanSueMu4Rd	
5	LR003	KhlongChak-yanSueMu4Rd	
6	LR004		
7	LR005		
8	LR006	1011	
9	LR007		
10	LR008		
11	LR009	1011	Bangkluai
12	LR010		Bangkluai
13	LR011		Bangkluai

Figure 3 Example of a Data Dictionary for the Areas of the Point River Cut Through Obstacles

3. วิเคราะห์การเชื่อมโยงของกราฟ โดยกำหนดการเชื่อมโยงของจุดพื้นที่เป็นกราฟแบบไม่มีทิศทาง (undirected graph) ซึ่งมีจุดยอดเป็นจุดพื้นที่ต่างๆ ได้แก่ จุดพื้นที่ที่เป็นจุดเริ่มต้นหรือปลายทางของสายน้ำ จุดที่สายน้ำเชื่อมโยงกัน และจุดที่สายน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวาง ดังตัวอย่างใน Figure 4 โดยที่ Source และ Destination เป็นการเชื่อมโยงของสายน้ำระหว่างจุดพื้นที่ ได้มาจากการเก็บข้อมูลการเชื่อมโยงกันระหว่างจุด โดยที่กำหนดไว้ 2,404 จุด และเส้นเชื่อมจากการเชื่อมโยงของสายน้ำระหว่างจุดพื้นที่มีทั้งหมด 2,386 คู่ จากนั้นจึงได้นำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Gephi และสร้างแผนภูมิการเชื่อมโยงของสายน้ำ ดัง Figure 5 และ Figure 6 ต่อจากนั้นจึงได้ประมวลผลวิเคราะห์การเชื่อมโยงด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางในแต่ละวิธีการ ดัง Figure 7 ประกอบด้วย Degree Centrality Eccentricity Centrality Closeness Centrality Betweeness Centrality และEigenvector Centrality และบันทึกผลลัพธ์

	A	B
1	Source	Destination
2	RR151	RR154
3	RR154	LR304
4	RR154	RR153
5	RR153	RR152
6	RR153	RR155
7	RR155	RR157
8	RR157	RR156
9	RR157	RR158
10	RR158	RR160
11	RR160	RR159
12	RR159	RR161

Figure 4 Example of Linking Areas

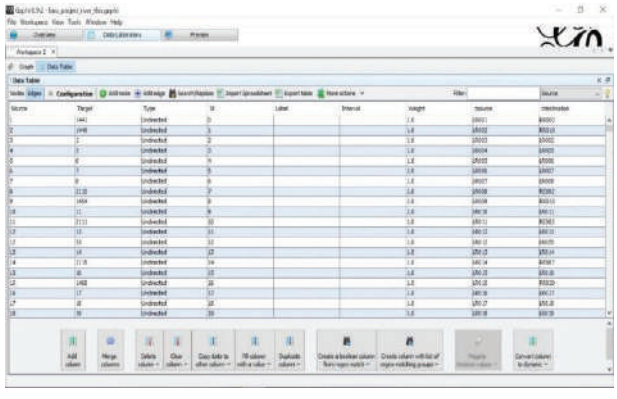


Figure 5 Results of Inputting Data to Gephi

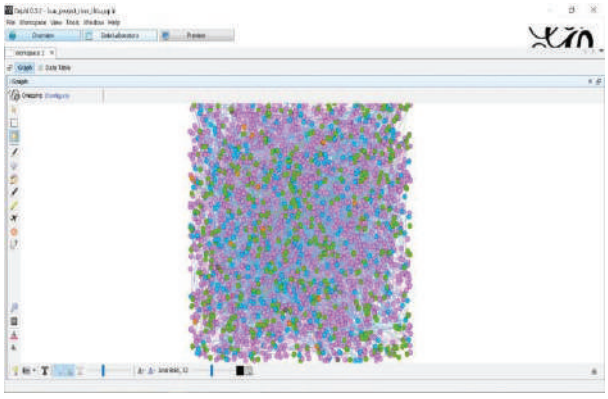


Figure 6 Chart Shown the Linking Points

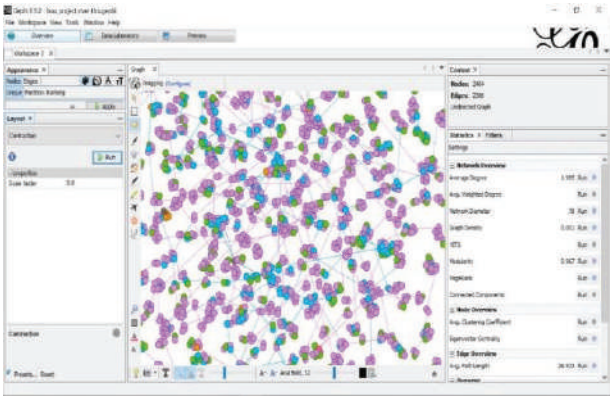


Figure 7 Examples of Centrality Analysis with Different Methods

4. แปลผลและสรุปผล โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละวิธีการวิเคราะห์ด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย จัดแบ่งเป็นช่วง และเลือกข้อมูลจุดพื้นที่ที่มีค่าผลลัพธ์ในระดับสูงไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ในแต่ละวิธี เพื่อให้มีปริมาณข้อมูลเพียงพอต่อการแปรผล ต่อจากนั้นได้พิจารณาเพื่อหาว่าแต่ละจุดพื้นที่สามารถพบได้โดยใช้หลักการความเป็นจุดศูนย์กลางกี่วิธี ซึ่งจุดพื้นที่ใดที่พบด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางมากกว่า แสดงถึงการเป็นจุดพื้นที่ที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายมากกว่า ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกพิจารณาจุดพื้นที่ที่ได้จากจำนวนวิธีหลักการความเป็นจุดศูนย์กลางตั้งแต่ 3 วิธีขึ้นไป ซึ่งรวมจำนวน 477 จุด สามารถแสดงผลลัพธ์สรุปได้ดัง Table 3 เมื่อได้ผลลัพธ์ดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ตรวจสอบจุดพื้นที่ในรายละเอียดอีกครั้งหนึ่ง โดยได้ตัดจุดพื้นที่ที่เป็นบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งจะมีโอกาสเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้ยากออก ทำให้เหลือจำนวนจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย จำแนกตามอำเภอต่างๆ ในเขตจังหวัดจันทบุรี ดัง Table 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจันทบุรี คงเหลือ 421 จุด ดัง Figure 8 สำหรับตัวอย่างข้อมูลพื้นที่ที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี แสดงดัง Figure 9 Table 5 และ Table 6

Table 3 Summary of Number of Centrality Methods and Areas

A number of centrality methods	A number of the sources or ends of the rivers	A number of the points where rivers are linked	A number of the points where rivers cut through obstacles	Total
4 Methods	0 Point	35 Points	13 Points	48 Points
3 Methods	1 Point	225 Points	203 Points	429 Points
Total	**1 Point**	260 Points	216 Points	477 Points

Table 4 A Number of Flood Risk Areas of Each District in Chanthaburi Province

District in Chanthaburi Province	A number of the sources or ends of the rivers	A number of the points where rivers are linked	A number of the points where rivers cut through obstacles	Total
Kaeng Hang Maeo	0 Point	23 Points	18 Points	**41 Points**
Khlung	0 Point	55 Points	30 Points	**85 Points**
Khao Khitchakut	0 Point	21 Points	34 Points	**55 Points**
Tha Mai	0 Point	32 Points	27 Points	**59 Points**
Na Yai Am	0 Point	23 Points	5 Points	**28 Points**

Table 4 A Number of Flood Risk Areas of Each District in Chanthaburi Province (cont.)

District in Chanthaburi Province	A number of the sources or ends of the rivers	A number of the points where rivers are linked	A number of the points where rivers cut through obstacles	Total
Pong Nam Ron	0 Point	9 Points	3 Points	12 Points
Makham	0 Point	7 Points	6 Points	13 Points
Mueang Chanthaburi	0 Point	38 Points	85 Points	123 Points
Soi Dao	0 Point	1 Point	0 Point	1 Point
Laem Sing	0 Point	3 Points	1 Point	4 Points
Total	0 Point	212 Points	209 Points	421 Points

Table 5 The Points Where Rivers Are Linked of Flood Risk Areas in Pong Nam Ron District, Chanthaburi Province

No.	Code	River 1	River 2	River 3	GPS (Lat., Long.)
1	RR531	PhakKat	PongNamRon		12.9264, 102.46262
2	RR532	Kloi	PongNamRon		12.92158, 102.42603
3	RR533	KhruaWai	PongNamRon		12.9312, 102.41185
4	RR534	TaKhong	PongNamRon		12.91464, 102.37135
5	RR535	Kwang	TaKhong		12.8966, 102.30344
6	RR536	TaNi	TaKhong		12.88985, 102.29102
7	RR538	Phraphut	SaiKhao	Bon	13.04683, 102.42134
8	RR539	SaiKhao	Phraphut		13.03619, 102.37527
9	RR540	Phraphut			13.02472, 102.33853

Table 6 The Points Where Rivers Cut Through Obstacles of Flood Risk Areas in Pong Nam Ron District, Chanthaburi Province

No.	Code	Road or Bridge	River	GPS (Lat., Long.)
1	RL141		PongNamRon	12.92891, 102.43984
2	RL147	3193	PongNamRon	12.91479, 102.37203
3	RL169		TaKhong	12.89677, 102.29646

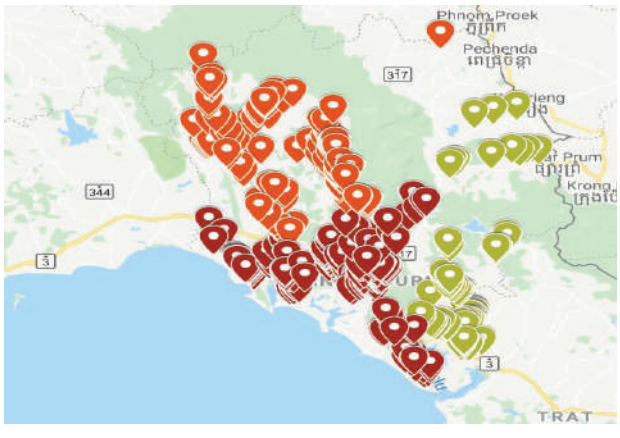


Figure 8 Flood Risk Areas in Chanthaburi Province

Figure 9 Flood Risk Area in Pong Nam Ron District, Chanthaburi Province

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การพิจารณาพื้นที่ที่มีโอกาสสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย ในจังหวัดจันทบุรี ได้ศึกษาโครงข่ายการเชื่อมโยงสายน้ำในจังหวัดจันทบุรีและวิเคราะห์ด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง มีความสอดคล้องกับงานวิจัย[19-20] ซึ่งได้ศึกษาโครงข่ายของประตูระบายน้ำในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ทำให้เห็นได้ว่าพื้นที่ที่สายน้ำมีการเชื่อมโยงกันจะส่งอิทธิพลต่อการระบายน้ำเป็นอย่างยิ่ง

2. ผลการทดลองจากมิติของอำเภอในจังหวัดจันทบุรี พบว่าอำเภอเมืองจันทบุรี มีจำนวนจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายมากที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสภาพพื้นที่จริงแล้วพบว่า อำเภอเมืองจันทบุรีเป็นเขตชุมชนเมืองซึ่งมีจุดตัดผ่านของสิ่งกีดขวางทางน้ำเป็นจำนวนมากทำให้มีจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้มากกว่าอำเภออื่นๆ ในจังหวัดจันทบุรี

ส่วนอำเภอสอยดาวและอำเภอแหลมสิงห์ มีจำนวนจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสภาพพื้นที่จริงแล้ว จะเห็นได้ว่าอำเภอสอยดาวเป็นพื้นที่สูงและเป็นแหล่งต้นน้ำ ซึ่งมีแหล่งชุมชนน้อยทำให้จุดตัดของสายน้ำมีจำนวนน้อย และสำหรับอำเภอแหลมสิงห์ พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำและติดทะเลทำให้มีพื้นที่ที่จะเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายน้อย

สำหรับในปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมรอการระบายซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย เช่น ตำบลท่าช้าง อำเภอเมืองจันทบุรี ตำบลเกวียนหัก และ ตำบลพลิ้ว อำเภอแหลมสิงห์ และ ตำบลตะปอน อำเภอขลุง เป็นต้น[21-22]

3. ผลการทดลองจากมิติของประเภทจุดพื้นที่ที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย จะเห็นได้ว่าจุดพื้นที่จะคงเหลือเฉพาะจุดที่สายน้ำเชื่อมโยงกัน และจุดที่สายน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวาง ทั้งนี้เนื่องจากหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงของสายน้ำ สำหรับกรณีของจุดเริ่มต้นของสายน้ำ เมื่อมีฝนตกก็จะระบายไปยังจุดอื่น ส่วนจุดปลายทางของสายน้ำ ส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณปากแม่น้ำ หรือทะเล ซึ่งจะไม่มีปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยการวิเคราะห์โครงข่ายของสายน้ำด้วยทฤษฎีกราฟบนหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง กรณีศึกษาพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบายในจังหวัดจันทบุรี ได้เก็บรวบรวมข้อมูลสายน้ำในจังหวัดจันทบุรีด้วยโปรแกรมกูเกิลแมป และการสำรวจในพื้นที่จริง แล้วประมวลผลด้วยโปรแกรม Gephi โดยได้จำนวนจุดยอดที่มาจากจุดพื้นที่เริ่มต้นหรือปลายทางของสายน้ำ จุดพื้นที่ที่สายน้ำเชื่อมโยงกัน และจุดพื้นที่ที่สายน้ำตัดผ่านสิ่งกีดขวาง รวม 2,404 จุด สามารถสร้างโครงข่ายการเชื่อมโยงของสายน้ำในลักษณะกราฟเชิงเดียวแบบไม่มีทิศทาง ที่มีการเชื่อมโยงระหว่างจุดพื้นที่ 2,386 คู่ และเมื่อประมวลผลด้วยหลักการความเป็นจุดศูนย์กลาง ได้แก่ Degree Centrality, Eccentricity Centrality, Closeness Centrality, Betweeness Centrality และ Eigenvector Centrality ทำให้สามารถคัดเลือกพื้นที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย ได้ทั้งหมด 421 จุด จำแนกตามอำเภอ ได้แก่ แก่งหางแมว 41 จุด ขลุง 85 จุด เขาคิชฌกูฏ 55 จุด ท่าใหม่ 59 จุด นายายอาม 28 จุด โป่งน้ำร้อน 12 จุด มะขาม 13 จุด เมืองจันทบุรี 123 จุด สอยดาว 1 จุด และแหลมสิงห์ 4 จุด ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในจังหวัดจันทบุรี เพื่อประกอบการวางแผนรับมือกับปัญหาน้ำท่วมรอการระบายต่อไปได้ และเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้ 1. การแก้ปัญหาน้ำท่วมรอการระบาย จำเป็นที่จะต้องพิจารณาประเด็นอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ความกว้างของสายน้ำ ความลึกของสายน้ำ ทิศทางการไหลของสายน้ำ ระดับของน้ำทะเลหนุน และความชันของพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นปัจจัยร่วมที่ช่วยเสริมศักยภาพในการแก้ปัญหาน้ำท่วมรอการระบายได้หากมีสถานการณ์ฝนตกหนัก และ 2. ในการแก้ปัญหาน้ำท่วมรอการระบายนั้น อาจจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงการกักเก็บน้ำเพิ่มเติมเพื่อรองรับการเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคตด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับความอนุเคราะห์เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี และการให้คำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันฑา สดสี คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ปรึกษาโครงการ

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ. ปัญหาน้ำท่วม. 2550. สืบค้นจาก http://oknation.nationtv.tv/blog/non-gear/2007/09/21/entry-1, เข้าดูเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2560.
2. กรมอุตุนิยมวิทยา.อุทกภัย (Flood). สืบค้นจาก https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=70, เข้าดูเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2560.

3. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. การพัฒนาแหล่งน้ำ สาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำท่วม. เล่มที่ 12 เรื่องที่ 8. สืบค้นจาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=12&chap=8&page=t12-8-infodetail13.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2560.
4. สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 9. โครงการบรรเทาอุทกภัยเมืองจันทบุรี (แผนระยะที่2) จังหวัดจันทบุรี. 2559. สืบค้นจาก http://kromchol.rid.go.th/lproject/lsp09/2014/index.php/progress-report-2/55-flood-chan. เข้าดูเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน 2560.
5. ศิริเรือง พัฒน์ช่วย, ณัฐชุดา มงคลชาติ. การศึกษาการใช้ทฤษฎีกราฟจำลองเครือข่ายโครงการสหกิจศึกษา. ใน: เอกสารการประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยหาดใหญ่. สงขลา; 2557. หน้า 641-50.
6. นิฟาตมะห์ มะกาเจ, อาทิตย์ อินทรสิทธิ์. ทฤษฎีกราฟเบื้องต้นและการประยุกต์. วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2558;25(3): 505-16.
7. ธนพล พุกเส็ง, สุนันฑา สดสี. การคำนวณค่าความไว้วางใจในเครือข่ายสังคมสำหรับระบบแนะนำ. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7. ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ; 2558. หน้า 363-8.
8. รุจเรขา วิทยาวุฒิกุล, น้ำทิพย์ วิภาวิน. การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมกับงานวิจัยทางสารสนเทศศาสตร์. บรรณสาร มศว. 2555;5(2): 126-40.
9. ชนนิกานต์ รอดมรณ์, มธุรส ผ่านเมือง. การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมโดยทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษาคณาจารย์คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี. ใน: เอกสารงานประชุมวิชาการ NCCIT2014. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ; 2557. หน้า 731-6.
10. Mohammed J. Zaki, Wagner Meira. Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms. UK: Cambridge University Press; 2014.
11. Mrutyunjaya P., Satchidananda D., Gi-Nam W. Social Networking: Mining, Visualization, and Security. Switzerland: Springer International Publishing; 2014.
12. ลิขิต น้อยจ่ายสิน. การประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในจังหวัดสระแก้ว. วิทยาศาสตร์บูรพา. 2559;21(1): 51-63.
13. พรชัย เอกศิริพงษ์, สุเพชร จิรขจรกุล. การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่. Thai Journal of Science and Technology. 2557;3(3): 148-59.
14. จุฑาศินี ธัญปราณีตกุล, รัชพล สัมพุทธานนท์, พรชัย ตระกูลวรานนท์. การประยุกต์ใช้โปรแกรมกูเกิลเอิร์ทเพื่อการเฝ้าระวังภัยพิบัติ: กรณีตัวอย่างน้ำท่วมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2554. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558;23(3): 396-417.
15. นรเทพ ศักดิ์เพชร. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการเตือนภัยพิบัติน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. 2559;11(2): 102-16.
16. สุภาพร เกิดกิจ, ลวัณกร สร้อยมาต, สุนันฑา สดสี., การวิเคราะห์การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษาวิทยาลัยพณิชยการธนบุรี. ใน; เอกสารงานประชุมวิชาการ NCCIT2014. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ; 2557, หน้า 725-30.
17. พรคิด อั้นขาว. รายงานการวิจัย การวิเคราะห์เครือข่ายการท่องเที่ยวของกลุ่มจังหวัดภาคกลางในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2559.
18. ธนพล พุกเส็ง, สุนันฑา สีสด. การวิเคราะห์โครงข่ายเส้นทางสถานที่ท่องเที่ยวด้วยทฤษฎีกราฟ: กรณีศึกษาการจัดตั้งจุดประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวในเขตจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี. 2557; 53-64.
19. พฤฒิพงศ์ เพ็งศิริ, สุริยะ พินิจการ, สุนันฑา สดสี. การวิเคราะห์การระบายน้ำโดยใช้ทฤษฎีกราฟ กรณีศึกษาเขตพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ; 2557. หน้า 310-4.
20. พฤฒิพงศ์ เพ็งศิริ, สุนันฑา สดสี, พยุง มีสัจ. การวิเคราะห์โครงข่ายประตูระบายน้ำด้วยความเป็นศูนย์กลางระหว่างความสัมพันธ์ร่วมกับกระแสการไหลสูงสุด. วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. 2559 ; 6(1): 25-33.

21. จรัล บรรยงคเสนา. จ.จันทบุรี ลงพื้นที่สำรวจและขุดขยายช่องทางระบายน้ำ ในจุดน้ำท่วมซ้ำซาก. สำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัดจันทบุรี. 2562. สืบค้นจาก http:///thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG190920145006793, เข้าดูเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562.
22. สยามรัฐออนไลน์. จันทบุรีสถานการณ์น้ำป่าไหลหลากท่วมเส้นทาง และบ้านเรือนของชาวบ้านใน 3 ตำบล เริ่มคลี่คลาย หลังฝนหยุดตก. 2562. สืบค้นจาก https://siamrath.co.th/n/103225, เข้าดูเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562.

ความเป็นไปได้สำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Possible Earthquake Prediction In Thailand with Artificial Neural Network models

พรรณปพร บุญแปง[1,2,*], ทวี ชัยพิมลผลิน[3]
Phanpaporn Boonpaeng[1,2,*], Tawee Chaipimonplin[3]

Received: 17 November 2019 ; Revised: 1 April 2020 ; Accepted: 1 May 2020

บทคัดย่อ

ประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการคาดการณ์แผ่นดินไหวด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาก่อน แต่เมื่อสืบค้นและรวบรวมสิ่งตีพิมพ์ต่างๆ จากฐานข้อมูลนานาชาติ พบว่ามีงานวิจัยในต่างประเทศได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายฯสำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหว ดังนั้นบทความนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยโดยมีขอบเขตของการศึกษา 3 ประเด็น คือ รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทย ศึกษาหาตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวจากการทบทวนวรรณกรรม และศึกษาการออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายฯที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า (1) รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทยมีสาเหตุหลักจากการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนมีพลัง รวมถึงมีขนาดความรุนแรง และอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยประเทศต่างๆ ที่ได้คาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัยโครงข่ายฯ (2) ตัวแปรที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ Gutenberg-Richter ถือเป็นตัวแปรนำเข้าแบบจำลองที่มีการศึกษามากที่สุด โดยตัวแปรการคาดการณ์ที่นิยมศึกษามากที่สุด คือ การคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหว และ (3) การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองนิยมใช้โครงข่ายแบบ Feed Forward Neural Network ที่มีการเรียนรู้แบบ Back Propagation โดยจำนวนชั้นซ่อนเร้นที่ทำให้ผลลัพธ์การคาดการณ์แผ่นดินไหวมีความแม่นยำมากที่สุด คือ จำนวน 2 ชั้น สำหรับจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นพบว่าขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองโครงข่ายฯ

คำสำคัญ: แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม การคาดการณ์แผ่นดินไหว

Abstract

Earthquake prediction with artificial neural network model (ANN) has never been studied in Thailand before. However, after searching research article from an international database, it has been found that there is a possibility of using the ANN model to predict earthquake in other countries. Therefore, this article reports on the possibility of predicting earthquakes with ANN in Thailand and collects earthquake data. The scope of this study includes three additional points; (1) The earthquake pattern in Thailand is mainly caused by the movement of active faults, also the magnitude of the earthquake and the increasing trend of earthquake rate, had a similar pattern of the occurrence in other countries when analyzing earthquake prediction with the artificial neural network model. (2) The input variables were obtained from the Gutenberg-Richter equation, which is the most input variables to be considered. The most popular output variable for earthquake prediction is the earthquake's magnitude. (3) The architectural structure design of the model mainly used Feed Forward Neural Network with Back Propagation learning. The number of hidden nodes with good performance is the ANN model with two hidden layers, also the number of hidden nodes depends on the input variables of ANN.

Keywords: Artificial Neural Network Model, Earthquake Prediction

---

[1] นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200, ประเทศไทย
[2] นักศึกษาปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200, ประเทศไทย
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200, ประเทศไทย
[1] Master degree student, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, 50200, Thailand
[2] Master degree student, Graduate School, Chiang Mai University, 50200, Thailand
[3] Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, 50200, Thailand
* Corresponding author: phanpaporn.b@gmail.com, Tel: 091-1435426

บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการเคลื่อนตัวโดยฉับพลันของแผ่นเปลือกโลก เนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนจากแกนโลก และมีการลอยตัวดันเปลือกโลกตลอดเวลาของชั้นหินหลอมละลาย เพื่อลดความเครียดสะสมภายใน ส่งผลให้เปลือกโลกเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ซึ่งถึงแม้จะเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารบ้านเรือน รวมทั้งสร้างความสูญเสียต่อชีวิต และทรัพย์สิน ดังนั้นการเตรียมการก่อนเกิดแผ่นดินไหวจึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดความเสียหาย และผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การศึกษาการคาดการณ์เหตุการณ์แผ่นดินไหว ถือเป็นประเด็นที่ท้าทายต่อนักวิจัย เนื่องจากมีปัจจัย และกระบวนการเกิดที่ซับซ้อน จึงได้มีการพยายามศึกษา และวิเคราะห์เหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินไหว เช่น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินความ[1] ผิดปกติของแม่เหล็กไฟฟ้า[2] ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ[3] ความผิดปกติในการก่อตัวของเมฆ[4] ความผิดปกติของปริมาณก๊าซเรดอน[5] ความผิดปกติของพฤติกรรมสัตว์[6] เป็นต้น รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในอดีตจากเครื่องมือตรวจวัด เช่น การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง[7] แต่เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่บ่งบอกถึงศักยภาพในการเกิดแผ่นดินไหวมีความซับซ้อน และมีความสัมพันธ์การเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้การศึกษาสัญญาณเตือน (Precursor) ก่อนเกิดแผ่นดินไหว รวมถึงการศึกษาทางคณิตศาสตร์และสถิติ ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุและกลไกที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้[8] จึงมีการเสนอวิธีการศึกษาโดยอาศัยเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI)[9] เนื่องจากมีหลักการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ เช่น การตัดสินใจ การแก้ปัญหา การเรียนรู้ เป็นต้น โดย AI แบ่งได้เป็น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy System) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) ซึ่ง ANN ถือเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ประเภทหนึ่งที่มีการเรียนรู้แบบแพทเทิร์น (pattern) สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ ผ่านประสบการณ์ที่ได้รับจากข้อผิดพลาดของผลลัพธ์ อีกทั้งยังสามารถอนุมานรูปแบบและตรวจสอบแนวโน้มการเกิดที่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้[10] จึงเป็นวิธีการศึกษาที่เป็นไปได้สำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหว ส่งผลให้การศึกษาโดยอาศัยเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการนำกระบวนการเรียนรู้ประเภทต่างๆ มาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคาดการณ์แผ่นดินไหว เช่น ประเทศชิลีได้เปรียบเทียบการคาดการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละเมือง โดยใช้ ANN,K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machines (SVM) และ K-means พบว่า ANN มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องในการคาดการณ์แผ่นดินไหวในเมืองตัลกา, ปิชิเลมู, ซานเตียโก และ บัลปาราอิโซเป็น 49.86%, 78.6%, 65.7% และ 74.7% ตามลำดับ[11] เช่นเดียวกับประเทศญี่ปุ่นได้ศึกษาเปรียบเทียบการคาดการณ์ ANN, KNN, SVM, Naïve Bayes (NB) และ Decision trees พบว่า ANN ให้ผลลัพธ์ในการคาดการณ์ดีที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องมากกว่า 70%[12] จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ANN มีความแม่นยำในการคาดการณ์มากกว่ากระบวนการเรียนรู้อื่นๆ ซึ่งถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่สามารถเข้าใจถึงกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวที่มีกลไกและสาเหตุการเกิดที่ซับซ้อน ดังนั้นบทความนี้จึงได้รวบรวมข้อมูล และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์แผ่นดินไหวด้วย ANN เพื่อหาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย และเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบแบบจำลองสำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหว โดยไม่ได้เน้นระเบียบวิธีวิจัย และขั้นตอนในการศึกษา

จากการรวบรวมและค้นคว้าการศึกษาการคาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัย ANN จากฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย และฐานข้อมูลนานาชาติ (Sciencedirect และ Scopus) โดยใช้คำสืบค้น “Artificial Neural Network” และ “Earthquake” ซึ่งสืบค้นได้จากชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และคำสำคัญ พบว่าจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ ANN ในการคาดการณ์แผ่นดินไหว จำนวน 38 บทความ สามารถแบ่งพื้นที่ศึกษาได้ 13 ประเทศ โดยประเทศอินเดียมากที่สุด คือ จำนวน 6 บทความ อันดับรองลงมาคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 5 บทความ ประเทศอิหร่าน และจีน จำนวน 4 บทความ ประเทศตุรกี ปากีสถาน ชิลี จำนวน 3 บทความ ส่วนประเทศกรีซ อังกฤษ แคนาดา ฮังการี อิตาลี ญี่ปุ่น พบเพียง 1 บทความ และเป็นบทความทบทวนวรรณกรรม จำนวน 3 บทความ

ประเภทการคาดการณ์แผ่นดินไหว

โดยทั่วไปเป้าหมายหลักในการคาดการณ์แผ่นดินไหว แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ เวลา (จะเกิดแผ่นดินไหวเมื่อเวลาใด) สถานที่ (ตำแหน่งพิกัดที่คาดว่าจะเกิดแผ่นดินไหว) และขนาดแผ่นดินไหว (ขนาดความรุนแรงของระดับแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้น) ดังนั้นการคาดการณ์แผ่นดินไหวจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลสัญญาณผิดปกติก่อนเกิดแผ่นดินไหว รวมถึงข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในอดีต ซึ่งในปัจจุบันสามารถแบ่งวิธีการคาดการณ์แผ่นดินไหวได้เป็น 3 ประเภท[13] ดังนี้

การศึกษาสัญญาณเตือนก่อน เกิดแผ่นดินไหว

เป็นการคาดการณ์เหตุการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัยการสังเกต และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง

ทางธรณีฟิสิกส์ทางกายภาพ เนื่องจากช่วงเวลาก่อนเกิดแผ่นดินไหว มักมีรายงานการเกิดปรากฏการณ์ รวมถึงความผิดปกติต่างๆ เช่น ความผิดปกติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศจีน ได้มีการออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวให้มีโปรแกรมเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผลซึ่งเป็นส่วนสำคัญ รวมถึงมีการใช้เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามุมอะซิมุทบริเวณจุดศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กมีความผิดปกติในช่วงเวลาไม่กี่นาทีจนถึงหลายวันก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5 แมกนิจูดขึ้นไป[8] และการศึกษาการรบกวนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งถือเป็นชั้นบรรยากาศของโลกที่ไอออนและอิเล็กตรอนอิสระมีความเข้มข้นสูง โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณ VLF (Very Low Frequency) พบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะลดลงในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงช่วงความกว้างของคลื่น และความยาวของทางเดินแสง ดังนั้นความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ถือเป็นสัญญาณผิดปกติก่อนเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ และเป็นแผ่นดินไหวระดับตื้น (มีจุดกำเนิดอยู่ลึกไม่เกิน 70 กิโลเมตร)[3] และการศึกษาความผิดปกติของเมฆในประเทศอิตาลี จากการสังเกตการก่อตัวของเมฆในระยะเวลา 4 ปี รวมถึงวิเคราะห์จากภาพดาวเทียมทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของเมฆ โดยความผิดปกติของเมฆมักแสดงรูปแบบเชิงเส้น และไม่เคลื่อนที่ไปตามลมเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยคาดการณ์แผ่นดินไหวขนาด 5.5-6.0 แมกนิจูด ผลการศึกษาพบว่าไม่สามารถคาดการณ์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวได้ เนื่องจากพื้นที่ความผิดปกติของเมฆมีขนาดใหญ่ (200 กิโลเมตร) จึงจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ ข้อมูลน้ำใต้ดิน และก๊าซเรดอน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์[4]

นอกจากนี้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรดอนในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของประเทศปากีสถาน พบแผ่นดินไหว 5 เหตุการณ์ในพื้นที่ศึกษา โดยมีเพียง 2 เหตุการณ์ (ขนาด 5.5 แมกนิจูด) ที่มีความสัมพันธ์กับผลกระทบของการแปรสัณฐานของก๊าซเรดอน โดยความแปรปรวนเกิดขึ้นในช่วงสองเดือนสุดท้ายของการศึกษา จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าก๊าซเรดอนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความดันอากาศ ในขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิ[5] และการศึกษาพฤติกรรมสัตว์ในประเทศญี่ปุ่น ได้สำรวจพฤติกรรมสัตว์ก่อนแผ่นดินไหวขนาด 9.0 แมกนิจูด ในปี ค.ศ. 2011 จากแบบสอบถาม พบว่าไม่กี่ชั่วโมงก่อนเกิดแผ่นดินไหวสัตว์เลี้ยงมีพฤติกรรมผิดปกติ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวสัตว์จะแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติชัดเจนมากขึ้น เช่นเดียวกับการสำรวจบริเวณโรงรีดนมวัวซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว 340 กิโลเมตร พบว่าผลผลิตนมวัวลดลงประมาณหนึ่งสัปดาห์ก่อนเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีส่งผลให้สัตว์เกิดความเครียดหรือมีอาการกลัวเกิดขึ้น แล้วจึงแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติออกมา[6]

การศึกษาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติ

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกจากสถานีตรวจวัดในช่วงเวลา 20 ปี ของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ แคลิฟอร์เนีย อเมริกากลาง สหรัฐอเมริกา ฮาวาย ตุรกี และญี่ปุ่น ประกอบด้วยข้อมูลละติจูด ลองจิจูด และขนาดแผ่นดินไหว โดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง (Poisson distribution) และแบบจำลองการเชื่อมโยงเชิงพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหว พบว่าในแคลิฟอร์เนียผลการคาดการณ์ห่างจากตำแหน่งแผ่นดินไหวจริง 60 กิโลเมตร ในอเมริกากลางห่างจากแผ่นดินไหวจริง 100 กิโลเมตร ส่วนการคาดการณ์แผ่นดินไหวในญี่ปุ่น และตุรกีอยู่ห่างจากแผ่นดินไหวจริง 20 และ 6 กิโลเมตร ตามลำดับ[7]

นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาวิธีการ PI (Pattern Informatics) เพื่อลดข้อผิดพลาดการคาดการณ์ตำแหน่งของแผ่นดินไหวที่มีขนาด ≥ 5 แมกนิจูด ในช่วงปี ค.ศ.2000-2009 บริเวณตอนกลางของประเทศญี่ปุ่น โดยกำหนดให้ค่า IP สูงบริเวณตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการเกิดแผ่นดินไหว และลดค่า PI ในบริเวณที่ไม่สอดคล้องในการเกิดแผ่นดินไหว จากการทดสอบค่าสถิติ 3 วิธี ได้แก่ แผนภาพ Molchan แผนภาพ ROC และ log-likelihood พบว่ามีผลการคาดการณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น[14]

การศึกษาโดยอาศัยเทคนิคทาง ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI)

1. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ศึกษา Particle Swarm Optimization (PSO) ร่วมกับ Back Propagation (BP) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ขนาดของแผ่นดินไหว โดยใช้ตัวแปรนำเข้า (Input) ได้แก่ ความถี่การเกิดแผ่นดินไหว, รอยแยก, การปล่อยพลังงาน, ค่า b ตัวบ่งชี้เพื่อวัดระดับกิจกรรมแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่กำหนด, การสั่นสะเทือน, ค่า η ตัวบ่งชี้เพื่อตัดสินค่าความเบี่ยงเบนของตัวเลขจริงและสมการ Gutenberg- Richter (G-R) และชั้นผลลัพธ์ (Output) คือ ขนาดของแผ่นดินไหว ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคาดการณ์ และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์พบว่า PSO ที่ได้ปรับให้เหมาะสมนั้นสามารถเพิ่มความเร็วในการฝึก ซึ่งมีการฝึกซ้ำประมาณ 51 รอบ ในขณะที่ BPNN ทำงานได้ช้ากว่า ต้องมีการฝึกซ้ำประมาณ 120 รอบ จนกว่าจะถึงค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error, MSE)[15]

การศึกษา Artificial Bee Colony (ABC) algorithm เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมการจับเหยื่อที่ชาญฉลาดของฝูงผึ้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ของ Multilayer Perceptron (MLP) ที่มีการเรียนรู้แบบ BP ซึ่งปัญหาสำคัญของ BP คือ การปรับค่าน้ำหนัก (Weight) และ อคติแอบแฝง (Bias) เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ถูกต้องตามที่เรียนรู้นั้นไม่เหมาะสม ดังนั้นค่าน้ำหนักของอัลกอริทึมที่เหมาะสมควรเพิ่มความเร็วและช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการคาดการณ์ ผลการคาดการณ์แสดงให้เห็นว่า MLP ที่ได้เรียนรู้โดยอัลกอริทึม ABC มีความแม่นยำกว่าการใช้ BP[16]

และการศึกษาโดยใช้ Ant-colony clustering algorithm เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างขนาดแผ่นดินไหวในอนาคต เวลาที่เกิด และความผิดปกติต่างๆ ก่อนเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากมีฟังก์ชันในการจัดกลุ่มข้อมูล หรือลดมิติข้อมูล เพื่อหาลักษณะเด่นของข้อมูล โดยนำมาใช้ร่วมกับ k-means clustering algorithm พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์แผ่นดินไหวมากขึ้น[17]

2. ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy System) หรือระบบฟัซซี่ (Fuzzy System) หรือฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่การเกิดแผ่นดินไหวทางอิหร่านตอนใต้ โดยจำแนกข้อมูลด้วยโครงข่าย Radial Basis Function (RBF) และ ใช้ระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่เป็นเชิงเส้น จากการการคำนวณตัวแปรของการเกิดคลื่นไหวสะเทือนเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหว สำหรับขั้นตอนการเตรียมข้อมูลได้ใช้วิธี Normalization และ Principal Components Analysis (PCA) เพื่อช่วยวิเคราะห์หาความซ้ำซ้อนของข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโครงข่าย RBF และระบบ ANFIS เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์ตำแหน่ง และเวลาการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต ซึ่งถึงแม้ว่าความแม่นยำของทั้ง 2 เครื่องมือจะมีความถูกต้องในการคาดการณ์ใกล้เคียงกัน แต่โครงข่าย RBF มีประสิทธิภาพในการ คาดการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ.2008 ได้ดีกว่าระบบ ANFIS[18]

3. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

รูปแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของ ANN ในการคาดการณ์แผ่นดินไหว พบว่ามีการกำหนดวิธีการของโครงข่ายฯดังนี้ การใช้ตัวแปรนำเข้าเพื่อคาดเดาผลลัพธ์ (prediction) เช่น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรดอนและการเกิดขนาดแผ่นดินไหวบริเวณทางตะวันตกของทวีปเอเชียของ ANN โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt (LM) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ และค่าผลลัพธ์จริงประมาณ 2.3 % และจากการป้อนจำนวนข้อมูลให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ของแบบจำลองสำหรับการเรียนรู้และทดสอบ พบว่าช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง[19] และการใช้ Recurrent Neural Network (RNN) คาดการณ์เวลา และตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (≥ 6.0 แมกนิจูด) ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) และเวลาการเกิดแผ่นดินไหว โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ให้เป็นพื้นที่ย่อยๆ และแบ่งช่วงเวลาของข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งแต่ละช่วงเวลาที่ถูกแบ่งนั้น ได้กำหนดให้เป็นเวลาระหว่างเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าRNN มีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนวันสำหรับคาดการณ์เป็น 15 วัน[20] สำหรับการใช้ค่าตัวแปรนำเข้าเพื่อกำหนดการจัดหมวดหมู่ (Classification) ได้แก่ การศึกษาบริเวณซานฟรานซิสโก ในรัฐแคลิฟอร์เนียมีการคาดการณ์โดย Probabilistic Neural Network (PNN) โดยแบ่งแผ่นดินไหวขนาด 4.0-6.0 แมกนิจูด เป็น 7 ชั้น และได้กำหนดข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ตัวแปรที่พิจารณาจากความสัมพันธ์ G-R ละติจูด ลองจิจูดของศูนย์กลางแผ่นดินไหว และเวลาที่เกิดขึ้นของแผ่นดินไหว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสองในสี่ของพื้นที่ทั้งหมดสามารถคาดการณ์ได้ถูกต้อง[21] รวมถึงการวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าเพื่อการจัดกลุ่ม (Data Conceptualization) ได้แก่ การคาดการณ์ความเข้มข้นและแนวโน้มการเกิดอาฟเตอร์ช็อคของแผ่นดินไหวที่เกิดในวันที่ 12 พฤษภาคม ค.ศ. 2008 ในเมืองเฉิงตู มณฑลเสฉวน จึงมีการจำกลุ่มตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง รวมถึงจดจำรูปแบบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยอาศัย Kohonen Artificial Neural Network ที่มีกระบวนการเรียนรู้ self-organizing feature map (SOFM) ช่วยในการจัดเรียงข้อมูลนำเข้า โดยจัดข้อมูลที่คล้ายกันหรือใกล้เคียงให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผลลัพธ์จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า อาฟเตอร์ช็อคจะเกิดขึ้นภายใน 2 วันถัดไปหลังจากจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก[22]

ตัวแปรข้อมูลนำเข้า และประเภทการคาดการณ์แผ่นดินไหว

การคาดการณ์แผ่นดินไหวสิ่งสำคัญในศึกษา คือ การกำหนดระยะเวลา ขนาดแผ่นดินไหว และพื้นที่ศึกษาให้ชัดเจน เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ และสามารถให้คำตอบเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นว่าการคาดการณ์ประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว[23] ดังนั้นในงานวิจัยคาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัย ANN จึงได้มีการกำหนดระยะเวลา ขนาดแผ่นดินไหว และพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าการกำหนดพื้นที่ศึกษานั้นควรพิจารณาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ซึ่งเกี่ยวข้องกับรอยเลื่อนหรือรอยแตกในหินที่แสดงการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก รวมถึงพิจารณา

พื้นที่ที่เกิดแผ่นดินไหวครั้งสำคัญ และมีความถี่ในการเกิดสูง ส่วนการพิจารณาระยะเวลา และขนาดแผ่นดินไหว พบว่าขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้วิจัย โดยจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้กำหนด ซึ่งปริมาณข้อมูลควรเพียงพอต่อการเรียนรู้และทดสอบ เช่น การศึกษาแผ่นดินไหวทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน เนื่องจากตั้งแต่ปี ค.ศ. 2013 พื้นที่บริเวณนี้มีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5.0-5.9 แมกนิจูด ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก และมีการเกิดขนาดใหญ่สุด คือ 6.3 แมกนิจูด ดังนั้นในการศึกษาจึงพิจารณาเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 5.0-5.9 แมกนิจูด ในปี ค.ศ.1970-2013[8] การศึกษาบริเวณเทือกเขาหิมาลัย พบว่าเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ มากกว่า 9.0-10 แมกนิจูด ซึ่งมักเกิดขึ้นบริเวณโซนมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก จากการรวบรวมข้อมูลปี ค.ศ. 1887-2015 มีขนาดแผ่นดินไหวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.5 แมกนิจูด ดังนั้นในการศึกษาจึงคัดเลือกแผ่นดินไหวขนาด ≥ 2.5 แมกนิจูด ในปี ค.ศ.1887-2015 (128 ปี) มีการเกิดแผ่นดินไหวจำนวน 191 เหตุการณ์[24]

การคัดเลือกตัวแปรข้อมูลนำเข้าตัวแปรนำเข้าในการคาดการณ์แผ่นดินไหว แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. พิจารณาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ประกอบด้วย เวลา (วัน เดือน ปี ชั่วโมง) ตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) ขนาดความรุนแรง (แมกนิจูด) และความลึก (กิโลเมตร)

2. พิจารณาจากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีฟิสิกส์ทางกายภาพ และเหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ ในเวลาก่อนเกิดแผ่นดินไหว ได้แก่ ก๊าซเรดอน ความดันของไอน้ำ อุณหภูมิของดิน คลื่นไหวสะเทือนเป็นต้น

3. พิจารณาจากความสัมพันธ์ Gutenberg-Richter (G-R) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาด และจำนวนครั้งในการเกิดแผ่นดินไหวโดยมีค่า Completeness Magnitude (Mc) เท่ากับ 2.5 หมายถึง สามารถหาจุดศูนย์กลางและขนาดของแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.5 แมกนิจูดเป็นต้นไป ตามสมการ

$$log_{10}(N) = a - bM \qquad (1)$$

โดย M คือความถี่สะสมของแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า Mc ส่วน a และ b เป็นค่าคงที่ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว และความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว[25] สามารถคำนวณได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดดังสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$b = \frac{(n\sum M_i \log N_i) - \sum M_i \sum \log N_i}{((\sum M_i)^2 - n\sum M_i^2)} \qquad (2)$$

$$a = \frac{\sum (\log_{10} N_i + bM_i)}{n} \qquad (3)$$

โดยที่ M_i คือ ขนาดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ i และN_i คือ จำนวนของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ ขนาด M

นอกจากมีการคำนวณตัวชี้วัดการเกิดแผ่นดินไหวที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ (G-R) สำหรับเป็นตัวแปรสำหรับนำเข้าแบบจำลอง[26] ดังนี้

1. ระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวครั้งถัดไป (T value) ที่มีขนาดแผ่นดินไหวใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$T = t_n - t_1 \qquad (4)$$

โดยที่ t_n คือ เวลาที่เกิดขึ้นของเหตุการณ์ n และ t_1 คือ เวลาในการเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ที่ 1

2. ค่าเฉลี่ยขนาดของแผ่นดินไหว n เหตุการณ์ (The Mean Magnitude) เพื่อวัดความถี่ของแผ่นดินไหวนำ ดังสมการที่ (5)

$$M_{mean} = \frac{\sum M_i}{n} \qquad (5)$$

โดยที่ M_i คือ ขนาดแผ่นดินไหว และ n คือ จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหว

3. รากที่สองของการปลดปล่อยพลังงานของคลื่นสั่นสะเทือน (The rate of square root of seismic energy released) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) ดังนี้

$$dE^{1/2} = \frac{\sum E^{1/2}}{T} \qquad (6)$$

โดยที่ $E^{1/2}$ คือ รากที่สองของการปลดปล่อยพลังงานของคลื่นสั่นสะเทือน (Energy E) ซึ่งได้จากการคำนวณของสมการที่ (7)

$$E = 10^{(11.8+1.5M)} \text{ergs} \qquad (7)$$

4. ค่าเฉลี่ยกำลังสองของการถดถอยของสมการความสัมพันธ์ G– R (η value) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$\eta = \frac{\sum (\log_{10} N_i - (a - bM_i))^2}{(n - 1)} \qquad (8)$$

โดยที่ M_i คือ ขนาดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ I และ Ni คือ จำนวนของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ ขนาด M

5. ความแตกต่างระหว่างขนาดของแผ่นดินไหวที่สังเกตได้ที่ใหญ่ที่สุดและขนาดที่คาดการณ์จากสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (9)

$$\Delta M = M_{observed} - M_{expected} \qquad (9)$$

โดยที่ $M_{observed}$ คือ ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดของของเหตุการณ์ n ล่าสุด $M_{expected}$ คือ ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดของของเหตุการณ์ n ล่าสุดจากสมการความสัมพันธ์ G-R ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$M_{expected} = a/b \qquad (10)$$

6. ระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว (μ value) ดังสมการที่ (11)

$$\mu = \frac{\sum (t_{i\ characterisic})}{n_{characterisic}} \qquad (11)$$

โดยที่ t_i คือ ระยะเวลาระหว่างเหตุการณ์ที่มีขนาด M และ $n_{characteristic}$ คือ จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดของเหตุการณ์ขนาด M

7. สัมประสิทธิ์การแปรผันของเวลาเฉลี่ยระหว่างเหตุการณ์ (c value) ดังสมการที่ (12)

$$c = \frac{\text{standard deviation of the observed}}{\mu} \qquad (12)$$

โดย μ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว คำนวณได้จากสมการ (11)

8. พลังงานคลื่นไหวสะเทือน (Energy J) คำนวณจากสมการที่ (13)

$$log_{10} J = 9 + 1.8M \qquad (13)$$

โดยที่ M คือ ขนาดของแผ่นดินไหว

สำหรับตัวแปรการคาดการณ์แผ่นดินไหว สามารถแบ่งประเภทการคาดการณ์ได้ดังนี้ (Table 1)

1. คาดการณ์ตำแหน่งแผ่นดินไหว คือ ละติจูด และลองจิจูด พบการศึกษาของพื้นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้คัดเลือกตัวแปรที่วิเคราะห์จากความสัมพันธ์ G–R ประกอบด้วย ค่า b T, M_{mean}, $dE^{1/2}$, Energy E, η, ΔM, μ, C, และ Energy J ซึ่งได้การคำนวณในสมการที่ (2) ถึง (13) สำหรับคาดการณ์ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวในเดือนถัดไป[26]

2. คาดการณ์เวลา เช่น การคาดการณ์ความถี่ในการเกิดแผ่นดินไหวของเดือนถัดไป โดยตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่ได้คัดเลือกของการศึกษาในประเทศอินเดีย คือ ลำดับเวลาของข้อมูลความถี่รายเดือน[27] และการคาดการณ์ช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวขนาด ≥ 6.0 แมกนิจูดของพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาคาร์เพเทียน และที่ราบพันโนเนีย ประเทศฮังการี ได้คัดเลือกตัวแปรนำเข้าข้อมูล คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในช่วงเวลาระหว่างเกิดแผ่นดินไหวขนาด ≥ 6.0 แมกนิจูด[28]

3. คาดการณ์ขนาด ได้มีการกำหนดช่วงเวลาการคาดการณ์ร่วมด้วย เช่น การคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในครั้งถัดไป สำหรับประเทศอินเดียตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่ใช้ประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) และช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว 2 เหตุการณ์[29] การคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวในเดือนถัดไปของประเทศจีน โดยตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่ใช้ได้วิเคราะห์จากความสัมพันธ์ G-R ประกอบด้วย ค่า b, T, M_{mean}, $dE^{1/2}$, η, ΔM, μ, C ที่ได้จากสมการที่ (2) ถึง (12) และ ขนาดสูงสุดที่บันทึกได้ในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมาของพื้นที่ศึกษา, ความน่าจะเป็นในการบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 6 แมกนิจูด[8] นอกจากนี้มีการศึกษาการคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในปีถัดไป โดยตัวแปรข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ G-R ได้แก่ ค่า b, M_{mean},Energy E, C, Energy J ซึ่งได้จากการคำนวณในสมการที่ (2), (5), (7), (12) และ (13) ตามลำดับ[24]

4. คาดการณ์ความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว เช่น การคาดการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (≥ 4 แมกนิจูด) 5 วันถัดไป ได้กำหนดตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง 7 ตัวแปร โดยตัวแปรที่ 1 ถึง 5 ได้จากการคำนวณค่า b ซึ่ง

พิจารณาจากความสัมพันธ์ G-Ri ดังสมการที่ (14) ถึง (19) ดังนี้[11]

$$b_i = \frac{\log(e)}{\left(\frac{1}{50}\right)\sum_{j=0}^{n} M_{i-j=3}} \quad (14)$$

จากนั้นคำนวณการเพิ่มขึ้นของค่า b ดังนี้

$$\Delta b_{1i} = b_i - b_{i=4} = x_1 \quad (15)$$

$$\Delta b_{2i} = b_{i-4} - b_{i-8} = x_2 \quad (16)$$

$$\Delta b_{2i} = b_{i-8} - b_{i-12} = x_3 \quad (17)$$

$$\Delta b_{2i} = b_{i-12} - b_{i-16} = x_4 \quad (18)$$

$$\Delta b_{2i} = b_{i-16} - b_{i-20} = x_5 \quad (19)$$

ตัวแปรที่ 6 เป็นการคำนวณขนาดสูงสุดที่บันทึกได้ในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมาของพื้นที่ศึกษาจากสมการดังนี้

$$x_6 = \max\{M_s\} \quad (20)$$

และตัวแปรที่ 7 คือความน่าจะเป็นในการบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 แมกนิจูด ที่ได้จากการคำนวณสมการที่ (21)

$$x_7 = \max\{M_t\} \quad (21)$$

และการศึกษาคาดการณ์ความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวในวันถัดไป ได้คัดเลือกตัวแปรข้อมูลนำเข้า 15 ตัวแปร ประกอบด้วย b, a T, M_{mean}, $dE^{1/2}$, η, ΔM, μ, C จากสมการที่ (2) ถึง(12) และ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 จากสมการที่ (14) ถึง (21)[30]

จากการกำหนดตัวแปรข้อมูลนำเข้า และตัวแปรสำหรับการคาดการณ์ พบว่าความสัมพันธ์ G-R มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ตัวแปรข้อมูลนำเข้า โดยเฉพาะค่า b ซึ่งถือเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลลัพธ์การคาดการณ์แผ่นดินไหว โดยได้มีการวิเคราะห์พฤติกรรมแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการแปรสัณฐาน รวมถึงคุณสมบัติทางธรณีฟิสิกส์ของหิน หากค่า b น้อยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณนั้นมีศักยภาพที่จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้ แต่ถ้าค่า b มาก แสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นมีกิจกรรมแผ่นดินไหวขนาดเล็กและเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ดังนั้นความแตกต่างของค่า b จึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการวิเคราะห์ตัวแปรข้อมูลนำเข้าของโครงข่ายฯ[30]

เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวน และความไม่เป็นเชิงเส้นของพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้[31, 32]

Table 1 ANN models for earthquake prediction based on structured earthquake catalogues

Ref.	Architectural Structure	Input Variables						Output Variables			
		Time	Location	Magnitude	Deep	Gutenberg-Richter	Other Evidence	Time	Location	Magnitude	Possibility
[8]	RNN						√	√		√	
[11]	FFNN						√				√
[20]	RNN					√		√	√		
[24]	FFNN		√			√				√	
[26]	FFNN,RBF,RNN					√				√	
[27]	FFNN	√					√	√			
[28]	FFNN	√						√			
[29]	FFNN	√	√				√			√	
[33]	FFNN,RNN						√			√	
[35]	FFNN					√					√
[37]	FFNN,RNN					√					√
[39]	FFNN			√			√			√	

การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม มีการใช้โครงสร้าง Feed Forward Neural Network (FFNN) ซึ่งพบจำนวน 18 บทความ ในการคาดการณ์แผ่นดินไหว เป็นโครงข่ายฯแบบป้อนไปข้างหน้า ที่ประมวลผลข้อมูลในทิศทางเดียวกัน โดยรับข้อมูลจากชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) จากนั้นสร้างค่าน้ำหนัก แล้วประมวลผลผ่านชั้นผลลัพธ์ (Output layer) และพบ 5 บทความได้คาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัยโครงสร้าง RNN เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการป้อนกลับข้อมูลไปยังโครงข่ายหลายครั้งจนกระทั่งได้คำตอบ โดยการนำผลลัพธ์ที่ได้ก่อนหน้าช่วยในการตัดสินใจคำตอบ ซึ่งมักใช้กับการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลา หรือข้อมูลที่มีการบันทึกไว้อย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลเหตุการณ์ก่อนหน้ามีการเชื่อมโยงและมีผลต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดต่อไปในอนาคต[20] เช่น ตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่วิเคราะห์ได้จากความสัมพันธ์ G-R[8, 20, 26, 30] และมีการใช้ Radial basis function neural network (RBFNN) เพื่อแก้ปัญหาการจัดประเภท (Classification) และการคาดการณ์ เนื่องจากสามารถจำแนกข้อมูลที่เป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นได้ โดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายแบบ FFNN แต่จะมีจำนวนโหนดมากกว่า โดย RBFNN จะให้ผลลัพธ์ที่ดี ขึ้นเมื่อปริมาณชุดข้อมูลเรียนรู้มีจำนวนมาก[26] จาก Table 1 แสดงการกำหนดตัวแปรนำเข้า ตัวแปรสำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหว และโครงสร้างของ ANN พบว่ามีการเลือกใช้การเรียนรู้แบบ BP มากที่สุด เนื่องจากเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอนที่สามารถประมาณความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้า และชั้นผลลัพธ์โดยพิจารณาค่าความผิดพลาดแล้วย้อนกลับมาที่ชั้นข้อมูลนำเข้า โดยทำหน้าที่ปรับค่าน้ำหนักอีกครั้งโดยดูจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละนิวรอน ซึ่งจะปรับจนกว่าค่าผิดพลาดน้อยลง หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ในครั้งถัดไปมีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้มีการใช้การเรียนรู้แบบ LM สำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายข้อดีของการเรียนรู้ประเภทนี้ คือ ใช้เวลาประมวลผลน้อย เนื่องจากลดเวลาการเรียนรู้และช่วยเพิ่มอัตราการตรวจสอบ[19, 33] และการใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) สำหรับเรียนรู้ค่าน้ำหนักของแต่ละโหนด ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับการประมวลผลข้อมูลลำดับ (sequence) ข้อมูลประเภทอนุกรมเวลา โดยช่วยแก้ปัญหาการจดจำข้อมูลระยะยาวของ RNN[34] และ Genetic algorithm เป็นเทคนิคการเรียนรู้สำหรับค้นหาผลลัพธ์ หรือหาคำตอบโดยประมาณ อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์โดยกำหนดของค่าน้ำหนัก และเกณฑ์การเชื่อมโยงของโครงข่ายให้ดีมากขึ้น[35]

การกำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น พบว่าชั้นซ่อนเร้นจำนวน 1 ชั้นมีการกำหนดมากที่สุดซึ่งพบ 18 บทความ กำหนด 2 ชั้นซ่อนเร้น จำนวน 4 บทความ และมีเพียง 1 บทความที่ได้กำหนด 3 ชั้นซ่อนเร้น

จากการศึกษา พบว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากขึ้นเมื่อกำหนดชั้นซ่อนเร้นจำนวน 2 ชั้น เช่น การเปรียบเทียบผลการคาดการณ์แผ่นดินไหวบริเวณพื้นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศอเมริกา ของแบบจำลองที่กำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 และ 2 ชั้น พบว่าแบบจำลองที่มีจำนวนชั้นซ่อนเร้น 2 ชั้น มีความแม่นยำในการคาดการณ์มากกว่าแบบ 1 ชั้น โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในการคาดการณ์ตำแหน่ง และจำนวนวันในการเกิดแผ่นดินไหวครั้งถัดไป (ขนาด ≥ 5.5แมกนิจูด) คือ 15.2 ไมล์ และ 5 วัน ตามลำดับ[20] เช่นเดียวกับผลการคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของทะเลแดง ที่ได้กำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น 2 และ 3 ชั้น พบว่ามีค่าผิดพลาดรวมเฉลี่ยน้อยที่สุด (MSE) คือ 0.115 และ 0.122 ตามลำดับ[36]

สำหรับการกำหนดจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้น พบว่าขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของข้อมูล และการกำหนดของผู้วิจัยเองเนื่องจากไม่มีคำตอบที่แน่ชัด เช่น การกำหนดจำนวนโหนดชั้นซ่อนเร้นจาก 2n+2 ซึ่งอ้างอิงจากทฤษฎี Kolmogomov และ Hecht-Nielsen[11] หรือจาก (จำนวนตัวแปรนำเข้า+จำนวนชั้นของแบบจำลอง)/2[12] ดังนั้นจึงสังเกตได้ว่าการกำหนดจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นมักขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า ซึ่งสามารถแบ่งการกำหนดได้เป็น 3 รูปแบบ คือ 1. กำหนดให้มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนข้อมูลนำเข้า เช่น การคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวบริเวณรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศอเมริกา ผลการศึกษาพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0-0.16[37] 2. กำหนดให้มีจำนวนมากกว่าจำนวนข้อมูลนำเข้า เช่น การคาดการณ์แผ่นดินไหวบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของจีน ผลการคาดการณ์พบว่ามีค่าความถูกต้องมากที่สุด 53.81%[8] การคาดการณ์แผ่นดินไหวบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.4-0.5 [27] และการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศตุรกี พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 0-6.25%[33] และ 3. กำหนดให้มีจำนวน 50% ของข้อมูลนำเข้า เช่น การคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศญี่ปุ่น ผลการคาดการณ์พบว่ามีค่าความถูกต้องมากกว่า 70%[12] และการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศอินเดีย พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.84-0.91 แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการคาดการณ์และค่าจากเหตุการณ์จริงมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง[29] ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ของแบบจำลองที่กำหนดจำนวนชั้นซ้อนเร้น 3 รูปแบบ จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่กำหนดจำนวน 50% ของข้อมูลนำเข้ามีค่าความถูกต้อง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการคาดการณ์มากที่สุด

การกำหนดตัวชี้วัดความถูกต้องสำหรับประเมินประสิทธิภาพของ ANN สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ตัวชี้วัดความถูกต้องสำหรับการคาดการณ์ขนาด เวลา และตำแหน่ง ได้แก่ การคำนวณค่าผิดพลาดรวมเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE)[36, 38] ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE)[36, 39] ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean Squared Error: RMSE)[34, 40] ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Errors)[33, 35] และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: r) เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของทิศทางของข้อมูล 2 กลุ่ม โดย r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ r^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น[27, 29]

2. ตัวชี้วัดความถูกต้องสำหรับความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ ดังนี้ Double true (DT) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ขนาด และเวลาได้ถูกต้อง, Magnitude true (MT) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหวถูกต้อง, Time true (TT) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์เวลาถูกต้อง และ Double false (DF) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ไม่ถูกต้องทั้งขนาดแผ่นดินไหว และเวลา[8] เช่นเดียวกับตัวชี้วัดความถูกต้อง ประกอบด้วยตัวแปร True positives (TP) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ถูกต้อง,True negatives (TN) คือ จำนวนครั้งที่ผลการคาดการณ์ไม่ตรงกับเหตุการณ์จริง False positives (FP) คือจำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ไม่ถูกต้อง และ False negatives (FN) คือ จำนวนครั้งที่แบบจำลองคาดการณ์ว่าไม่เกิดแผ่นดินไหว แต่เหตุการณ์จริงเกิดขึ้น [11, 12, 30, 37]

ประเทศไทยกับการคาดการณ์แผ่นดินไหว

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่มักเกิดจากจากแนวรอยเลื่อนมีพลังจำนวน14 รอยเลื่อนที่พาดผ่านในประเทศ โดยภาคเหนือพบรอยเลื่อนมีพลังมากที่สุด ได้แก่ รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่อิง รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนปัว รอยเลื่อนเมย รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนเพชรบูรณ์ และรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ ส่วนทางภาคตะวันตกของประเทศ พบ 2 รอยเลื่อน คือ รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และทางภาคใต้ พบรอยเลื่อนมีพลัง 2 รอยเลื่อน คือ รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ส่วนพื้นที่ที่ไม่มีรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่าน ได้แก่ บริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[41]

จากการรวบรวมเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง ที่ตรวจวัดจากระบบตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา ทั้งหมด 41 สถานี ในปี ค.ศ. 2007-2018 มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจำนวน 2,169 เหตุการณ์ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงขนาดแผ่นดินไหวและช่วงเวลาที่เกิดขึ้น (ปี) โดยจำแนกขนาดแผ่นดินไหวตามUSGS (U.S. Geological Survey) พบว่าแต่ละปีมีการเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็กมาก มีช่วงขนาดน้อยกว่า 3.0 แมกนิจูด จนถึงขนาดค่อนข้างใหญ่ ที่มีช่วงขนาด 6.0-6.9 แมกนิจูด (Figure 1) และพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีอยู่ในระดับ 4.0-4.9 แมกนิจูด(ขนาดค่อนข้างเล็ก) อีกทั้งมีแนวโน้มการเกิดเพิ่มขึ้นทุกปีโดยเฉพาะปี ค.ศ.2014 ที่มีการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดจำนวน 933 เหตุการณ์ และถือเป็นปีที่มีการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงที่สุด คือ 6.3 แมกนิจูด[42]

โดยหลังจากปี ค.ศ. 2014 ประเทศไทยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่า 200 เหตุการณ์ต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของโชติ เนืองนันท์ และคณะ (2561) ที่ได้ศึกษาแนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า โดยพบว่าการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 10 ปี แผ่นดินไหวในประเทศไทยมีอัตราการเกิดเพิ่มขึ้น และขนาดแผ่นดินไหวมีแนวโน้มเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4.0-4.9 แมกนิจูด[43]

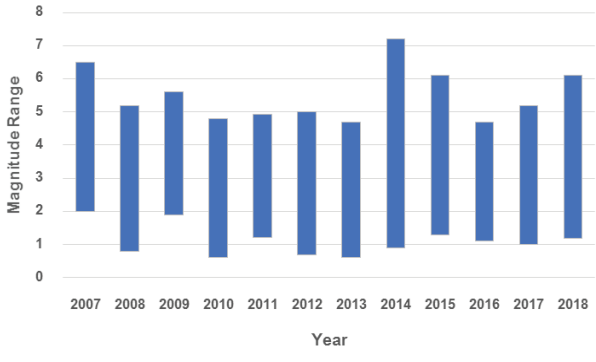


Figure 1 Earthquakes magnitude range (difference between maximum and minimum magnitude) from 2007 to 2018

สำหรับการพิจารณาบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวที่มีสาเหตุการเกิดจากแนวรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย พบว่าจังหวัดเชียงรายถือเป็นจังหวัดที่มีการเกิดแผ่นดินไหวมากที่สุดพบจำนวน 1,233 เหตุการณ์ เนื่องจากมีรอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่ทา และรอยเลื่อนพะเยาพาดผ่าน โดยเฉพาะรอยเลื่อนพะเยา ที่ประกอบด้วยรอยเลื่อนย่อย 2 ส่วน ได้แก่ รอยเลื่อนย่อยส่วนเหนือที่มักเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงขนาดปานกลางบ่อยครั้ง และรอยเลื่อนย่อยส่วนใต้ มีลักษณะเป็นผารอยเลื่อนที่มีทางน้ำสาขาต่างๆ ตัดผ่าน แสดงให้เห็นรอยกัดเซาะลงไปในแนวดิ่งที่ลึกมากจนถึงชั้นหิน และบริเวณฐานผา

รอยเลื่อนที่มีความชันมากจนเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่ายังคงมีพลังไม่หยุดนิ่ง จึงสอดคล้องกับการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5.2 แมกนิจูด ในวันที่ 11 กันยายน ค.ศ.1994 ที่มีศูนย์เกิดแผ่นดินไหวอยู่ในเขตอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และเกิดขนาด 6.3 แมกนิจูด ในวันที่ 5 พฤษภาคม ค.ศ. 2014[44]

จากการค้นคว้าและสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์แผ่นดินไหวประเทศไทย พบการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยจากแนวคิดความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นการศึกษาการเปลี่ยนรูปแบบไหวสะเทือน[45] ผลการศึกษาพบว่ายากต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวมีความซับซ้อนมาก และข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ของพื้นที่ศึกษาน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย สำหรับจัดทำแผนที่รอยเลื่อนเพื่อเฝ้าระวังในระยะยาวของการคาดการณ์แผ่นดินไหวล่วงหน้าในประเทศไทย ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนพบว่าสามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านพื้นที่ได้ โดยตำแหน่งของรอยเลื่อนให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มากว่าค่าปกติเฉลี่ยในพื้นที่ประมาณ 2 ถึง 6 เท่า ถึงแม้ว่าการศึกษาสามารถให้รายละเอียดความไม่ต่อเนื่องทางธรณี แต่วิธีการวัดก๊าซเรดอนยังมีข้อจำกัด คือ สภาวะทางภูมิอากาศ (อุณหภูมิ และความชื้น) ซึ่งมีผลต่อการสำรวจหรือค่านับวัดของก๊าซเรดอน[46] จากปัญหาความแปรปรวน และความยุ่งยากในการศึกษารูปแบบกลไกการเกิดของแผ่นดินไหวดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยโดยอาศัย ANN ดังที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

แนวทางการคาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมในประเทศไทย

1. จากการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมทรัพยากรธรณี พบว่า ฐานข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย จากสถานีตรวจวัดของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยาได้มีการปรับปรุงและพัฒนาระบบเครือข่ายตรวจแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลให้มีมาตรฐานเพิ่มขึ้น และมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดบริเวณชุมชนเป็นหลัก จำนวน 41 สถานี ซึ่งคลอบคลุมรอยเลื่อนทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทย ทำให้สามารถรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นรายวัน และค่าความเร่งของพื้นดินที่มีผลกระทบต่อชุมชน อีกทั้งสามารถตรวจวัดและบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดเล็กๆ ที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทยได้ ซึ่งแตกต่างจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวอื่นๆ ที่สามารถตรวจวัดและบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดกลางและขนาดใหญ่ (มากกว่า 4 แมกนิจูด) บริเวณเขื่อน[47] ดังนั้นฐานข้อมูลจากสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยาที่สามารถบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดเล็กได้ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาวิจัยทางด้านแผ่นดินไหวเพื่อใช้อธิบายเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น เช่นแผ่นดินไหวนำ (Foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (Main shock) และแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) รวมถึงใช้สำหรับเป็นตัวแปรข้อมูลนำเข้าของ ANN

2. ในการกำหนดพื้นที่ศึกษาสำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงของสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงปี ค.ศ. 2007-2018 จำนวน 2,169 เหตุการณ์ โดยพบเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 3.0 แมกนิจูด 1,587 ครั้ง ขนาด 3.0-3.9 แมกนิจูด 487 ครั้ง ขนาด 4.0-4.9 แมกนิจูด 78 ครั้ง ขนาด 5.0-5.9 แมกนิจูด 16 ครั้ง และ ขนาดมากกว่า 6.0 ขึ้นไป 1 ครั้ง[42] ซึ่งถือว่าข้อมูลมีความพร้อม และมีปริมาณเพียงพอต่อการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลอง เนื่องจากมีการบันทึกขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ขนาดเล็กมาก ทำให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง

นอกจากนี้พบว่าการแบ่งพื้นที่ศึกษาให้มีขนาดเล็กลงจะช่วยลดสิ่งรบกวน และลดปัจจัยที่มีอิทธิพลการเกิดแผ่นดินไหว เช่น ปัจจัยด้านธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น[8] โดยเฉพาะบริเวณที่มีรอยเลื่อนพาดผ่าน ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเป็นพื้นที่ศึกษา ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ การกำหนดพื้นที่ศึกษาบริเวณรอยเลื่อนพะเยา จึงถือเป็นพื้นที่เหมาะสมในการศึกษาเช่นเดียวกันเนื่องจากมีอัตราการเกิดสูง โดยพบว่ามีการเกิดแผ่นดินไหวในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2018 จำนวน 1,295 เหตุการณ์ ประกอบด้วย เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 3.0 แมกนิจูด 981 ครั้ง ขนาด 3.0-3.9 แมกนิจูด 256 ครั้ง ขนาด 4.0-4.9 แมกนิจูด 49 ครั้ง ขนาด 5.0-5.9 แมกนิจูด 8 ครั้ง และ ขนาดมากกว่า 6.0 ขึ้นไป 1 ครั้ง[42] ดังนั้นการแบ่งพื้นที่ศึกษาสำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหวเป็นขนาดเล็กจึงถือเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มความเป็นไปได้ในการคาดการณ์แผ่นดินไหว และเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ของแบบจำลอง

3. การกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรสำหรับการคาดการณ์ พบว่าการคาดการณ์แผ่นดินไหวที่มีการศึกษามากที่สุด คือ การคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหว รองลงมาคือ ความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ส่วนการคาดการณ์ตำแหน่งและเวลา มีการศึกษาน้อยที่สุด เนื่องจากแผ่นดินไหวมีปัจจัย

ต่างๆ ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น มีกลไกการเกิดที่ไม่แน่นอน ทำให้ยากต่อการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตำแหน่ง และเวลาการเกิดแผ่นดินไหว

สำหรับตัวแปรข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง นอกจากการพิจารณาคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อการเรียนรู้และทดสอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับการคัดเลือกช่วงปีและขนาดแผ่นดินไหวของผู้วิจัยแล้ว การกำหนดตัวแปรนำเข้าแบบจำลองยังเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) เวลา (วัน เดือน ปี) ขนาดแผ่นดินไหว ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว โดยจากการศึกษาพบว่าตัวแปรนำเข้าจากสมการความสัมพันธ์ G-R ถือเป็นตัวแปรที่เหมาะสมในการนำเข้าแบบจำลองมากที่สุดเนื่องจากสามารถวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่ซับซ้อนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดตัวแปรข้อมูลนำเข้าแบบจำลองนั้น จะคำนวณจากค่าสถิติของข้อมูลสถานีตรวจวัด ซึ่งตัวแปรที่ได้เหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้การเกิดแผ่นดินไหว และประเมินการเกิดแผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษา

4. การออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมพบว่ามีการใช้โครงสร้าง FFNN มากที่สุดเนื่องจากมีรูปแบบโครงสร้างที่ง่าย และไม่ซับซ้อน โดยการเรียนรู้ที่ใช้ ได้แก่ BP, LM และ LSTM โดยพบว่า BP เป็นการเรียนรู้ที่มีการใช้สำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหวมากที่สุดเนื่องจากสามารถประมาณความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น และพิจารณาค่าความผิดพลาดย้อนกลับ จนได้ผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ และความถูกต้องมากขึ้น

สำหรับการกำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น มักขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า และความซับซ้อนของงานวิจัย โดยยิ่งมีจำนวนโหนดมาก แบบจำลองจะมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยพบว่าการกำหนดชั้นซ่อนเร้นจำนวน 2 ชั้น มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากขึ้น ส่วนการกำหนดจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นพบว่ายังไม่มีคำตอบที่ตายตัวที่แน่ชัด ดังนั้น “การลองผิดลองถูก” ถือเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดจำนวนชั้น และจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้น[48] ซึ่งหากมีจำนวนมากเกินไปทำให้ใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้นาน แต่หากมีจำนวนน้อยเกินไปส่งผลให้ผลการเรียนรู้ของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนและไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบจำนวนชั้น และการสุ่มจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสม เป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำการคาดการณ์การณ์

การคัดเลือกตัวชี้วัดความถูกต้องของคาดการณ์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการคาดการณ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทขึ้นอยู่กับตัวแปรสำหรับคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย คือ ตัวชี้วัดความถูกต้องที่ใช้สำหรับการคาดการณ์ขนาด เวลา และตำแหน่ง ได้แก่ MSE RMSE และr ส่วนตัวชี้วัดความถูกต้องของความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ประกอบด้วยตัวแปรที่บอกถึงจำนวนครั้งที่แบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้ถูกต้อง และไม่ถูกต้อง

สรุปผลการศึกษา

จากการรวบรวมและวิเคราะห์การศึกษาการคาดการณ์แผ่นดินไหวโดยอาศัย ANN มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการศึกษาของประเทศไทย สามารถสรุปได้ 3 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 พบว่าลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวของงานวิจัยที่รวบรวมได้นั้น มีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเกี่ยวข้องกับแนวรอยเลื่อนหรือรอยแตกในหิน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแผ่นดินไหวที่มีความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่ และเวลาการเกิด อีกทั้งมีแนวโน้มในการเกิดแผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น โดยการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาของแต่ละงานวิจัยพบว่าได้พิจารณาพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงที่สุดที่เคยเกิดขึ้น อีกทั้งมีการเกิดแผ่นดินไหวอย่างต่อเนื่องและอัตราการเกิดแผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ส่วนลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทยส่วนใหญ่ พบว่าแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทยมักเกิดจากแนวรอยเลื่อนที่มีพลัง จากข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2007-2018 แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้นทุกปี หลังจากเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ขนาด 6.3 แมกนิจูด แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเกิดแผ่นดินไหว ขนาดแผ่นดินไหว รวมถึงอัตราการเกิดที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นนั้น มีรูปแบบข้อมูลใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา จึงมีความเป็นไปได้ในการศึกษาการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย

ประเด็นที่ 2 การพิจารณาตัวแปรข้อมูลนำเข้าของ ANN ปัจจัยที่สำคัญ คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้สำหรับคาดการณ์จำเป็นต้องมีปริมาณข้อมูลที่เพียงพอต่อการเรียนรู้และทดสอบ โดยตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่เป็นไปได้สำหรับการคาดการณ์แผ่นดินไหวประเทศไทย คือ ตัวแปรที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ G-R เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมแผ่นดินไหว และสะท้อนให้เห็นถึงการแปรสัณฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว และจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นได้ โดยการคาดการณ์ขนาดแผ่นดินไหว และความน่าจะเป็นในการเกิด มีความเป็นไปได้ในการศึกษามากกว่าการคาดการณ์ตำแหน่งและเวลา

ประเด็นที่ 3 การออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม พบว่าโครงสร้าง FFNN ที่มีการเรียนรู้แบบ BP

มีการใช้มากที่สุด เนื่องจากมีรูปแบบโครงสร้างที่ง่าย และไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังพิจารณาค่าความผิดพลาดย้อนกลับ จนได้ผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับและมีความถูกต้องมากขึ้น

สำหรับการกำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้นและจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นนั้น ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์ของแบบจำลอง ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบผลคาดการณ์แบบจำลองที่กำหนดจำนวนชั้นซ่อนเร้น 1,2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้กำหนดชั้นซ่อนเร้นจำนวน 2 ชั้น มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในการคาดการณ์ตำแหน่งและจำนวนวันในการเกิดแผ่นดินไหวครั้งถัดไปบริเวณพื้นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศอเมริกา 15.2 ไมล์ และ 5 วัน ตามลำดับ และมีค่าผิดพลาดรวมเฉลี่ยในการคาดการณ์แผ่นดินไหวบริเวณทางตอนเหนือของทะเลแดงเพียง 0.115 ส่วนจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้น มีการกำหนด 3 รูปแบบ คือ มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนข้อมูลนำเข้า, มีจำนวนมากกว่าจำนวนข้อมูลนำเข้า และ มีจำนวน 50% ของข้อมูลนำเข้า ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ พบว่าแบบจำลองที่มีจำนวนโหนดของชั้นซ่อนเร้นเป็น 50% ของข้อมูลนำเข้า จะมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากที่สุด โดยพบว่ามีค่าถูกต้องในการคาดการณ์มากกว่า 70% จากการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศญี่ปุ่น และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.84-0.91 จากการคาดการณ์แผ่นดินไหวในประเทศอินเดียซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการคาดการณ์กับค่าจริงในทิศทางเดียวกันระดับสูง

ดังนั้น ในการศึกษาคาดการณ์แผ่นดินไหวจึงควรกำหนดแบบจำลองให้มีจำนวนชั้น และจำนวนโหนดชั้นซ่อนเร้นที่แตกต่างกันออกไป เพื่อหาโครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองที่เหมาะสม และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ของแบบจำลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ทุนสนับสนุนการทำวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอบพระคุณ กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

1. Shimizu I, Osawa H, Seo T, Yasuike S, Sasaki S. Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine. Engineering Geology 1996;43(2):107-18.
2. Jiang M. Easily magnetic anomalies earthquake prediction. MATEC Web of Conferences 2016;63:1-5.
3. Hayakawa M. Electromagnetic phenomena related with earthquakes (earthquake prediction). The International Workshop on Modern Science and Technology 2008:393-8.
4. Guo G, Jie Y. Three Attempts of Earthquake Prediction with Satellite Cloud Images. Natural Hazards and Earth System Sciences 2013;13:91-5.
5. Jilani Z, Mehmood T, Alam A, Awais M, Iqbal T. Monitoring and descriptive analysis of radon in relation to seismic activity of Northern Pakistan. Journal of Environmental Radioactivity 2017;172:43-51.
6. Yamauchi H, Uchiyama H, Ohtani N, Ohta M. Unusual Animal Behavior Preceding the 2011 Earthquake off the Pacific Coast of Tohoku, Japan: A Way to Predict the Approach of Large Earthquakes. Animals 2014;4(2):131-45.
7. Kannan S. Innovative Mathematical Model for Earthquake Prediction. Engineering Failure Analysis 2014;41:89-95.
8. Sheng J, Mu D, Zhang H, Lv H. Seismotectonics Considered Artificial Neural Network Earthquake Prediction in Northeast Seismic Region of China. The Open Civil Engineering Journal 2015;9:522-8.
9. Sriram A, Rahanamayan S, Bourennani F. Artificial Neural Networks for Earthquake Anomaly Detection. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics 2014;18(5):701-13.
10. Emilio Florido, José L. Aznarte, Antonio Morales-Esteban, Martínez-Álvarez F. Earthquake magnitude prediction based on articial neural networks: A survey. Croatian Operational Research. 2016;7:159-69.
11. Reyes J, Morales-Esteban A, Martínez- Álvarez F. Neural networks to predict earthquakes in Chile. Applied Soft Computing 2013;13(2):1314-28.
12. Cortés G, Martínez-Álvarez F, Troncoso A, Morales-Esteban A. Medium-large earthquake magnitude prediction in Tokyo with artificial neural networks. Neural Comput & Applic 2017:1043-55.
13. Wang Q, Guo Y, Yu L, Li P. Earthquake Prediction based on Spatio-Temporal Data Mining: An LSTM Network Approach. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing 2019:1-11.

14. Nanjo K, Holliday J, Chen C-C, Rundle J, Turcotte DL. Application of a modified pattern informatics method to forecasting the locations of future large earthquakes in the central Japan. Tectonophysics 2006;424:351-66.
15. Li C, Liu X. An improved PSO-BP neural network and its application to earthquake prediction. In Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference 2016:3434-8.
16. Shah H, Ghazali R, Mohd Nawi N. Using Artificial Bee Colony Algorithm for MLP Training on EarthquakeTime Series Data Prediction. Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing 2011:128-31.
17. Shao X, Li X, Li L, Hu X. The Application of Ant-Colony Clustering Algorithm to Earthquake Prediction. Advances in Electronic Engineering,Communication and Management 2012:145-50.
18. Zamani A, Sorbi M, Safavi AA. Application of neural network and ANFIS model for earthquake occurrence in Iran. Earth Sci Inform 2013:71-85.
19. Külahcı F, Inceöz M, Dogru M, Aksoy E, Baykara O. Artificial neural network model for earthquake prediction with radon monitoring. Applied radiation and isotopes: including data, instrumentation and methods for use in agriculture. industry and medicine 2008;67:212-9.
20. Panakkat A, Adeli H. Recurrent Neural Network for Approximate Earthquake Time and Location Prediction Using Multiple Seismicity Indicators. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2009;24:280-92.
21. Adeli H, Panakkat A. A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction. Neural Networks. 2009;22(7):1018-24.
22. Madahizadeh R, Allamehzadeh M. Prediction of Aftershocks Distribution Using Artificial Neural Networks and Its Application on the May 12, 2008 Sichuan Earthquake. Journal of Seismology and Earthquake Engineering. 2009;11:111-20.
23. Spall H. Clarence Allen talks about the responsibilities in earthquake prediction. Earthquake Information Bulletin (USGS) 1978;10(4):116-9.
24. Narayanakumar S, Raja K. A BP Artificial Neural Network Model for Earthquake Magnitude Prediction in Himalayas, India. Circuits and Systems 2016; 7(11): 3456-68.
25. Abraham A, V R. A Particle Swarm Optimization-Backpropagation (PSO-BP) Model for the Prediction of Earthquake in Japan. In: Shetty NR et al (ed) Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing 2009;882:435-41.
26. Panakkat A, Adeli H. Neural Network Models for earthquake Magnitude Prediction Using Multipl Seismicity Indicators. International Journal of Neural Systems 2007;17(01):13-33.
27. Sunkara S, Tiwari RK. Model dissection from earthquake time series: A comparative analysis using modern non-linear forecasting and artificial neural network approaches 2009:191-204.
28. Bodri B. A neural network model for earthquake occurrence. Journal of Geodynamics 2001 ; 32(3): 289-310.
29. Sil A, Zarola A. Artificial neural networks (ANN) and stochastic techniques to estimate earthquake occurrences in Northeast region of India. Annals of Geophysics 2017:1-37.
30. Morales-Esteban A, Martínez-Álvarez F, Reyes J. Earthquake prediction in seismogenic areas of the Iberian Peninsula based on computational intelligence. Tectonophysics 2013;593:121-34.
31. Zollo A, Marzocchi W, Capuano P, Lomax A, Iannaccone G. Space and time behavior of seismic activity at Mt. Vesuvius volcano, Southern Italy 2002:625-40.
32. Shi Y, Bolt. The standard error of the Magnitude-frequency b value. Bulletin of the Seismological Society of America 1982;72(5):1677-87.
33. Niksarlioglu S, Kulahci F. An Artificial Neural Network Model for Earthquake Prediction and Relations between Environmental Parameters and Earthquakes. WAS Engineering and Technology 2013 ; 7(2): 87-92.
34. Bhatia A, Pasari S, Mehta A. Earthquake Forecasting Using Artificial Neural Networks. International Archives of the Photogrammetry, Remte Sensing & Spatial Information Sciences 2018:823-7.

35. Zhang Q, Wang C. Using Genetic Algorithm to Optimize Artificial Neural Network: A Case Study on Earthquake Prediction. IEEE 2008:128-31.
36. Alarifi ASN, Alarifi NSN, Al-Humidan S. Earthquakes magnitude predication using artificial neural network in northern Red Sea area. Journal of King Saud University-Science 2012;24(4):301-13.
37. Martínez-Álvarez F, Reyes J, Morales-Esteban A, Rubio-Escudero C. Determining the best set of seismicity indicators to predict earthquakes. Two case studies: Chile and the Iberian Peninsula. Knowledge-Based Systems 2013;50:198-210.
38. Soleimani Zakeri NS, Pashazadeh S. Application of Neural Network Based on Genetic Algorithm in Predicting Magnitude of Earthquake in North Tabriz Fault (NW Iran) 2015;109(9):1715-22.
39. Moustra M, Avraamides M, Christodoulou C. Artificial neural networks for earthquake prediction using time series magnitude data or Seismic Electric Signals. Expert Systems with Applications 2011;38(12):15032-9.
40. Buscema M, Massini G, Maurelli G. Artificial Adaptive Systems to predict the magnitude of earthquakes. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 2015;56(2):227-56.
41. กรมอุตุนิยมวิทยา. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทย และพื้นที่ใกล้เคียง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2561. กรุงเทพฯ. 2562.
42. กรมอุตุนิยมวิทยา. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. เหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศไทยและใกล้เคียง. [สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2562]; จาก: https://earthquake.tmd.go.th/inside.htm
43. โชติ เนืองนันท์ นิคม ผึ่งคำ สมยศ ศรีคงรักษ์ ดวงกมล มามีชัย และพลรัตน์ ทองเพิ่ม. แนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2561. 21(3): 167-173.
44. กรมอุตุนิยมวิทยา. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณจังหวัดเชียงราย. กรุงเทพฯ. 2557.
45. กรมอุตุนิยมวิทยา. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. ลักษณะเฉพาะของรูปแบบไหวสะเทือนบริเวณชายแดนประเทศไทย-ลาว-พม่า. กรุงเทพฯ. 2560.
46. Negarestani A, Setayeshi S, Ghannadi-Maragheh M, Akashe B. Layered neural networks based analysis of radon concentration and environmental parameters in earthquake prediction. Journal of Environmental Radioactivity 2002;62(3):225-33.
47. กรมชลประทาน. สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา.(2560) สถานีตรวจวัดคลื่นสั่นสะเทือนพื้นดินในประเทศไทย.[สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2563]; จาก: http://survey.rid.go.th/ th/index.php/2016-02-10-08-53-11/108-2016-03-02-03-11-0816/
48. Plumb AP, Rowe RC, York P, Brown M. Optimisation of the predictive ability of artificial neural network (ANN) models: a comparison of three ANN programs and four classes of training algorithm. Eur J Pharm Sci 2005;25 (4-5):395-405.

การเปรียบเทียบความต้องการของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่

Comparison of Travelers' and Experts' Requirements on the Decision Making of Non-Motorized Transportation Traveling Inside the University Area in Chiang Mai

พันธุ์ระวี กองบุญเทียม[1]
Punravee Kongboontiam[1]

Received: 2 July 2019 ; Revised: 29 November 2019 ; Accepted: 25 December 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ (การเดินเท้าและจักรยาน) ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ทั้งในด้านของผู้เดินทางและด้านของผู้เชี่ยวชาญ โดยกระบวนการศึกษาได้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่ (1) การสำรวจข้อมูลกลุ่มผู้เดินทางด้วยวิธีสัมภาษณ์ปัจจัยแบบเรียงอันดับและกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้วยวิธีเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่ (2) การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจของกลุ่มผู้เดินทาง (3) การประเมินปัจจัยทั้งสองกลุ่มด้วยโครงสร้างกระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น และ (4) การเปรียบเทียบความแตกต่างและสรุปผล ผลการศึกษาพบว่าผลการประเมินทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายกันในบางปัจจัย เช่น ปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานการออกแบบ ปัจจัยด้านโครงข่ายการเดินทาง และปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และยังพบอีกว่ากลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยในด้านนโยบายและการบริหารจัดการซึ่งแตกต่างจากกลุ่มผู้เดินทาง

คำสำคัญ: การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ การตัดสินใจ มหาวิทยาลัยสีเขียว

Abstract

This research compared the factors influencing decision making on non-motorized transportation (walking and bicycling) traveling inside the university areas in Chiang Mai from the travelers' and the experts' view. The study process was divided into four steps; (1) interviewing the travelers using the factor ranking technique and the experts using the pairwise comparison technique, (2) analyzing the exploratory factors from the travelers' data, (3) evaluating the decision making factors by analytical hierarchy process structure, and (4) comparing both results and finding conclusions. It was found that both evaluation results were similar in some factors such as safety and design standards, transportation networks, and facilities. However, the experts suggested focusing on policy and management factors that were different from the travelers' requirement.

Keywords: Non-Motorized Transportation, Exploratory Factor Analysis, Decision Making, Green University

[1] อาจารย์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อีเมล์: punravee@gmail.com
[1] Lecturer, Faculty of Architecture and Environmental Design, Maejo University E-mail: punravee@gmail.com

บทนำ

การพัฒนาเมืองและเศรษฐกิจของประเทศไทยตามแบบสังคมตะวันตกเพื่อให้เกิดความทันสมัย (Modernization) ที่มีมาตั้งแต่ยุคอดีตส่งผลทำให้ก่อให้เกิดความต้องการในการใช้ทรัพยากรและพลังงานเพื่อดำเนินกิจกรรมต่างๆ ซึ่งภาคการคมนาคมขนส่งเป็นกิจกรรมด้านหนึ่งที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการพัฒนาประเทศทั้งเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการดำเนินชีวิตและกิจกรรมของมนุษย์และการขนส่งสินค้าในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ จากข้อมูลสถิติพลังงาน[1] พบว่าภาคการขนส่งเป็นหนึ่งในภาคมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในสัดส่วนที่สูงที่สุดตลอดมาโดยคิดเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของทั้งประเทศเฉลี่ยเกือบร้อยละ 40 ซึ่งพลังงานในส่วนนี้แทบทั้งหมดเป็นพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่สูงมากรูปแบบหนึ่ง

ปัญหาการคมนาคมขนส่งของประเทศไทยเป็นปัญหาที่คุกคามคุณภาพชีวิตและสุขภาวะของประชาชนซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างไม่มีแนวโน้มที่จะหยุดยั้งได้ โดยในปัจจุบันปัญหาการคมนาคมขนส่งไม่ได้เกิดขึ้นแค่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลแต่ยังได้ขยายความรุนแรงไปยังเมืองภูมิภาคต่างๆ ทั่วไปประเทศ ดังเช่นเมืองเชียงใหม่เป็นเมืองหลักในภูมิภาคเมืองหนึ่งในภาคเหนือที่กำลังประสบกับปัญหาการจราจรดังกล่าวซึ่งทวีความรุนแรงขึ้นเนื่องมาจากเป็นเมืองศูนย์กลางด้านเศรษฐกิจและคมนาคมของภาคเหนือ ประกอบกับเมืองเชียงใหม่มีสถานศึกษาระดับอุดมศึกษาตั้งอยู่เป็นจำนวนมากจึงเป็นเหตุให้มีจำนวนประชากรและผู้เดินทางเข้ามาในเมืองเชียงใหม่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี โดยจากการประมาณการณ์ด้วยแบบจำลองการขนส่งคาดการณ์ว่าปริมาณการจราจรในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่จะเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 4 ล้านเที่ยว-คนต่อวันในปี พ.ศ.2566 ด้วยอัตราการเพิ่มจำนวนร้อยละ 5-6 ต่อปี และการเดินทางมากกว่าร้อยละ 90 เป็นการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล[2] ซึ่งเป็นเหตุให้สภาพการจราจรในเมืองเชียงใหม่เกิดการติดขัดและสร้างปัญหาต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน

ดังนั้น แนวคิดในการบรรเทาปัญหาดังกล่าวที่ได้รับการยอมรับและนิยมนำมาประยุกต์ใช้ก็คือการบริหารจัดการอุปสงค์ในการเดินทาง (Travel Demand Management: TDM)[3] ซึ่งมีหลักการสำคัญคือการลดปริมาณการเดินทางและการขนส่งด้วยยานพาหนะส่วนบุคคลซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นการเดินทางด้วยยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ และหนึ่งในแนวทาง TDM ที่ได้รับการความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในหลายๆ เมือง ได้แก่ แนวคิดด้านการพัฒนาระบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transportation: NMT) ดัง Figure 1[4] ซึ่งพบว่าการเพิ่มสัดส่วนการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์จะสามารถลดปริมาณการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลที่ใช้เครื่องยนต์ในการเดินทางในเขตเมืองได้ และผลประโยชน์ที่ได้รับจากแนวทางการพัฒนาในรูปแบบนี้จะช่วยให้สามารถลดปัญหาความแออัดของการจราจรและลดมลพิษจากยานพาหนะสู่สิ่งแวดล้อมได้ดี อีกทั้งผลประโยชน์ทางอ้อมของการพัฒนารูปแบบนี้จะทำให้ผู้เดินทางที่ใช้รูปแบบการเดินทางนี้มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงขึ้นและส่งเสริมให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น

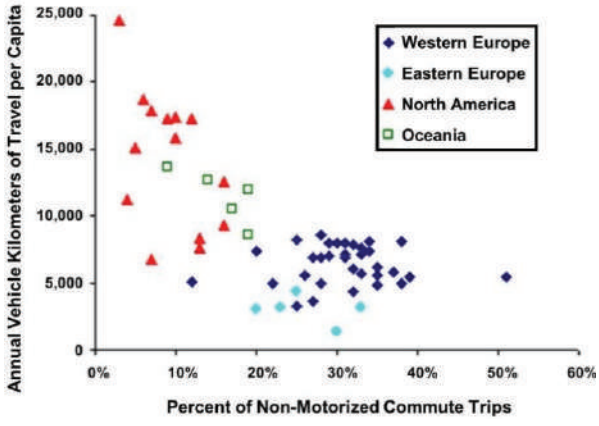


Figure 1 Proportion of NMT per Capita[4]

พื้นที่มหาวิทยาลัยเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายเมืองขนาดเล็กและมีปริมาณการเดินทางสูงอันเนื่องมาจากกิจกรรมด้านการศึกษาและอื่นๆ ซึ่งการวางแผนเพื่อการบริหารจัดการอุปสงค์ในการเดินทางในมหาวิทยาลัยจึงเป็นประเด็นที่จำเป็นเร่งด่วน ซึ่งถ้าปล่อยปละละเลยให้สถานการณ์ดังกล่าวดำเนินต่อไปจะส่งผลให้เกิดปัญหาในด้านความแออัดของการจราจรและปัญหาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งมหาวิทยาลัยยังเป็นสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาซึ่งเป็นต้นแบบให้กับสังคมและยังเป็นสถานที่ผลิตบัณฑิตที่จะเป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตในสังคม ดังนั้นการส่งเสริมให้นักศึกษามีการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยจึงเป็นแนวทางที่ดีในการปลูกฝังค่านิยมในการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความรับผิดชอบต่อสังคมในอนาคตได้

แต่การส่งเสริมให้มีการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางมาใช้การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมีปัจจัยอยู่มากมายทั้งทางตรงและทางอ้อมที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง ประกอบกับการตัดสินใจพัฒนาโครงการก่อสร้างต่างๆ มักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยจากผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญ (Experts) ซึ่งอาจจะมีปัจจัยที่แตกต่างจากปัจจัยความต้องการของผู้เดินทางหรือผู้ใช้งาน (Travelers) และส่งผลทำให้โครงการที่พัฒนาได้ไม่สามารถตอบสนองต่อผู้เดินทางได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้

จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย ทั้งในด้านของผู้เดินทางและด้านของผู้เชี่ยวชาญ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าวเพื่อเสนอแนะแนวทางการตัดสินใจที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโครงการส่งเสริมการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ (การเดินเท้าและจักรยาน) ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ทั้งในด้านของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญ

2) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญ

ขอบเขตของการศึกษา

1) รูปแบบการขนส่งที่พิจารณาภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยประกอบด้วย รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ และรูปแบบการเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์ได้แก่ การเดินเท้าและจักรยาน

2) พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัยที่อยู่ในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่ดัง Figure 2 โดยสุ่มตัวอย่างจากพื้นที่มหาวิทยาลัยที่เป็นตัวแทนทั้งหมด 4 พื้นที่ ได้แก่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นตัวแทนมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (เชียงใหม่) เป็นตัวแทนมหาวิทยาลัยขนาดกลาง มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนาวิทยาเขตเชียงใหม่ (เจ็ดลิน) และมหาวิทยาลัยพายัพ (แม่คาว) เป็นตัวแทนมหาวิทยาลัยขนาดเล็ก โดยการแบ่งกลุ่มมหาวิทยาลัยจัดตามการจัดกลุ่มมหาวิทยาลัยของกลุ่มแผนงานงบประมาณอุดมศึกษา สำนักนโยบายและแผนการอุดมศึกษาซึ่งได้ใช้เกณฑ์ด้านงบประมาณและจำนวนนักศึกษา [5]

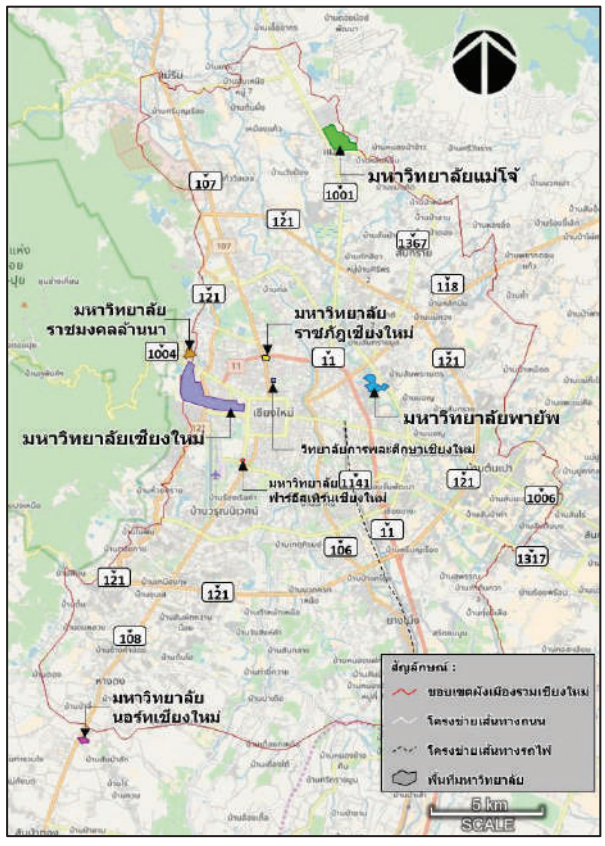


Figure 2 Study Area

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าน้ำหนักของปัจจัยที่เกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยมีการวิเคราะห์เป็น 2 รูปแบบ คือ ปัจจัยในการตัดสินใจของผู้เดินทาง และปัจจัยในการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ โดยอาศัยเทคนิคโครงสร้างของปัจจัยในการตัดสินใจแบบกระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะนำเอาโครงสร้างการตัดสินใจทั้ง 2 รูปแบบมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เสนอแนะหรือคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ได้ ซึ่งวิธีการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปได้ดัง Figure 3

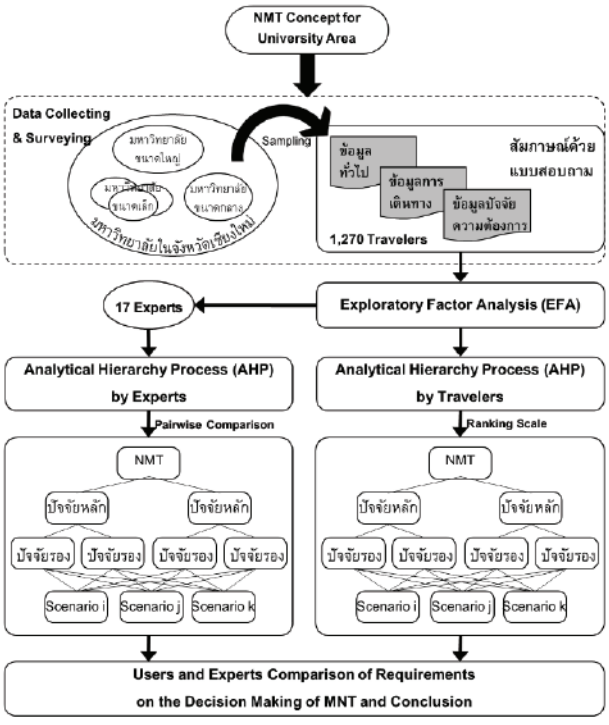


Figure 3 Comparison Methodology

การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์

การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมนำมาใช้ในการเดินทางในเขตเมืองสูงขึ้นทั้งในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วในช่วงระยะเวลา 10-15 ปีที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่นในเมืองต่างๆ ที่อยู่ในทวีปยุโรป เช่น เบอร์ลิน ลอนดอน และในทวีปอเมริกาเหนือ เช่น นิวยอร์ค แวนคูเวอร์ ดังนั้นรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์จึงมีแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนาให้เป็นรูปแบบการขนส่งแบบใหม่ในเมืองรวมทั้งการนำรูปแบบนี้ไปบูรณาการร่วมกับการขนส่งในรูปแบบอื่นๆ เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนของเมือง [6]

การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ (NMT) เป็นกุญแจสู่ความสำเร็จอย่างหนึ่งในการพัฒนาระบบการขนส่งสีเขียว (Green Transportation) และระบบการขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable Transportation) โดยเฉพาะในเขตเมือง (Urban Area) ได้ โดยทั่วไปการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์หมายรวมถึงการเดินทางที่อาศัยแรงของผู้เดินทางเป็นแรงผลักดัน (Human Powered Transportation) ได้แก่ การเดินเท้า การใช้จักรยาน และรวมไปถึงรูปแบบการเดินทางด้วยล้อเลื่อนรูปแบบอื่นๆ เช่น รถเข็น เก้าอี้เข็น สเก็ต สกูตเตอร์ เป็นต้น และในอีกความหมายหนึ่งของรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ซึ่งมีมาในอดีตหรือยังคงนิยมใช้เดินทางในเขตนอกเมือง (Rural Area) มีความหมายรวมไปถึงการเดินทางที่อาศัยแรงของสัตว์ เช่น การลาก จูง บรรทุก ขี่ เป็นต้น [7, 8]

รูปแบบหลักของการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันอาจจะจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มแรกได้แก่การเดินเท้า (Walking) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการเคลื่อนที่และการเดินทางของผู้เดินทางแทบทุกคน และกลุ่มที่สองได้แก่การใช้ล้อเลื่อนในการช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อน (Cycling) ที่ซึ่งสามารถจำแนกรูปแบบได้อย่างหลากหลายแต่ส่วนใหญ่จะนิยมหมายถึงการใช้จักรยาน

ดังนั้น การเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์จึงถือเป็นรูปแบบการเดินทางที่กำลังได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาเมืองที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้เป็นอย่างดี การพัฒนาให้เกิดพื้นที่สุนทรียภาพ (Aesthetics Area) ภายในเขตเมืองสร้างความสมดุลระหว่างโครงสร้างพื้นฐานทางธรรมชาติกับกิจกรรมการอยู่อาศัยและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะของเมืองนิเวศ (Eco-City) เพื่อส่งเสริมให้เกิดการเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์จำเป็นที่จะต้องมีการสร้างกิจกรรมที่สอดคล้องของพื้นที่กับความต้องการของชุมชน โดยเฉพาะการออกแบบพื้นที่ว่างของเมืองเพื่องานกิจกรรมชุมชนต่างๆ รวมทั้งการเชื่อมต่อพื้นที่ว่างกับพื้นที่กิจกรรมอื่นๆ ด้วย

การสำรวจข้อมูล

การสำรวจข้อมูลในครั้งนี้จำแนกกลุ่มเป้าหมายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของผู้เดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย และกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

1) การสำรวจกลุ่มผู้เดินทาง

การสำรวจกลุ่มผู้เดินทางด้วยแบบสอบถามที่ประกอบไปด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปและคุณลักษณะของผู้เดินทาง (2) ข้อมูลการเดินทางในพื้นที่ศึกษา และ (3) ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ในพื้นที่ศึกษาด้วยเทคนิคการจัดอันดับปัจจัย (Ranking Scale)

Table 1 Population and Travelers' Interview

University in Chiang Mai	University Size*	Students**	Staff**	Samples	Male (persons:%)	Female (persons:%)
Chiang Mai University	Large	37,000	2,500	470	183: 39%	287: 61%
Maejo University	Medium	16,000	1,000	427	167: 39%	260: 61%
Rajamangala University (Lanna)	Medium	13,000	650	113	45: 40%	68: 60%
Payap University	Medium	6,000	400	260	104: 40%	156: 60%
Chiang Mai Rajabhat University	Medium	5,200	500	-	-	-
North-Chiang Mai University	Small	2,400	250	-	-	-
National Sports University (CM)	Small	1,800	150	-	-	-
The Far Eastern University	Small	1,700	150	-	-	-
Total		**83,100**	**5,600**	**1,270**	**499: 39%**	**771: 61%**

* Size according to budget and area size, which are modified from the classification of the MAU

** Estimated by the researcher as of the 2017 academic year

กลุ่มเป้าหมายประกอบด้วยนักศึกษา บุคคลากร และบุคคลภายนอกที่มีการเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งประกอบไปด้วย 8 มหาวิทยาลัยมีประชากรรวมทั้งหมดประมาณ 83,100 คน โดยการคัดเลือกตัวอย่างใช้เทคนิคสุ่มตัวอย่างตามสัดส่วน (Quota Random Sampling) ซึ่งกำหนดความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ของการสุ่มตัวอย่าง จากพื้นที่เป้าหมายทั้ง 4 มหาวิทยาลัยหลักซึ่งมีประชากรรวมกันทั้งหมดประมาณ 72,000 คน เป็นเพศชายคิดเป็นร้อยละ 38 และเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 62 ของประชากรทั้งหมด ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลสรุปได้จำนวนตัวอย่างที่สมบูรณ์ทั้งหมด 1,270 คน รายละเอียดดัง Table 1

2) การสำรวจกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

การสำรวจกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้วยแบบสอบถามประกอบไปด้วยข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลความเชี่ยวชาญและข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ และ (2) ข้อมูลคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ในพื้นที่ศึกษาด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่ (Pairwise Comparison)

กลุ่มเป้าหมายประกอบไปด้วย ผู้บริหาร หัวหน้าฝ่ายดำเนินการ และผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจากการสำรวจในครั้งนี้สามารถได้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 21 คน รายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Experts' Interview

Expert's Group	Experts	Age (Year)	Experience (Year)
Chief Executive or Manager	4	53.1	27.0
Engineering	7	43.3	15.2
Architecture & Environment	7	45.8	22.1
Economics	1	37.0	12
Science	2	46.0	21.5

การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ

การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) เป็นเครื่องมือทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ศึกษาปัญหาที่มีปัจจัยหรือองค์ประกอบซับซ้อนเชิงพฤติกรรมและความสัมพันธ์ซึ่งถูกคิดค้นโดย Charles Spearman ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1904 โดยในปัจจุบันนักวิจัยนิยมนำเอามาประยุกต์ใช้ในการลดจำนวนหรือจัดกลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมที่สนใจ[9]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ของผู้เดินทางประกอบไปด้วยปัจจัยเป็นจำนวนมากและหลากหลาย ดังนั้นการจัดกลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันจะทำให้สามารถลดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์และทำให้การวิเคราะห์เป็นระเบียบที่สามารถเข้าใจได้มากขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าววิธีการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจจึงถูก

นำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดกลุ่มปัจจัยของผู้เดินทางในครั้งนี้

จากแบบสอบถามของกลุ่มผู้เดินทางในส่วนที่ 3 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ในพื้นที่ศึกษาจะถูกนำมาวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจด้วยการทดสอบ Kaiser Meyer Olkin (KMO Test) และทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยสถิติ Bartlett's Test เพื่อจำแนกปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่ม ซึ่งแสดงออกมาด้วยค่าไอเกน (Eigen Value) โดยการพิจารณาวิเคราะห์ปัจจัยในครั้งนี้ใช้เกณฑ์การกำหนดจำนวนปัจจัยองค์ประกอบดังนี้

1. องค์ประกอบต้องมีปัจจัยหรือตัวแปรตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป

2. ค่าไอเกนต้องมีค่ามากกว่า 1

3. ค่าร้อยละของความแปรปรวนสะสมมากกว่าร้อยละ 60

4. ค่าน้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ต้องมากกว่า 0.300

กระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้จะถูกจำแนกเป็นสองส่วน คือ ปัจจัยในด้านของกลุ่มผู้เดินทางและปัจจัยในด้านของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ โดยทั้งสองส่วนได้ประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) มาเป็นโครงสร้างในกระบวนการตัดสินใจซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Making Support: DMS) เพื่อประเมินโครงการมากที่สุดวิธีหนึ่ง เนื่องมาจากเป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ประเมินทางเลือกที่มีหลายหลักเกณฑ์ที่ซับซ้อนได้ด้วยการกำหนดโครงสร้างเป็นลำดับขั้นที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น[10]

AHP เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty (1995) ซึ่งมีหลักการวิเคราะห์โดยการแบ่งแยกปัญหาออกเป็นลำดับชั้น โดยมีเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการตัดสินใจอยู่บนยอดของลำดับชั้น รองลงประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาลดหลั่นกันไปเป็นลำดับชั้นตามความสำคัญ และในชั้นล่างสุดของลำดับชั้นคือทางเลือกที่ใช้ในการตัดสินใจ องค์ประกอบในลำดับชั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อหาปัจจัยที่คาดหวังสำหรับการนำไปสัมพันธ์กับปัจจัยในระดับที่สูงขึ้นไป หลักในการใช้คะแนนของปัจจัยที่ใช้พิจารณาเปรียบเทียบคู่ใดๆ ในลำดับชั้นตามหลักการของ Saaty จะให้คะแนนอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 9 โดยค่า 1 หมายถึงมีความสำคัญเท่ากัน ค่า 3 หมายถึงมีความสำคัญมากกว่าในระดับปานกลาง ค่า 5 หมายถึงมีความสำคัญมากกว่าในระดับสูง ค่า 7 หมายถึงมีความสำคัญมากกว่าในระดับสูงมาก และค่า 9 หมายถึงมีความสำคัญมากกว่าในระดับสูงสุด สำหรับค่า 2 4 6 และ 8 มีค่าความสำคัญที่อยู่ระหว่างระดับความสำคัญที่ได้กล่าวไปแล้วตามลำดับ[11]

ค่าสัดส่วนระดับคะแนนจากการเปรียบเทียบทั้งหมดจะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของปัจจัยออกเป็นตารางหรือเมตริกซ์การเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ระหว่างปัจจัย i และ j ใดๆ ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การเปรียบเทียบ (a_{ij})

หลังจากได้เมตริกซ์การเปรียบเทียบ (a_{ij}) ของปัจจัยในแต่ละลำดับชั้น ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักของปัจจัยที่ได้จะถูกนำมาหารด้วยค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักของปัจจัยของลำดับชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไป ทำการวิเคราะห์วนซ้ำจะถึงลำดับสูงสุดของกระบวนการ ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักทั้งหมดที่ได้มีความหมายถึงระดับความคาดหวังของทางเลือกในการบรรลุเป้าหมาย ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักจะแสดงถึงระดับความสำคัญที่มีต่อทางเลือก

ในการศึกษาในครั้งนี้การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่ศึกษาของกลุ่มผู้เดินทางได้วิเคราะห์ด้วยโครงสร้างแบบ AHP ตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ และได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบปัจจัยด้วยวิธีการเรียงอันดับ (Ranking Scale) มาเทียบเป็นค่าที่ได้จากวิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่เนื่องจากข้อมูลจากกลุ่มผู้เดินทางมีจำนวนมากทำให้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ได้ทุกปัจจัย

ในส่วนของการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่ศึกษาของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้วิเคราะห์ด้วยโครงสร้างแบบ AHP ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามหลักการของ Saaty

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่ศึกษาทั้งกลุ่มผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญจะถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันทั้งรูปแบบของโครงสร้างและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามโครงสร้าง AHP

ผลการศึกษา

การเดินทางภายในพื้นที่ศึกษา

การเดินทางภายในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยการเดินทางของนักศึกษาร้อยละ 92 รองลงมาคือการเดินทางของอาจารย์และบุคลากรร้อยละ 4.2 และการเดินทางของบุคคลทั่วไปร้อยละ 3.7 ตามลำดับซึ่งมีรายละเอียดดัง Figure

4 โดยมีข้อสังเกตพบว่าการเดินทางในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่จะมีสัดส่วนการเดินทางของบุคคลทั่วไปสูงกว่าในพื้นที่อื่น และในส่วนคุณลักษณะทางเศรษฐกิจของผู้เดินทางที่สะท้อนมาจากความสามารถในการใช้จ่ายของผู้เดินทางในรูปแบบของรายได้หรือรายรับซึ่งในกรณีที่เป็นนักศึกษาจะเป็นรายรับที่ได้จากผู้ปกครอง พบว่ารายได้หรือรายรับของผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษาเฉลี่ยประมาณ 7,775 บาทต่อเดือน โดยมีข้อสังเกตพบว่ามหาวิทยาลัยแม่โจ้ซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางเมืองเชียงใหม่มากที่สุดผู้เดินทางมีรายได้หรือรายรับเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่อื่นซึ่งมีรายละเอียดดัง Figure 4

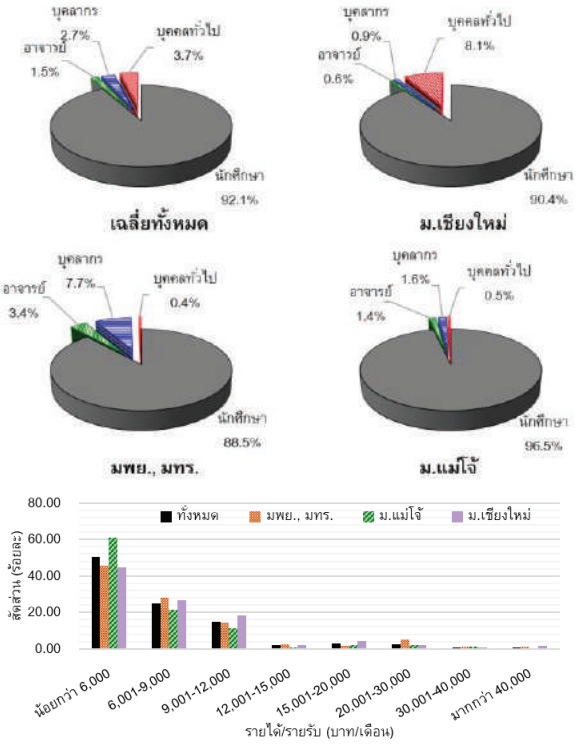


Figure 4 Travelers' Characteristics

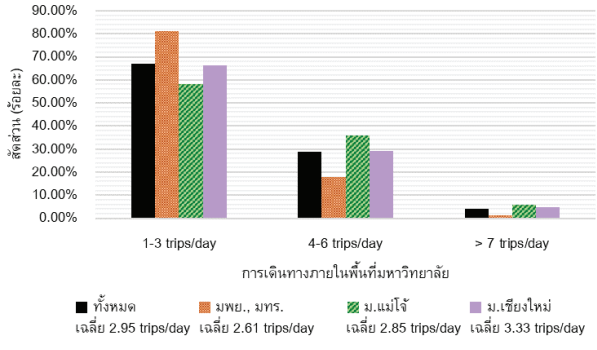


Figure 5 Average Traveling Trips Inside University

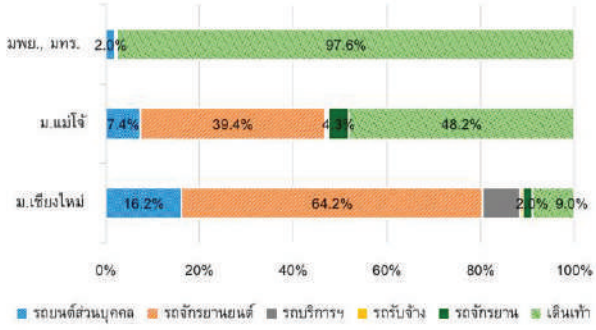


Figure 6 Vehicle Modes Inside University

ความต้องการในการเดินทางต่อวันในพื้นที่มหาวิทยาลัยทั้งหมดมีลักษณะคล้ายกัน โดยการเดินทางภายในพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงไม่เกิน 3 เที่ยว-คนต่อวันซึ่งคิดเป็นสัดส่วนเกินร้อยละ 55 ของการเดินทางทั้งหมดในพื้นที่มหาวิทยาลัย รองลงมาอยู่ในช่วง 4-6 เที่ยว-คนต่อวันซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการเดินทางทั้งหมดในพื้นที่มหาวิทยาลัย ส่วนการเดินทางในช่วงตั้งแต่ 7 เที่ยว-คนต่อวันขึ้นไปมีสัดส่วนน้อยมากคิดเป็นสัดส่วนไม่ถึงร้อยละ 10 ของการเดินทางทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา รายละเอียดดัง Figure 5

รูปแบบการเดินทางที่นิยมเลือกใช้เดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยพบว่ามีความแตกต่างกันตามขนาดของพื้นที่ของมหาวิทยาลัย โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ปรากฏว่ารถจักรยานยนต์และรถยนต์ถูกเลือกใช้ในการเดินทางสูงที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 64.2 และ 16.2 ตามลำดับ ส่วนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดกลางปรากฏว่าการเดินเท้ามีสัดส่วนใกล้เคียงกับการใช้รถจักรยานยนต์และรถยนต์รวมกัน คิดเป็นร้อยละ 48.2 และ 46.4 ตามลำดับ และในมหาวิทยาลัยพายัพและมหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนาซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดเล็กปรากฏว่ารูปแบบการเดินเท้าเป็นรูปแบบที่ถูกเลือกใช้สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 97.6 รายละเอียดดัง Figure 6 โดยสรุปจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพบว่าการเลือกใช้การเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์แปรผันตามขนาดของมหาวิทยาลัย โดยมหาวิทยาลัยที่มีพื้นที่ขนาดเล็กมีโอกาสถูกเลือกใช้สูงมาก แต่ในทางตรงข้ามมหาวิทยาลัยที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่มีโอกาสเลือกใช้การเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์น้อยลงมาก และจากการสัมภาษณ์ยังพบอีกว่ารูปแบบการใช้จักรยานไม่ค่อยได้รับความนิยมเลือกใช้ในการเดินทางในพื้นที่มหาวิทยาลัยซึ่งมีสาเหตุมาจากความสะดวกของการนำมาใช้และการไม่มีบริการให้เช่า/ยืมจักรยาน

ปัจจัยเกี่ยวกับการตัดสินใจของผู้เดินทาง

จากแบบสอบถามปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเปลี่ยนรูปแบบมาใช้การเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 1,270 คน พบว่า ปัจจัยที่ผู้เดินทางให้ความสำคัญประกอบไปด้วยทั้งหมด 19 ปัจจัย ซึ่งเมื่อถูกนำมาวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจด้วยเทคนิค KMO Test จะสามารถจัดกลุ่มเป็นปัจจัยหลักของการตัดสินใจในครั้งนี้โดยสามารถจำแนกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านโครงข่ายการขนส่ง (2) ปัจจัยด้านความปลอดภัย (3) ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และ (4) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ดังมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจดัง Table 3

ในลำดับต่อไปได้ทำการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ถูกจัดกลุ่มตามผลการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจข้างต้นด้วยการอาศัยโครงสร้างการตัดสินใจแบบเป็นลำดับชั้น ซึ่งประยุกต์ใช้ค่าความสำคัญที่ผู้เดินทางได้ประเมินด้วยการจัดอันดับมาคำนวณให้เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญ พบว่า ปัจจัยหลักของการตัดสินใจในครั้งนี้มีค่าน้ำหนักความสำคัญตามลำดับ ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านความปลอดภัยร้อยละ 37.92 (2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมร้อยละ 25.60 (3) ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวกร้อยละ 23.85 และ (4) ปัจจัยด้านโครงข่ายการขนส่งร้อยละ 12.64 และเมื่อพิจารณาในปัจจัยย่อย พบว่า ปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักที่มีผลต่อการตัดสินใจสูงสุด คือ การมีจุดพักชั่วคราวร้อยละ 9.46 การควบคุมความเร็วร้อยละ 8.34 ความสว่างมุมมองไม่อับสายตาร้อยละ 8.17 การมีป้าย/สัญลักษณ์แสดงข้อมูลร้อยละ 7.65 ตามลำดับ และยังพบอีกว่าปัจจัยย่อยในด้านความปลอดภัยในส่วนใหญ่มีค่าน้ำหนักสูงกว่าปัจจัยในด้านอื่นๆ ซึ่งก็สัมพันธ์กับผลของค่าน้ำหนักในปัจจัยหลักดังกล่าว โดยรายละเอียดของค่าน้ำหนักของการตัดสินใจในครั้งนี้แสดงดัง Table 4

Table 3 EFA (KMO Test) Loading Factor Matrix

NMT's Decision Criteria	Component			
	1	2	3	4
Leveling and Slope	0.608			
Shadyness	0.831			
Rain Canopy/Roof	0.782			
Smooth Surface Way	0.717			
Enough Way Width	0.885			
Continuous Way Network		0.485		
Coverage Way Network		0.534		
Short/Tightening Distance		0.415		
Multi-modal Connectivity		0.378		
Intersection/Joint Control			0.631	
Traffic Information Symbol & Sign			0.677	
Traffic Speed Control			0.602	
Brightness, No Blind Angle or Sign Distance			0.757	
Enough Parking			0.752	
Security & Safety			0.661	
Bicycle Fixing or Helping Services				0.645
Rest Area				0.729
Public Toilet				0.733
Bicycle Rent Service				0.612

Remark: Eigen Value=4 and Accept>0.300

ปัจจัยเกี่ยวกับการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินการตัดสินใจของผู้เดินทางถูกนำมาเป็นข้อมูลตั้งต้นให้สำหรับผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาจัดกลุ่มและประเมินค่าน้ำหนักของปัจจัยของการตัดสินใจในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญ

ผลการพิจารณาจัดกลุ่มปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญในขั้นสุดท้าย พบว่า กลุ่มปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในครั้งนี้สามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านโครงข่ายการขนส่ง (2) ปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานการออกแบบ (3) ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และ (4) ปัจจัยด้านนโยบาย/การดำเนินการ ซึ่งเป็นไปใน

ทิศทางคล้ายกันกับผลการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ แต่ในด้านมุมมองผู้เชี่ยวชาญก็มีการเสนอปัจจัยด้านนโยบาย/การดำเนินการของหน่วยงานเพิ่มขึ้นมาซึ่งจะต่างจากมุมมองของผู้เดินทางที่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยในด้านนี้เลย

ผลการประเมินค่าน้ำหนักของปัจจัยเกี่ยวกับการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญครั้งนี้ด้วยโครงสร้างการประเมินการตัดสินใจแบบเป็นลำดับชั้นซึ่งประเมินค่าน้ำหนักของปัจจัยด้วยวิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่และคำนวณค่าน้ำหนักรวมด้วยค่าเฉลี่ยเรขาคณิต พบว่า ปัจจัยหลักของการตัดสินใจในครั้งนี้มีค่าน้ำหนักความสำคัญตามลำดับ ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานการออกแบบร้อยละ 40.96 (2) ปัจจัยด้านนโยบาย/การดำเนินการร้อยละ 22.70 (3) ปัจจัยด้านโครงข่ายการขนส่งร้อยละ 18.41 และ (4) ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวกร้อยละ 11.01

และเมื่อพิจารณาปัจจัยย่อย พบว่า ปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักที่มีผลต่อการตัดสินใจสูงสุดในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญ คือ การออกแบบเพื่อความปลอดภัยร้อยละ 19.33 การรักษาความปลอดภัยร้อยละ 11.88 การเลือกใช้วัสดุและมาตรฐานการก่อสร้างร้อยละ 9.75 งบประมาณสนับสนุนโครงการร้อยละ 9.26 และการบริหารจัดการ/ดูแลรักษาร้อยละ 8.65 ตามลำดับ โดยรายละเอียดของค่าน้ำหนักของการตัดสินใจในครั้งนี้แสดงดัง Table 4

Table 4 Decision Criteria of Travelers and Experts

	Weight		Traveler Factors	Expert Factors	Weight		
NMT Network	12.64%	3.07%	Continuous Way Network	Continuous NMT Network	4.45%	18.41%	NMT Network
		3.58%	Coverage Way Network	In Accordance with the Demand Requirements	5.49%		
				Coverage Network and Accessibility	4.35%		
		3.39%	Short/Tightening Distance	Short/Tightening Route	4.65%		
		2.61%	Multi-modal Connectivity	Multi-modal Connectivity	3.92%		
Security&Safety	37.92%	6.22%	Intersection/Joint Control	Designed for safety (Speed control Intersection)	19.33%	40.96%	Security Safety & Design Standard
		8.34%	Traffic Speed Control				
		8.17%	Brightness, No Blind Angle				
		3.25%	Enough Parking				
		4.31%	Security & Safety	Security (Brightness, Blind Spot Control, Sign distance, Guard)	11.88%		
		7.65%	Symbol & Sign				
				Design, Engineering, Construction and Material Standard	9.75%		
Transport Facilities	23.85%	2.75%	Bicycle Fixing or Helping Services	Traveling Information and Sign	4.35%	11.01%	Transport Facilities
		9.46%	Rest Area	Environment with Shady Trees, Landscaping, with a Roof covering for Sun & Rain	4.30%		
		6.42%	Public Toilet	Rest Area and Services	2.36%		
		5.23%	Bicycle Rent Service	Bicycle Parking Lots and Bicycle Rent Service	2.41%		
Environment	25.60%	3.96%	Leveling and Slope	Continuously Supporting Budget and Sustainable Operation	9.26%	22.70%	Policy & Operation
		6.31%	Shadyness	Continuously Operation and Maintenance Services	8.65%		
		5.85%	Rain Canopy/Roof	Consistently with the Policy Measures of Green University	4.79%		
		5.29%	Smooth Surface Way				
		4.21%	Enough Way Width				

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

การเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย

จากผลการศึกษาการเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า คุณลักษณะของผู้เดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมีความคล้ายกันทั้งหมด โดยผู้เดินทางส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90 เป็นนักศึกษาโดยเฉพาะในระดับปริญญาตรีซึ่งมีศักยภาพทางเศรษฐกิจที่แสดงด้วยรายได้/รายรับที่ได้จากผู้ปกครองประมาณ 7,000-8,000 บาทต่อเดือน และมีความต้องการในการเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยเฉลี่ย 2.95 เที่ยวต่อคนต่อวัน ดังนั้นการวางแผนเพื่อบริหารจัดการการเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยควรจะต้องคำนึกถึงกลุ่มผู้เดินทางที่เป็นนักศึกษาเป็นหลักสำคัญ และยังพบอีกว่าในส่วนของยานพาหนะที่ถูกเลือกใช้เดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของมหาวิทยาลัย โดยมหาวิทยาลัยที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีความนิยมเลือกใช้ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์เป็นสัดส่วนมากซึ่งทำให้การเลือกใช้รูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์มีสัดส่วนน้อยมาก แต่ในทางตรงข้ามมหาวิทยาลัยที่มีขนาดพื้นที่เล็กลงสัดส่วนการเลือกใช้รูปแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์โดยเฉพาะการเดินเท้าจะมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากความจำกัดของพื้นที่จอดรถและความแออัดของพื้นที่ ประกอบกับระยะทางในการเดินทางที่สั้นกว่า ทำให้การเดินเท้าเป็นที่ยอมรับได้ของผู้เดินทาง แต่ในส่วนของการเลือกใช้จักรยานจะมีข้อจำกัดในด้านการมีบริการเช่ายืมจักรยานเนื่องจากผู้เดินทางไม่นิยมนำเอาจักรยานส่วนตัวมาใช้ภายในพื้นที่ด้วยตนเองได้

ข้อเสนอแนะในเบื้องต้นด้านโอกาสในการส่งเสริมการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย พบว่า มหาวิทยาลัยขนาดเล็กและขนาดกลางมีแนวโน้มในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้ผู้เดินทางเลือกรูปแบบการเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์ได้มากกว่ามหาวิทยาลัยที่มีขนาดใหญ่ หรือเป็นแนวทางให้มหาวิทยาลัยที่มีขนาดใหญ่อาจจะต้องมีการแบ่งพื้นที่เพื่อทำการออกแบบให้ระบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะทำให้เกิดข้อจำกัดในการเดินทางด้วยยานพาหนะส่วนบุคคลและจะมีแนวโน้มให้เกิดแรงจูงใจให้เปลี่ยนพฤติกรรมมาใช้การขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์มากขึ้น

การเปรียบเทียบปัจจัยความต้องการของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญ

จากผลการประเมินความต้องการเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกการเดินทางแบบไร้เครื่องยนต์ของทั้งผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนในการตัดสินใจพัฒนาโครงการภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย ดัง Table 4 พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจสามารถจัดกลุ่มได้โดยมีรูปแบบคล้ายกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มีบางปัจจัยที่มีการประเมินที่แตกต่างกัน โดยมีข้อเปรียบเทียบดังนี้

1) กลุ่มปัจจัยด้านโครงข่ายการเดินทาง

ปัจจัยในกลุ่มนี้ผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญได้จัดกลุ่มปัจจัยและให้ความสำคัญคล้ายกัน แต่กลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้แยกปัจจัยด้านโครงข่ายมีความครอบคลุมออกเป็นอีก 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านความสอดคล้องกับความต้องการในการเดินทางในพื้นที่ และเส้นทางครอบคลุมทั่วพื้นที่ใช้สอยและการเข้าถึง โดยทั้งกลุ่มผู้เดินทางและกลุ่มผู้เชี่ยวชาญให้น้ำหนักความสำคัญใกล้เคียงกันคือร้อยละ 12.64 และ 18.41 ตามลำดับ

2) กลุ่มปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยในกลุ่มนี้ผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญได้จัดกลุ่มปัจจัยคล้ายกันในบางปัจจัย และการให้ความสำคัญในบางปัจจัยไม่เท่ากัน ได้แก่ ปัจจัยด้านมีจุดพักชั่วคราว มีห้องน้ำสาธารณะและการมีบริการเช่า/ยืมจักรยาน กลุ่มผู้เดินทางได้ให้น้ำหนักความสำคัญใน 3 ปัจจัยนี้มากกว่ากลุ่มผู้เชี่ยวชาญตลอดจนกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้มีความเห็นให้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและการให้ข้อมูลการเดินทางมาเป็นปัจจัยในกลุ่มนี้แทนซึ่งจะแตกต่างจากการประเมินโดยกลุ่มผู้เดินทาง โดยปัจจัยในกลุ่มนี้ผู้เดินทางให้น้ำหนักความสำคัญมาเป็นอันดับสองมากถึงร้อยละ 23.85 ซึ่งมากกว่ากลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ให้น้ำหนักความสำคัญเพียงร้อยละ 11.01

3) กลุ่มปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานการออกแบบ

ปัจจัยในกลุ่มนี้ผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญได้จัดกลุ่มปัจจัยต่างกัน โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้มีความเห็นให้ปัจจัยด้านความปลอดภัยซึ่งกลุ่มผู้เดินทางจำแนกย่อยไว้ให้รวมเป็นปัจจัยในด้านการออกแบบเพื่อความปลอดภัย และในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญยังเสนอเพิ่มปัจจัยด้านการเลือกใช้วัสดุพื้นผิวของเส้นทางและมาตรฐานการก่อสร้างมาเป็นปัจจัยในการตัดสินใจด้วย แต่โดยภาพรวมกลุ่มผู้เดินทางและกลุ่มผู้เชี่ยวชาญให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยในกลุ่มนี้มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันคือร้อยละ 37.95 และ 40.69 ตามลำดับ

4) กลุ่มปัจจัยด้านนโยบาย/ดำเนินการ

ปัจจัยในกลุ่มนี้เป็นปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นให้มีความสำคัญในการประเมินเพิ่มขึ้นมาเพื่อการพิจารณาที่มีความครอบคลุมไปถึงความคุ้มค่าในการลงทุนมากขึ้น ในขณะที่ผลการประเมินจากผู้เดินทางให้ความสำคัญกับความต้องการในการใช้งานเป็นส่วนใหญ่โดยไม่ได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยในด้านนี้เลย อีกทั้งกลุ่มผู้เชี่ยวชาญยังให้น้ำหนัก

ความสำคัญของปัจจัยในกลุ่มนี้ถึงร้อยละ 22.70 ซึ่งมีค่าสูงเป็นอันดับสองรองจากปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานการออกแบบ

โดยสรุปปัจจัยความต้องการของผู้เดินทางและผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคลองกันในปัจจัยส่วนใหญ่ และมีความแตกต่างกันในปัจจัยด้านนโยบายและการดำเนินการซึ่งสามารถสรุปความแตกต่างในปัจจัยหลักและค่าน้ำหนักความสำคัญได้ดัง Figure 7

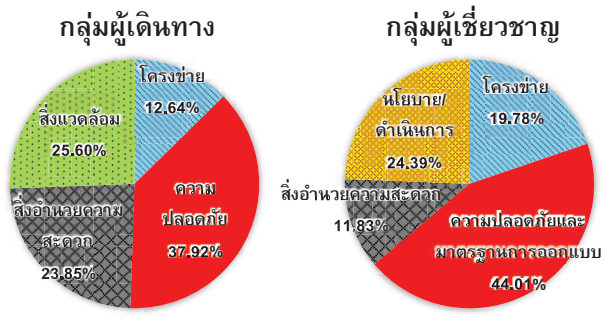


Figure 7 Factors Comparing of Users and Experts

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย

1) ข้อเสนอแนะในการออกแบบ

การออกแบบการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยควรคำนึงถึงปัจจัยที่ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มผู้เดินทางเป็นหลักเพื่อนำมาเป็นปัจจัยหรือเป้าหมายของการออกแบบระบบ โดยอาจจะพิจารณาตามลำดับของค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยดังต่อไปนี้

- ปัจจัยด้านความปลอดภัยควรให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก เช่น ต้องออกแบบให้มีการควบคุมความเร็วระหว่างคนและยานพาหนะ มีการควบคุมจุดตัดและทางแยก มีแสงสว่างเพียงพอและมีมุมมองไม่อับสายตา และมีป้าย/สัญลักษณ์แสดงข้อมูลการเดินทาง

- ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมควรให้ความสำคัญเป็นลำดับที่สอง เช่น ต้องออกแบบให้มีความร่มรื่น/ไม่เกิดความร้อนแก่ผู้เดินทาง มีหลังคากันฝน มีผิวทางที่เรียบได้มาตรฐานและมีความกว้างเพียงพอ

- ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวกควรให้ความสำคัญในลำดับที่สาม เช่น การออกแบบให้มีจุดพักชั่วคราว มีห้องน้ำสาธารณะ และมีบริการให้กับจักรยาน

- ปัจจัยด้านโครงข่ายการขนส่งควรให้ความสำคัญเป็นอันดับที่สี่ เช่น การออกแบบโครงข่ายที่ครอบคลุมเส้นทางมีความกระชับ และเชื่อมโยงการขนส่งอื่นๆ ได้

2) ข้อเสนอแนะในการบริหารจัดการ

จากผลการประเมินจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีการให้น้ำหนักความสำคัญในบางปัจจัยแตกต่างไปจากกลุ่มผู้เดินทาง แต่เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สะท้อนมาจากมุมมองของผู้เชี่ยวชาญในด้านของการบริหารจัดการโครงการให้มีความเป็นไปได้และการดูแลรักษาให้สามารถให้บริการแก่ผู้เดินทางได้จริง ดังนั้นในด้านการบริหารจัดการการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยควรคำนึงถึงปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

- ปัจจัยด้านความปลอดภัยและมาตรฐานในการออกแบบระบบ ซึ่งต้องควบคุมให้มีการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ และการก่อสร้างได้ตามมาตรฐานสากลและมาตรฐานความปลอดภัยในการจราจร

- ปัจจัยในด้านนโยบายและการดำเนินการจะต้องประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนและวิเคราะห์จัดสรรงบประมาณให้เหมาะสมความความเป็นไปได้ของโครงการตลอดจนต้องมีการจัดเตรียมงบประมาณในการดูแลรักษาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ในโครงการให้มีสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ

อย่างไรก็ตามการพัฒนาการขนส่งแบบไร้เครื่องยนต์ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยและในพื้นที่อื่นๆ อาจจะนำเอาผลการประเมินในครั้งนี้ไปประยุกต์เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อพัฒนาโครงการดังกล่าว แต่ควรพิจารณาคุณลักษณะเฉพาะของพื้นที่ที่พิจารณาร่วมด้วยเนื่องจากในต่างพื้นที่อาจจะมีปัจจัยอื่นที่แตกต่างไปจากผลการวิจัยในครั้งได้ ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์ของการพัฒนาอย่างยั่งยืนและสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) และได้รับการอนุเคราะห์ในการดำเนินงานสำรวจข้อมูลจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนาวิทยาเขตเวียงเจ็ดริน และมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. EPPO. Energy Statistics of Thailand 2017. Bangkok, Thailand:; 2017.
2. Pichayapan P, Upayokin A, Kongboontiam P. Final Report of Public Transportation Network Study for AEC and Tourism in Chiang Mai. Chiang Mai, Thailand:; 2013.
3. FHWA. Highway Statistics USA: Federal Highway Administration, United States Department of Transportation; 1994.

4. Kenworthy J, Laube F. The millennium cities database for sustainable transport: Institute for Sustainability and Technology Policy, distributed by the International Union of Public Transport; 2013.
5. Commission of Higher Education. Annua University Budget Report 2017. Bangkok, Thailand:; 2017.
6. Muntasir M, D'Este G, Bunker J. Non-motorized public transport: the past, the present, the future. In Australasian Transport Research Forum 2010 Proceeding; 2010; Canberra, Australia: The Planning and Transport Research Centre (PATREC).
7. VTPI. Nonmotorized Transportation Planning, Identifying Ways to Improve Pedestrian and Bicycle Transport, TDM Encyclopedia Victoria, USA: Victoria Transport Policy Institute; 2014.
8. gTKP. Non Motorized Transport NMT, A WORLD BANK URBAN TRANSPORT STRATEGY REVIEW: World Bank; 2003.
9. Fabrigar LR, Wegener DT, MacCallum RC, Strahan EJ. Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. In Psychological Methods.; 1999. p. 272-299.
10. Pohekar SD, Ramachandran M. Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning-A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 8. 2003;: p. 365-381.
11. Saaty TL. Transportation Planning with Multi-criteria: The Analytic Hierarchy Process Application and Progress Review. Journal of Advance Transportation. 1995;: p. 81-126.

การพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล
Development of a simple light pipe from a Fresnel lens

สรวิศ สอนสารี[1*], เอกภูมิ บุญธรรม[1]
Sorawit Sonsaree[1*], Eakpoom Boonthum[1]

Received: 6 September 2019 ; Revised: 11 November 2019 ; Accepted: 20 November 2019

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล โดยในการศึกษาได้นำเลนส์เฟรแนลมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรวมแสงร่วมกับท่อนำแสงที่ทำจากแผ่นสังกะสีที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยในการศึกษา (1) จะเป็นการหาระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัส ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนลขนาด 28.5 เซนติเมตร × 28.5 เซนติเมตร (2) ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดจากการทดสอบ (3) จากนั้นจะนำท่อนำแสงดังกล่าวไปทดสอบการใช้งานจริงกับห้องจำลองขนาด 1 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า ระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัส ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนลจะอยู่ในช่วงความสูงระหว่าง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 399 ถึง 553 ลักซ์ ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดจะต้องมีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อช่วยสะท้อนแสงในบริเวณข้องอของท่อนำแสง โดยความยาวที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ 200 เซนติเมตร และมีค่าความส่องสว่าง 292 ลักซ์ ผลที่ได้จากการทดสอบจริงกับห้องจำลอง พบว่า การติดตั้งหลอดไฟ LED จะช่วยเพิ่มศักยภาพของท่อนำแสงให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทั้งในอาคาร หรือภายนอกอาคารได้ โดยค่าความส่องสว่างที่สามารถนำท่อนำแสงไปใช้งานจริงนั้นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 400 ลักซ์ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าท่อนำแสงจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และเมื่อนำท่อนำแสงดังกล่าวไปใช้งานจะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 10.8 ปี

คำสำคัญ: ท่อนำแสง เลนส์เฟรแนล

Abstract
This research developed a simple light pipe from using a Fresnel lens as a light source to supply natural light to a light pipe made of a zinc sheet. The objectives of the study were to (1) find the best focal length or focal distance of the Fresnel lens (size 28.5 cm × 28.5 cm), (2) the best range of the horizontal shaped tube, and (3) the light pipe was tested actual use with a 1 m^2 simulation room. The results showed that the optimum focal distance of the Fresnel lens was in the range of 15 to 20 cm with the luminance between 339 and 553 Lux. The best horizontal distance of the light pipe requires that mirrors be installed in the bend of the light pipe so as to reflect light. The optimum length was 200 cm with the luminance is 292 Lux. The results from the actual test with the simulation room indicated that the installation of the LED lamps increased the potential of the light pipe to be able to apply in the buildings or outside the buildings. Appropriate illumination for the light pipe was approximately 400 Lux. The study indicated that a light pipe could save electricity of 18.5 kWh/year, and the payback period of the light pipe is around 10.8 years.

Keywords: light pipe, Fresnel lens.

[1] อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000
[1] Lecturers, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok Province, 65000
* Corresponding author Tel.: 061-8299892, E-mail address: sorawitsonsaree@gmail.com

บทนำ

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงทำให้ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในส่วนของพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar energy) อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นในรูปของความร้อน (Thermal energy) เช่น เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heating system) การอบแห้ง (Solar drying) หรือแม้กระทั่งในรูปของไฟฟ้า (Electrical energy) เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีแบบรวมแสง (Concentrating Solar Power (CSP) Technologies) และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell technologies) เป็นต้น[1] ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูงประมาณ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน[2] นอกเหนือจากเทคโนโลยีที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ยังคงมีอีกเทคโนโลยีที่น่าสนใจ คือ เทคโนโลยีท่อนำแสง (Light pipe) โดยจะเป็นการนำเอาแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เข้ามาใช้เพื่อส่องสว่างภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย เนื่องมาจากอาคารส่วนใหญ่มีการใช้แสงสว่างในช่วงเวลากลางวัน จึงทำให้สามารถนำเอาแสงจากธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งยังเป็นการช่วยในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย[3-5]

ภิญโญ ชุมมณี และคณะ[6] ได้นำเสนอการนำแสงธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาใช้ภายในอาคารในบริเวณที่ความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ผลการศึกษาพบว่า ระบบรวมแสงจะต้องคำนึงถึงมุม ทิศทางการสะท้อนของแสงและอิทธิพลของมุมเปิดเห็นท้องฟ้าเป็นหลัก เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพของการรวมแสงสูงถึงร้อยละ 70 นอกจากนี้ยังพบว่า แสงที่ขนานกับแนวท่อจะมีประสิทธิภาพการนำแสงสูงสุด โดยจะแปรผกผันตามอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความยาวของท่อนำแสง นศมา เพี้ยนภักตร์[7] เสนอผลการศึกษาถึงรูปแบบและขนาดของท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ โดยในการศึกษาได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (2) อัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) และ (3) ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง ผลการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ส่งผลให้ท่อนำแสงแนวดิ่งมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 0.90 เมตร ที่ค่า Aspect ratio เท่ากับ 2 และที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งมีความสูงประมาณ 3 เมตร Jitka Mohelnikova[8] ศึกษาลักษณะการสะท้อนของแสงที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งและลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ผ่านตัวกระจายแสงของท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 0.50 และ 0.75 เมตร ที่ความยาว 5 เมตร ในสภาพท้องฟ้าลักษณะต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ในสภาพท้องฟ้าแบบ Cloudy sky แสงที่วัดได้จะมีความสม่ำเสมอ และลักษณะการกระจายแสงจะเป็นวงกลมแบบสมดุล 2 ข้างเท่ากันจากศูนย์กลางของตัวกระจายแสง นอกจากนี้ยังพบว่า ในสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky จะเกิดจุดที่มีความสว่างสูง และแสงที่ได้จะมีความสม่ำเสมอต่ำ บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์[9] ออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน โดยได้ศึกษารูปแบบและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำพาแสงธรรมชาติและปริมาณแสงภายในอาคารสำนักงานผ่านการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและระบบท่อนำแสงแนวนอนด้วยโปรแกรม Photopia 3.0 โดยมีแบบจำลองประสิทธิภาพด้านแสงสว่างจำนวน 5 รูปแบบ ที่มีลักษณะของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน ได้แก่ (1) ทิศทางการรับแสงธรรมชาติ (2) ลักษณะของส่วนรวมแสง และ (3) ลักษณะของส่วนนำพาแสง นอกจากนี้ ศิวดล อุปพงษ์ และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล[10] ได้นำเสนอความสัมพันธ์ของค่าปริมาณแสงสว่างกับขนาดและความยาวท่อนำแสง แนวทางของการนำท่อนำแสงแนวดิ่งมาใช้ในอาคาร โดยสร้างแบบจำลองคำนวณปริมาณแสงสว่างจากโปรแกรม DIALux 4.9 ที่กำหนดให้ขนาดห้องกว้าง 20.0 เมตร ยาว 20.0 เมตร และสูง 3.0 เมตร ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 0.8 และ 1.0 เมตร ความยาวท่อขนาด 0.5 ถึง 6.0 เมตร (โดยเพิ่มความยาวท่อครั้งละ 0.5 เมตร) และมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R) ของผิวท่อนำแสงเท่ากับ 0.9 และตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณปริมาณแสงสว่าง ได้แก่ ปากท่อนำแสง ปลายท่อนำแสง ระนาบพื้นที่ใช้งาน และระนาบพื้นห้อง ผลการศึกษาพบว่า ขนาดท่อ ความยาวท่อ และปริมาณความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งสู่อาคารมีความสัมพันธ์กัน

จากผลการศึกษางานวิจัยข้างต้น และงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่า สามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้ท่อนำแสงในอาคาร หรือห้างสรรพสินค้าได้ ทั้งนี้ก็เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และ/หรือ ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร แต่ทั้งนี้การศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในเชิงโมเดล หรือการทำนายความส่องสว่างที่ได้จากโปรแกรมเพียงอย่างเดียว อีกทั้งผลการศึกษาที่ได้จากการทดลองจริงในประเทศไทยนั้นยังมีผลการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ท่อนำแสงยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เนื่องจากราคาของท่อนำแสงที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานจากเลนส์เฟรสแนล (Fresnel lens) ที่ซึ่งเป็นเลนส์ที่หาง่าย และราคาไม่แพง ร่วมกับท่อนำแสงที่ทำ

จากแผ่นสังกะสีที่เป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาดังกล่าวสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อส่องสว่างได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นอาคารเก็บสินค้า บริเวณทางเดิน และ/หรือ สถานที่จอดรถ ทั้งนี้นอกจากจะเป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาได้เองภายในประเทศแล้ว ก็จะก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานจากการลดการใช้พลังงานในอาคาร หรือในโรงงานอุตสาหกรรมได้อีกด้วย ในการศึกษาจะเป็นการหาระยะนำแสงที่ดีที่สุดของท่อนำแสงแนวนอน โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการประยุกต์นำเอาท่อนำแสงแนวนอนไปใช้ รวมถึงจะมีการศึกษาผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานท่อนำแสงอีกด้วย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ที่ซึ่งจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดของแสงออกเป็น 2 แบบ คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม ซึ่งสามารถนำแสงธรรมชาติดังกล่าวมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานได้ด้วยการนำแสงสว่างผ่านท่อนำแสง แต่ทั้งนี้เพื่อให้การนำแสงที่ได้จากธรรมชาติมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะต้องนำค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติมาเปรียบเทียบกับ “ค่าแสงสว่างแนะนำในแต่ละพื้นที่” ที่ซึ่งเป็นค่าแสงสว่างตามกฎหมายมาตรฐานความเข้มแสงสว่าง 2561 กำหนด[11] แสดงดัง Table 1

Table 1 Recommended lighting in each area[11]

Outside the building	Average illumination (Lux)
Parking	50
Road	21
Inside the building	Average illumination (Lux)
Walkway	100
Stair	100
Warehouse	200
Canteen	300
Office	400
Rough work (Raw material preparation area for packing products)	300
Medium work (Automotive assembly, and Spray painting)	500
Detailed work (Quality inspection work, Sorting and Color matching work)	800
Very detailed work (Inspection of small parts)	1200

ความส่องสว่างภายนอกอาคาร (External illuminance)

ดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ความสว่างของท้องฟ้านั้นมีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปสามารถพิจารณาสภาพของท้องฟ้าได้เป็น 3 แบบ[8] ดังนี้

1. สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ได้ คำนวณได้จาก

$$E_H = 300+(21000)SinA \qquad (1)$$

เมื่อ E_H คือ ความส่องสว่างภายนอก (ลักซ์) และ A คือ Solar altitude (องศา)

2. สภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งหรือเป็นสภาวะท้องฟ้าที่มีเมฆปลกคลุมไม่เกินร้อยละ 30 โดยความส่องสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แสงกระจายจากท้องฟ้าไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ คำนวณได้จาก

$$E_H = 1345+(14795)SinA \qquad (2)$$

(2) แสงตรงจากดวงอาทิตย์ไม่รวมแสงกระจายจากท้องฟ้า คำนวณได้จาก

$$logE_H = 4.466+(0.31)logA \qquad (3)$$

3. สภาพท้องฟ้าแบบ Partly cloudy sky เป็นสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วนปกคลุมประมาณร้อยละ 30 ถึง 70 คำนวณได้จาก

$$E_H = 570A \qquad (4)$$

ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง (Luminous flux of pipe)

เป็นพลังงานสว่างที่ผ่านออกมาจากแหล่งกำเนิดต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น “ลูเมน” ค่าฟลักซ์จากแหล่งกำเนิดแสงก่อนเกิดการสะท้อนภายในท่อนำแสง[12] หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างภายนอกกับขนาดของท่อนำแสง แสดงดังสมการ (5)

$$\varnothing_{SP} = \tau E_{ex} \pi r^2 \qquad (5)$$

เมื่อ $\varnothing_{SP}$ คือ ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง (ลูเมน), τ คือ การส่งผ่านของท่อนำแสง, E_{ex} คือ ความส่องสว่างภายในอาคาร (ลักซ์) และ r คือ รัศมีของท่อนำแสง (เมตร)

จำนวนของการสะท้อนแสง (Number of reflection)

การเกิดการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงตามมุมของแหล่งกำเนิดในช่วงระยะเวลาของแต่ละวัน[13] ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการสะท้อน ความยาว และขนาดของท่อนำแสงคำนวณได้จาก

$$n = int\left[\frac{Ltan\theta}{S}\right] \qquad (6)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของการสะท้อนแสง, L คือ ความยาวของท่อนำแสง (เมตร), θ คือ มุมของการสะท้อนแสง (องศา) และ S คือ ความกว้างของท่อนำแสง (เมตร)

พฤติกรรมของแสง (Behavior)

พฤติกรรมของแสงที่ทำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณความเข้มของแสงภายในท่อนำแสง ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุที่ทำท่อนำแสงมีค่าไม่ถึงร้อยละ 100 ซึ่งจะส่งผลให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดมากระทบพื้นผิวของท่อนำแสง[14] โดยพฤติกรรมของแสงที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดัง Figure 1

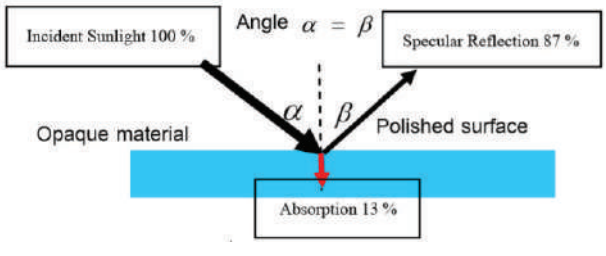


Figure 1 Behavior[6]

การส่งผ่านของแสง (Transmission)

เป็นลักษณะของแสงที่ตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลาง โดยแสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ มุมของแสงก่อนจะส่องผ่านตัวกลางจะเท่ากับมุมของแสงหลังจากทะลุผ่านตัวกลางไปแล้ว[13] ซึ่งความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในท่อ 1 ลำแสงคำนวณได้จาก

$$T = R^{int[Ltan\theta/s]} \qquad (7)$$

เมื่อ T คือ การส่งผ่านของแสงแบบส่วนเดียว, R คือ การสะท้อนของท่อนำแสง และ θ คือ มุมของการสะท้อนแสง

ความส่องสว่างภายในอาคาร (Internal illuminance)

การส่องสว่างของวัตถุซึ่งเกิดจากการที่แสงจากแหล่งกำเนิดของแสงตกกระทบลงบนวัตถุ และเกิดการสะท้อนของแสงเข้าสู่ดวงตา โดยค่าความส่องสว่างต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มของค่าส่องสว่างที่มีหน่วยเป็นลูเมนต่อพื้นที่ของวัตถุ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E = \frac{I}{A} \qquad (8)$$

เมื่อ E คือ ความส่องสว่างภายใน (ลักซ์), I คือ ความสว่าง (ลูเมน) และ A คือ พื้นที่ของห้อง (ตารางเมตร)

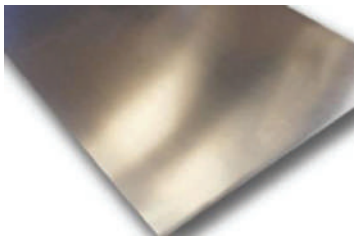
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล โดยเลนส์ดังกล่าวเป็นวัสดุเหลือใช้จากเครื่องฉายแผ่นใส (Overhead projector) ที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ร่วมกับแผ่นสังกะสีที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยในการศึกษาได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ (1) ทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนล, (2) หาระยะของท่อนำแสงแนวนอนที่ดีที่สุด และ (3) ทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง โดยการจำลองห้องที่มีขนาด 1 เมตร × 1 เมตร (พื้นที่รวม 1 ตารางเมตร)

(a) Fresnel lens

(b) Lux/Light meter

(c) Solar power meter



(d) Zinc sheets

(e) Mirror

(f) Solar simulator

(g) Solar cell

(h) LED Lamp

Figure 2 Tools and equipment

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย:
แสดงดัง Figure 2

(a) เลนส์เฟรแนล ขนาด 28.5 เซนติเมตร × 28.5 เซนติเมตร, (b) เครื่องวัดแสง (Lux/Light Meter) ยี่ห้อ Nicety รุ่น LX-802, (c) เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar power meter) ยี่ห้อ CEM รุ่น LA-1017, (d) แผ่นสังกะสี (Zinc sheets), (e) กระจกเงา (Mirror) ขนาด 19.0 เซนติเมตร × 24.0 เซนติเมตร สำหรับสะท้อนแสงที่ได้จากเลนส์เฟรแนล, (f) แสงอาทิตย์เทียม (Solar simulator) ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 25 หลอด, (g) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ยี่ห้อ Sun Solar Ecotech ขนาด 5 วัตต์ 17 โวลท์ สำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหลอด LED และ (h) หลอดไฟ LED แบบเส้น ขนาด 14.4 วัตต์

การดำเนินการทดลอง

(1) ทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนล: จะเป็นการตรวจวัดเพื่อหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากการรวมแสงของเลนส์เฟรแนลที่ระยะ 0 ถึง 50 เซนติเมตร (เพิ่มระยะห่างในการวัดครั้งละ 5 เซนติเมตร) การทดลองโดยใช้แสงอาทิตย์เทียมแสดงดัง Figure 3

Figure 3 (a) The distance used for testing the total distance of light (focus distance), and (b) Measure the luminance of light

(2) หาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุด: โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ (1) แบบที่ไม่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 4) และ (2) แบบที่มีการติดตั้งกระจกเงาเอียงทำมุม 45 องศา เพื่อสะท้อนแสงบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 5) ในการทดสอบได้นำแผ่นสังกะสีม้วนเป็นท่อกลมให้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 เซนติเมตร (10 นิ้ว) จากนั้นนำเลนส์เฟรนแนลมาวางไว้บนปากท่อ และใช้แสงอาทิตย์เทียมส่องลงบนแผ่นรวมแสงแล้วทำการวัดค่าความส่องสว่างที่ระยะ 0 ถึง 500 เซนติเมตร (เพิ่มระยะห่างในการวัดครั้งละ 50 เซนติเมตร)

(3) ทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง หรือสภาวะการใช้งานจริง: การทดสอบนี้ท่อนำแสงที่ถูกติดตั้งกระจกเงาบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 5) ถูกติดตั้งร่วมกับท่อสังกะสีที่มีระยะความยาวที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ (1) และ (2) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (1) แบบที่ไม่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED (แสดงดัง Figure 6

(a)) และ (2) แบบที่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED (แสดงดัง Figure 6

(b)) จากนั้นจะดำเนินการเก็บค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติทั้งภายในและภายนอกห้อง รวมถึงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ซึ่งเปรียบเสมือนปริมาณความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติ

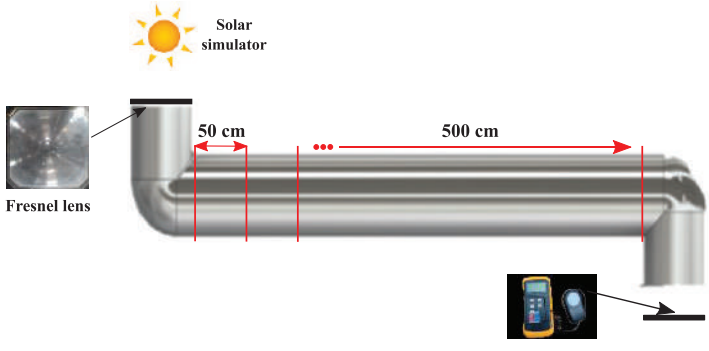


Figure 4 The distance used to test the horizontal light pipe distance (Without mirror installation)

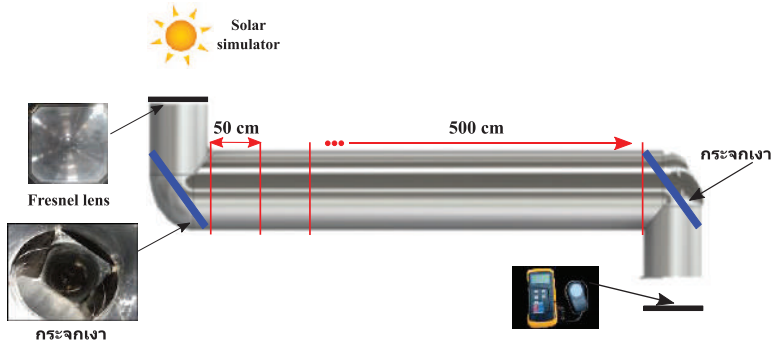
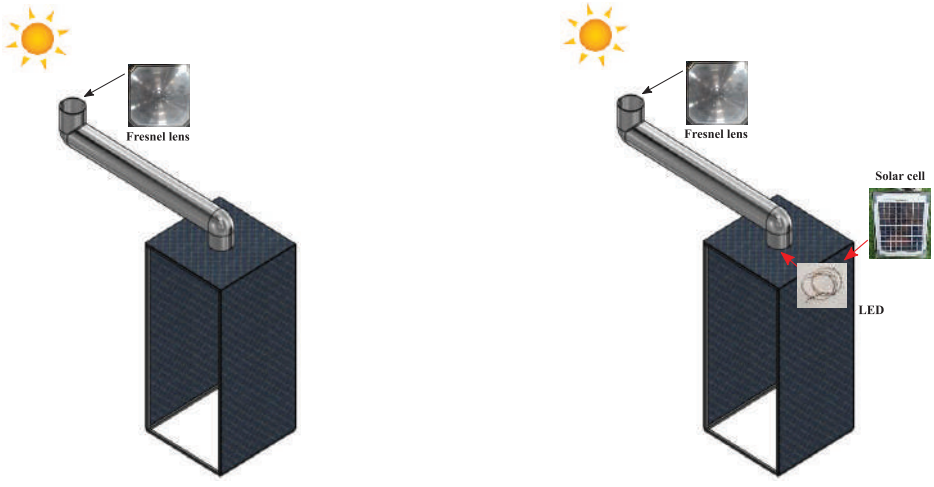


Figure 5 The distance used to test the horizontal light pipe distance (With mirror installation)



(a) Without LED lamp (b) With LED lamp

Figure 6 Natural light conduction testing of horizontal light tubes

ผลการศึกษา และวิจารณ์

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล โดยในงานวิจัยจะเป็นการนำเอาเลนส์เฟรแนลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแผ่นสังกะสีที่สามารถหาได้โดยทั่วไปตามท้องตลาดมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อใช้เป็นท่อนำแสง ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ผลการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) (2) ผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุด (3) ผลการทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง และ (4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ท่อนำแสง โดยสามารถแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) ผลการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนล: แสดงดัง Table 2

พบว่า ความสูงที่หมายถึงระยะรวมแสงหรือระยะโฟกัสจะมีผลต่อค่าความส่องสว่าง โดยค่าความส่องสว่างจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะความสูงเพิ่มขึ้นจากระยะความสูง 5 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร และค่าความส่องสว่างจะลดลงเมื่อระยะความสูงสูงกว่าระยะที่มีความเหมาะสม คือ 20 เซนติเมตร ซึ่งจาก Table 2

ความสูงที่เหมาะสมที่จะช่วยให้ค่าความส่องสว่างมีค่าสูงที่สุดจะอยู่ในช่วงความสูง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 399 ถึง 553 ลักซ์

(2) ผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุด: ผลการทดสอบในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

(2.1) กรณีที่ไม่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงแสดงดัง Table 3

พบว่า ความยาวของท่อจะมีผลต่อค่าความส่องสว่าง โดยค่าความส่องสว่างจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะความยาวท่อมีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีค่าความส่องสว่างสูงที่สุดเมื่อท่อนำแสงรูปแนวนอนมีความยาวของท่อประมาณ 200 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 253 ลักซ์

Table 2 Illumination (Lux) at different heights

High (cm)	Illumination (Lux)
5	94
10	190
15	399
20	553
25	318
30	91
35	51
40	28

(2.2) กรณีที่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงแสดงดัง Table 3

พบว่า กระจกเงาช่วยให้ค่าความส่องสว่างที่ระยะความยาวต่าง ๆ ของท่อนำแสงรูปแนวนอนเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการติดตั้งกระจกเงาจะช่วยให้สามารถประยุกต์ใช้ท่อนำแสงในพื้นที่ต่าง ๆ และรวมถึงสามารถเพิ่มความยาวของท่อนำแสงได้ โดยที่ระยะความยาวเดียวกัน (200 เซนติเมตร) เมื่อติดตั้งกระจกเงาจะช่วยให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มสูงขึ้นเป็น 292 ลักซ์

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ถูกแสดงไว้ใน Table 3 กับค่าแสงสว่างแนะนำในแต่ละพื้นที่แสดงดัง Table 1

พบว่า ที่ความยาวท่อ 200 เซนติเมตร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ส่องสว่างภายในอาคาร (คลังสินค้า) ได้ และที่ความยาวท่อ 400 เซนติเมตร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ส่องสว่างได้ทั้งภายในอาคาร (ทางเดิน บันได และห้องน้ำ) และภายนอกอาคาร (ถนน และลานจอดรถ) ได้ เป็นต้น

(3) ผลการทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง: เป็นการนำผลการทดสอบจากการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนล และผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดมาทดสอบกับห้องจำลองที่มีขนาด 1 ตารางเมตร โดยผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(3.1) ท่อนำแสงที่ไม่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED แสดงดัง Figure 7

พบว่า ท่อนำแสงที่ได้ถูกพัฒนาสามารถนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาในห้องได้ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มแสงจากภายนอก (แสงธรรมชาติ) ท่อนำแสงจะสามารถนำแสงได้ดีในช่วงเวลา 9.00 ถึง 14.00 น. หลังจากนั้นความเข้มแสงจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มแสงธรรมชาติที่ลดลง ดังนั้นการที่จะนำท่อนำแสงไปประยุกต์ใช้เพื่อทดแทนแสงสว่างจากหลอดไฟเพียงอย่างเดียวจึงอาจไม่เหมาะสม แต่หากนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแสงสว่างจากหลอดไฟในบางช่วงเวลาก็จะช่วยก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผลการพิจารณาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของท่อนำแสงในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. พบว่า ท่อนำแสงที่ได้ถูกพัฒนาจะมีประสิทธิภาพการนำแสงอยู่ที่ร้อยละ 56

ผลการทดสอบยังได้ให้ความสนใจไปที่ความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับการประยุกต์นำท่อนำแสงมาใช้งาน แสดงดัง Figure 7

พบว่า แสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาตามท่อนำแสงนั้นได้นำเอาความร้อนจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาด้วย แต่ถือว่ามีค่าน้อยมากหรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าไม่จำเป็นที่จะต้องคิดปริมาณความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับการนำแสงของท่อนำแสง จึงจะเห็นได้ว่าสามารถที่จะประยุกต์ท่อนำแสงดังกล่าวในการนำแสงจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร บ้านพักอาศัย ได้เป็นอย่างดี

Table 3 Illumination (Lux) at different heights (with and without mirror)

Length (cm)	Illumination (Lux)	
	Without mirror	With mirror
50	224	268
100	236	280
150	249	286
200	253	292
250	198	246
300	173	234
350	148	226
400	132	198

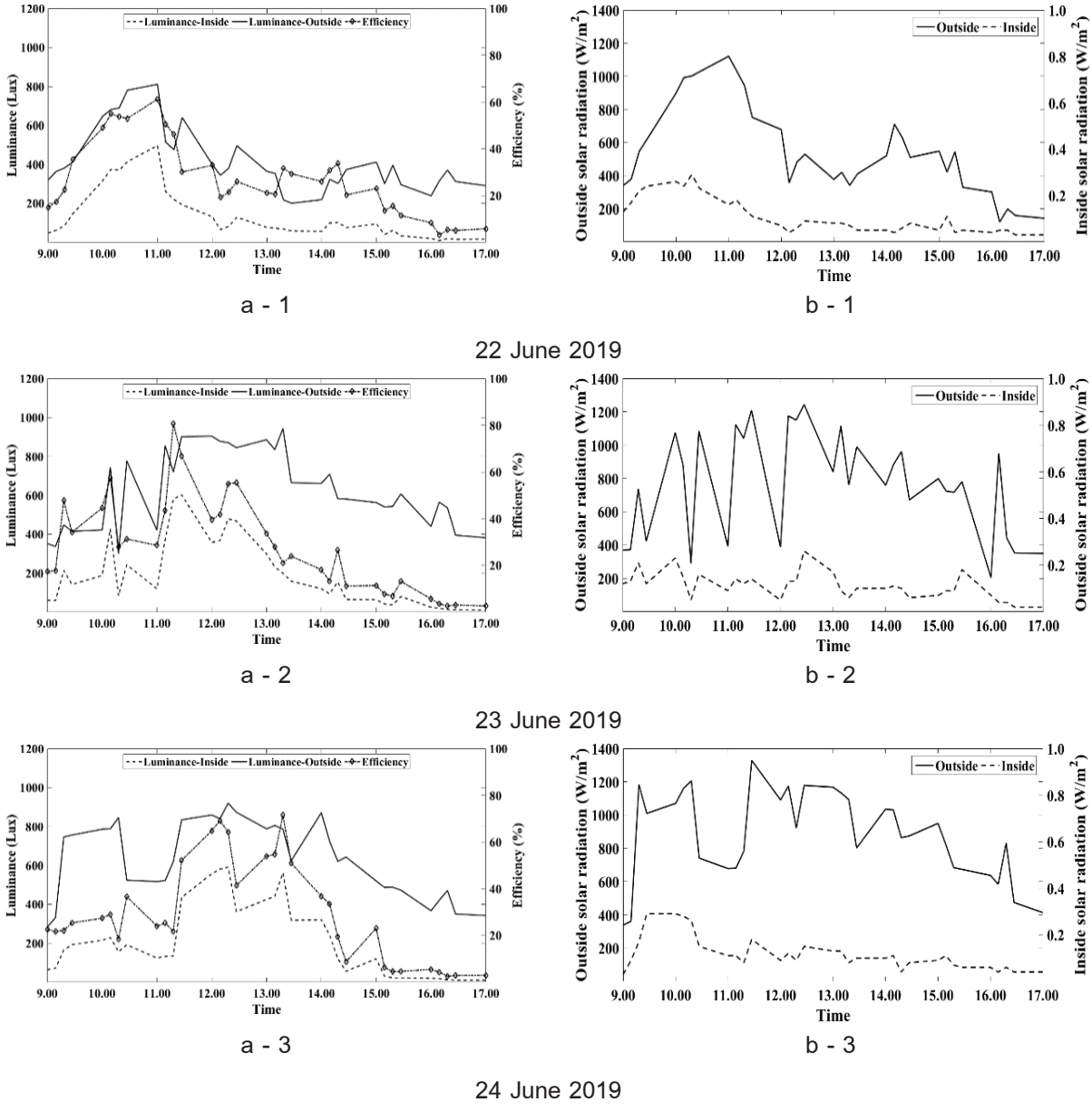


Figure 7 (a) Luminance and efficiency of light pipe, and (b) Outside and inside solar radiation (Without LED lamp)

(3.2) ท่อนำแสงที่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED แสดงดัง Figure 8

พบว่า เมื่อนำเอาหลอดไฟ LED ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับท่อนำแสง ค่าความเข้มแสงของท่อนำแสงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวัน แม้ว่าช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่าความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์จะลดลง จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้งานท่อนำแสงร่วมกับการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED จะช่วยให้คุณภาพ หรือความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับห้องหรือสถานที่ที่ต้องการปริมาณที่มีค่าความส่องสว่างที่สูงได้ อีกทั้งการใช้งานร่วมกับหลอดไฟ LED ยังช่วยลดความเสี่ยงที่จะต้องพึ่งพาแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวได้อีกด้วย

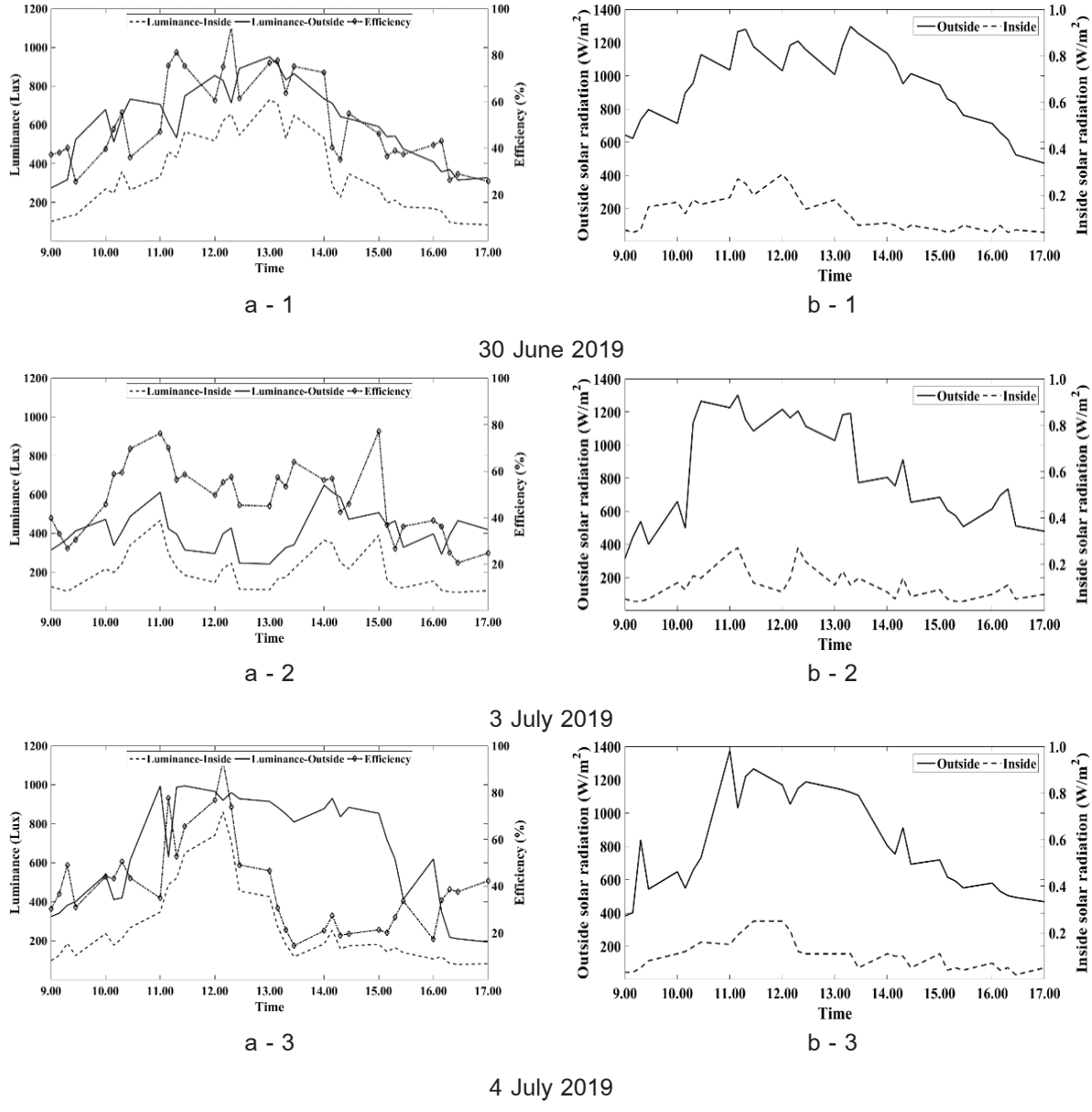


Figure 8 (a) Luminance and efficiency of light pipe, and (b) Outside and inside solar radiation (With LED lamp)

(4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย: ตัวแปรสำคัญที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์คือ “ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple pay-back period)” โดยในงานวิจัยได้คิดค่าใช้จ่ายในส่วนของเงินลงทุนของแผ่นสังกะสีเพียงอย่างเดียวเนื่องจากได้กำหนดให้เลนส์เฟรแนลเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ โดยได้กำหนดให้เงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 1,000 บาท (รวมราคาของวัสดุ ค่าจ้างสำหรับพับ และม้วนท่อสังกะสีที่มีความยาว 2 เมตร ค่าใช้จ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และหลอดไฟ LED) เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสง คือ 400 ลักซ์ ซึ่งสามารถเทียบกับหลอดไฟขนาด 8 วัตต์ และใน 1 ปี กำหนดให้ท่อนำแสงทำงานได้ 330 วัน วันละ 7 ชั่วโมง ดังนั้นท่อนำแสงจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หากค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ท่อนำแสงจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 92.5 บาทต่อปี และเมื่อคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย พบว่า ระยะเวลาคืนทุนของท่อนำแสงจะมีระยะเวลาประมาณ 10.8 ปี

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรแนล (Fresnel lens) โดยในการศึกษาได้นำเลนส์เฟรแนลที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรวมแสงร่วมกับท่อนำแสงที่ทำจากแผ่นสังกะสีที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป ในการศึกษาจะเป็นการทดสอบเพื่อหาระยะการนำแสงที่ดีที่สุดของท่อนำแสงแนวนอน จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะในการนำเอาท่อนำแสงไปใช้ในบริเวณต่างๆ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัสที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรแนลจะอยู่ในช่วงความสูงระหว่าง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยช่วงความสูงดังกล่าวจะส่งผลให้มีค่าความส่องสว่าง (ลักซ์) อยู่ในช่วงที่สูงที่สุดคือ 399 ถึง 553 ลักซ์

(2) ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ระยะความยาวประมาณ 200 เซนติเมตร จะเป็นระยะที่ดีที่สุด และการติดตั้งกระจกเงาเพื่อช่วยการสะท้อนแสงตรงบริเวณข้องอของท่อนำแสงจะช่วยให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มสูงขึ้น

(3) การติดตั้งหลอดไฟ LED จะช่วยเพิ่มศักยภาพหรือความสามารถในการที่จะนำเอาท่อนำแสงมาประยุกต์ใช้งานในอาคาร หรือภายนอกอาคารได้ โดยค่าความส่องสว่างที่สามารถนำท่อนำแสงไปใช้งานนั้นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 400 ลักซ์

(4) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย พบว่า ระยะเวลาคืนทุนของท่อนำแสงจะมีระยะเวลาประมาณ 10.8 ปี โดยที่ท่อนำแสงจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือประมาณ 92.5 บาทต่อปี เมื่อคิดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก สำหรับสถานที่ทำวิจัย และขอขอบคุณ นายสิปปกร เพ็ชรอ่อน, นายภูวนาท ยอดเพชร, นายโชติวรวิทย์ งามจิตร์, และนายกิตติยุต อินทนนท์ ที่ช่วยดำเนินการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. Sonsaree S, Asaoka T, Jiajitsawat S, Aguirre H, Tanaka K. A small-scale solar Organic Rankine Cycle power plant in Thailand: Three types of non-concentrating solar collectors. Solar energy. 2018;162: 541-60.
2. DEDE. Solar hot water: Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE); 2017 [cited 2017 1 January]. Available from: http://www.solarhotwaterdede.com/en/.
3. Kocifaj M, Petržala J. Designing of light-pipe diffuser through its computed optical properties: A novel solution technique and some consequences. Solar Energy. 2019; 190: 386-95.
4. Vasilakopoulou K, Kolokotsa D, Santamouris M, Kousis I, Asproulias H, Giannarakis I. Analysis of the experimental performance of light pipes. Energy and Buildings. 2017; 151: 242-9.
5. Sharma L, Ali SF, Rakshit D. Performance evaluation of a top lighting light-pipe in buildings and estimating energy saving potential. Energy and Buildings. 2018; 179: 57-72.
6. ภิญโญ ชุมมณี, จันทกานต์ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์ และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล, editor การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงในอาคารในภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย. การประชุมเสนอผลงานการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4; 2549 31 มีนาคม 2549; มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

7. นศมา เพี้ยนภักตร์. รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.
8. Mohelnikova J. Tubular light guide evaluation. Building and environment. 2009; 44(10): 2193-200.
9. บริรักษ์ อินทรกุลไชย. การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 ฉบับที่ 2. 2553: 14-26.
10. ศิวดล อุปพงษ์, ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง (Daylighting in Building Through a Vertical Light Pipe). วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2556: 78-85.
11. กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง. 2561.
12. Swift P, Smith G. Cylindrical mirror light pipes. Solar Energy Materials and Solar Cells. 1995;36(2): 159-68.
13. Chirarattananon S, Chedsiri S, Renshen L. Daylighting through light pipes in the tropics. Solar energy. 2000;69(4): 331-41.
14. Jenkins D, Muneer T. Light-pipe prediction methods. Applied energy. 2004;79(1): 77-86.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ

Factors affecting musculoskeletal disorders of workers in the silk weaving professions in Chaiyaphum province

มาโนช ริทินโย*[1], อมรศักดิ์ มาใหญ่[1], ภรณี หลาวทอง[2]
Manote Rithinyo*[1], Amornsak Mayai[1], Poranee Loatong[2]

Received: 16 September 2019 ; Revised: 11 November 2019 ; Accepted: 26 November 2019

บทคัดย่อ

ความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงานเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกและปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ จำนวน 150 คน เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามที่ประยุกต์จาก Standardized Nordic questionnaire และประยุกต์ใช้แบบประเมินความเสี่ยงอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของกรมควบคุมโรค วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการถดถอยพหุคูณ (Binary logistic regression) ผลการศึกษา พบว่าตำแหน่งที่มีการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหมมากที่สุด คือ เท้า ข้อเท้า ก้นและ สะโพก คิดเป็นร้อยละ 100 หลังส่วนล่าง และ เข่า คิดเป็นร้อยละ 98.00 และ 96.67 ตามลำดับ ปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม ได้แก่ ดัชนีมวลกาย ขณะทอผ้าไหมต้องมีการออกแรงบีบหรือกด การบิดหมุนลำตัวหรือเอี้ยวตัว เวลาการทอผ้าไหมต่อวัน การก้มต่อเนื่อง และอายุของผู้ทอผ้าไหม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ การทอผ้าไหม หลักการยศาสตร์

Abstract

Musculoskeletal disorders of worker in the silk weaving professions have become a significant problem affecting production effectiveness. This study explores the prevalence rate and factors affecting musculoskeletal disorders of 150 members of the silk weaving profession in Chaiyaphum province. The data was collected by using questionnaires applied from the Standardized Nordic questionnaire and the musculoskeletal disorders evaluation form developed by The Department of Disease Control. The data was analyzed in statistic descriptive and binary logistic regression. The results revealed that 100% of silk weaving professionals had problems with muscle aches mostly affecting their feet, ankles, bottoms. Lower back pain and knee pain were reported at 98.00 % and 96.67% respectively. Factors affecting the musculoskeletal disorders were 1) the body mass index, 2) the exertion to press or squeeze objects during weaving, 3) the exertion of twisting their bodies back and forth during weaving, 4) duration of weaving time per day, 5) the continuous bending down of their heads to work, 6) the age of the workers.

Keywords: musculoskeletal disorders, weaving, ergonomics

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2] คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000
[1] Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima 30000
[2] Faculty of Management Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin 30000

บทนำ

ผ้าไหมเป็นสินค้าที่มีความสวยงามและมีเอกลักษณ์ อาชีพการทอผ้าไหมกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทยแต่ผ้าไหมที่มีชื่อเสียงส่วนใหญ่อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[1] จากการเปิดเสรีทางการค้าทำให้เกิดคู่แข่งและสภาพการแข่งขันในตลาดเพิ่มสูงขึ้นทำให้ผู้ประกอบการต้องปรับตัวรับการกับแข่งขัน เนื่องจากสินค้าที่มีคุณภาพต่ำ ต้นทุนต่ำหรือสินค้าที่สามารถใช้ทดแทนกันได้จะเข้ามาจำหน่ายในประเทศมากขึ้น แนวทางที่สามารถสร้างความเข้มแข็งให้กับกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมและกลุ่มวิสาหกิจชุมชน คือ การมุ่งเน้นการพัฒนาความสามารถการใช้ทุนมนุษย์ ทุนกายภาพและทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับสินค้าและบริการ (Value Creation) และการเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency) ในกระบวนการผลิต ซึ่งเรียกว่า ผลิตภาพการผลิต (Productivity)[2]

ความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal Disorders; MSDs) ของผู้ปฏิบัติงานเป็นปัญหาสำคัญ ที่ส่งผลต่อผลิตภาพการผลิต ประชากรโลกร้อยละ 60-80 มีปัญหาความผิดปกติของโครงร่างและกล้ามเนื้อ[3] เมื่อพิจารณาปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศสมาชิกประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมีลักษณะคล้ายกับกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมของไทย เช่น กลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมของประเทศอินโดนีเซีย พบว่าข้อจำกัดในเรื่องเทคโนโลยี[4] เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตผ้าไหมทอมือ พบว่าปัญหาของกระบวนการผลิต คือ ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ ซึ่งมีสาเหตุจากความเมื่อยล้าและการทำงานผิดหลักการยศาสตร์[5] ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของวิสาหกิจชุมชนผ้าไหมทอมือมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านคน (ความรู้ อายุ และทักษะ) รองลงมาคือ ปัจจัยด้านวิธีการ ได้แก่ สภาพแวดล้อม (ความร้อน) และท่าทางขณะปฏิบัติงาน[6] ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของโครงร่างและกล้ามเนื้อของบุคคล ได้แก่ อายุ เพศ ขนาดของร่างกาย ภาวะสุขภาพ ปัจจัยด้านการทำงาน ได้แก่ สภาพแวดล้อมการทำงาน ระยะเวลาการทำงานมากเกินไป ปัจจัยด้าน การยศาสตร์ (ท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม การงอตัวและการบิดตัว เอี้ยวหลัง และการเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆ ของแขนและมือ)[7] เมื่อพิจารณาความผิดปกติของกระดูกและกล้ามเนื้อ พบว่าส่วนใหญ่มีความผิดปกติกับบุคคลวัยแรงงานซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการทำงานส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของบุคคลนั้น[8] จากการสำรวจสถานประกอบการภาคเอกชนจำนวน 250,000 แห่ง พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 14 เท่า และเมื่อปี ค.ศ. 2013 ผู้ปฏิบัติงานมีอัตราการเจ็บป่วยด้วยโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 327.50 คนต่อประชากรหนึ่งพันคน[9]

กระบวนการทอผ้าไหมด้วยมือมีลักษณะการทำงานอยู่ในท่านั่งใช้มือและเท้าทำงานตลอดเวลา ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ[10] จากข้อมูลการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานทอผ้าด้วยมือในแถบตะวันตกของอ่าวเบงกอล พบว่าปัญหาระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อส่วนใหญ่เกี่ยวข้องและต่อเนื่องจากการทำงาน[11] โดยเพศหญิงมีความเสี่ยงจากการปวดหลังส่วนบนและส่วนล่างประมาณ 2 เท่าของผู้ปฏิบัติงานทั่วไป ซึ่งทำให้เกิดปัญหาบาดเจ็บสะสมต่อระบบกระดูก กล้ามเนื้อและเส้นประสาท[12] มีสาเหตุจากท่าทางการทำงานหรือการเคลื่อนไหวซ้ำๆ (*Repetitive* Motion Disorders) อย่างต่อเนื่อง[13]

เมื่อพิจารณากระบวนการทอผ้าไหมในจังหวัดพะเยา พบว่า มีการทำงานผิดหลักการยศาสตร์ มีสาเหตุจากการออกแบบสถานีงานและท่าทางการทำงานไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ ทำให้เกิดปัญหากับระบบโครงร่างและกล้ามเนื้ออวัยวะที่เกิดปัญหามากที่สุดคือ ไหล่ เอว และหลังส่วนบนตามลำดับ[14] เมื่อพิจารณาหลักการทอผ้าไหมด้วยมือเริ่มจากนำเส้นไหมยืนร้อยผ่านตะกอซึ่งทำจากเชือกไนลอน ด้านล่างของกี่ทอผ้าจะผูกเชือกให้ตะกอติดกับคานเหยียบ เมื่อต้องการดึงแยกเส้นไหมยืนให้เป็นช่องว่าง ผู้ปฏิบัติงานใช้เท้าเหยียบที่คานเหยียบเพื่อให้ตะกอเลื่อนขึ้น-ลง เกิดเป็นช่องว่างสำหรับพุ่งกระสวยที่บรรจุหลอดเส้นไหมพุ่งเข้าไปเพื่อให้เส้นไหมพุ่งสานขัดกับเส้นไหมยืน เมื่อพิจารณาลักษณะการใช้เท้าเหยียบคานเหยียบของผู้ปฏิบัติงาน พบว่า ลักษณะขาท่อนบนและขาท่อนล่างของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางด้านหน้าซึ่งต้องออกแรงเหยียบมากกว่าปกติ อาจทำให้เกิดปัญหากับระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ การแก้ปัญหาโดยใช้หลักการทางด้าน การยศาสตร์สามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาได้เนื่องจากให้ความสำคัญกับการออกแบบงานที่เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน[14] ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงานและปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหมจังหวัดชัยภูมิทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนากระบวนการทอผ้าไหมให้มีวิธีการทำงานถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ในลำดับถัดไป

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross-section analytic study) กลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบอาชีพทอผ้าไหม ดัง Figure 1 โดยเป็นเพศหญิงทั้งหมด จำนวน 160 คน คำนวณจากตารางสำเร็จรูปของเครจซี่และมอร์แกน[15] การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยใช้วิธีจับสลาก เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างมีโอกาสที่ได้รับการคัดเลือกอย่าง

เท่าเทียมกัน ดำเนินการสำรวจข้อมูลการทำงาน ข้อมูลความชุกของการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงานทอผ้าไหม และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการถดถอยพหุคูณ (Binary logistic regression) กำหนดให้ระดับนัยสำคัญ Alpha (α)=0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

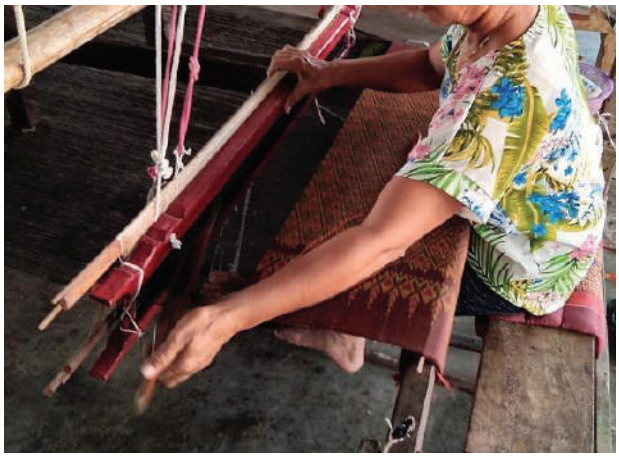


Figure 1 silk weaving

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา

การศึกษานี้ใช้แบบสอบถามที่ประยุกต์จาก Standardized Nordic questionnaire[16] โดยมีเนื้อหาครอบคลุมข้อมูลของอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ซึ่งได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ และประยุกต์ใช้แบบประเมินความเสี่ยงอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของกรมควบคุมโรค[17] ประกอบด้วย ประวัติส่วนบุคคล สภาวะสุขภาพที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ ประวัติการทำงาน/งานอดิเรก (หลังการเลิกงาน) การสำรวจอาการความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ประเมินสภาพแวดล้อมการทำงาน และข้อสรุปบ่งชี้โอกาสเป็นความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เพื่อประเมินความเสี่ยงอาการผิดปกติของผู้ปฏิบัติงานทอผ้าไหม

ผลการศึกษา

การสำรวจข้อมูลสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหมจังหวัดชัยภูมิ พบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 52.87 ปี ดัชนีมวลกายเฉลี่ย (Body Mass Index: BMI) 24.80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หมายถึง น้ำหนักเกิน (โรคอ้วนระดับที่ 1) ประสบการณ์การทอผ้าไหมเฉลี่ย 11.55 ปี เวลาการทำงาน 7.23 ชั่วโมงต่อวัน และสามารถทอผ้าไหมได้เฉลี่ย 1177.13 มิลลิเมตรต่อวัน หรือประมาณ 1.177 เมตร ดัง Table 1

Table 1 Work data of the members of the silk weaving group in Chaiyaphum Province

	Age (Years)	BMI (kg/m^2)	Working time (year)	working time (Hours per day)	Break time (Minutes per day)	Number of work days (Days per week)	Pedal force (Pounds per time)	Silk length per day (Millimeters)
Mean	52.87 (29-71)	24.80 (16.49-35.13)	11.55 (3-23)	7.23 (3-9)	42.67 (30-105)	6.21 (2-7)	24.92 (22.43-26.54)	1177.13 (55.8-186.5)
standard deviation	8.33	3.59	4.14	1.31	15.17	1.18	1.05	23.55

ผลการศึกษาข้อมูลด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม โดยใช้แบบสัมภาษณ์ พบว่า อาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมเกิดขึ้นทุกวัน คิดเป็นร้อยละ 76.67 ซึ่งผลของการเกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมยังมีต่อเนื่องจากเมื่อวาน คิดเป็นร้อยละ 72.67 ซึ่งเกิดจากท่าทางการทำงานที่ซ้ำซากหรือการเคลื่อนไหวซ้ำๆ และไม่ถูกต้องตามหลักกลศาสตร์การเคลื่อนไหว ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บสะสมต่อระบบกระดูก กล้ามเนื้อและเส้นประสาท รวมทั้งทำให้เกิดความเครียดในระหว่างการทำงานได้[18] ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 52.87 ปี เมื่ออายุมากขึ้นจะทำให้มีอาการปวดทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อมากกว่าผู้ที่มีอายุน้อยถึง 2.22 เท่า[19] วิธีการลดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมด้วยการหยุดพักเป็นระยะประมาณ 5-10 นาที เพื่อลดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ คิดเป็นร้อยละ 82.67 และหากต้องการรักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ใช้วิธีการนวดด้วยยา คิดเป็นร้อยละ 91.33 ดัง Table 2

Table 2 Occupational health and safety information of members of the silk weaving group in the silk weaving work station. (n=150)

Factors	Number of members	Percentage
The frequency of muscle aches		
1. Muscle aches every day	115	76.67
2. Muscle aches 3-4 times a week	24	16.00
3. Muscle aches 1-2 weeks at a time	11	7.33
4. Muscle aches 1 time per month	0	0.00
5. Muscle aches 1-5 times per year	0	0.00
The effect of muscle aches from silk weaving		
1. Muscle aches from the previous day	109	72.67
2. No muscle aches	41	27.33
Reducing muscle aches		
1. Taking a break for 5-10 minutes	124	82.67
2. Taking a break for 1 day	21	14.00
3. Taking a break for 2-3 days	5	3.33
4. Taking breaks for 4-5 days	0	0.00
Treating of muscle aches		
1. Massage with medicine	137	91.33
2. Going to the doctor	13	8.67

ผลของอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหม เกิดขึ้นทุกวันและต่อเนื่องจากเมื่อวาน ซึ่งพบว่าบริเวณปวดเมื่อยกล้ามเนื้อมากที่สุด คือ เท้า ข้อเท้า กันและสะโพก คิดเป็นร้อยละ 100 หลังส่วนล่างและเข่า เกิดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ คิดเป็นร้อยละ 98.00 และ 96.67 ตามลำดับ ดัง Table 3 ซึ่งเกิดจากการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน (เวลาการทำงานเฉลี่ย 7.23 ชั่วโมงต่อวัน) แต่มีเวลาพักค่อนข้างน้อย (42.67 นาทีต่อวัน) ซึ่งการนั่งทำงานต่อเนื่องกันมากกว่า 4 ชั่วโมง จะมีความสัมพันธ์กับภาวะการปวดหลัง[20] เมื่อพิจารณาลักษณะการใช้เท้าเหยียบคานเหยียบของผู้ปฏิบัติงานที่มีลักษณะขาท่อนบนและขาท่อนล่างอยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางด้านหน้า ซึ่งต้องออกแรงเหยียบมากกว่าปกติและเกร็งขาตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดปัญหากล้ามเนื้อหดเกร็ง (Muscle pain syndrome) ซึ่งเป็นอาการปวดกล้ามเนื้อเฉพาะจุด เนื่องจากกล้ามเนื้อมัดนั้นๆ ทำงานหนักและหดตัวเป็นเวลานาน

Table 3 The prevalence of skeletal and muscular disorders (n=150)

Data	7 days		1 year	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent
Neck	26	17.33	25	16.67
Left shoulder	90	60.00	94	62.67
Right shoulder	90	60.00	93	62.00
Upper back	142	94.67	141	94.00
Left upper arm	57	38.00	60	40.00
Right upper arm	61	40.67	59	39.33
Left elbow	114	76.00	115	76.67
Right elbow	114	76.00	116	77.33
Lower back	147	98.00	146	97.33
Left lower arm	124	82.67	123	82.00

Table 3 The prevalence of skeletal and muscular disorders (n=150) (cont.)

Data	7 days		1 year	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent
Right lower arm	97	64.67	98	65.33
Buttocks and hips	150	100.00	150	100.00
Left hand and wrist	90	60.00	92	61.33
Right hand and wrist	99	66.00	98	65.33
Thigh	76	50.67	78	52.00
knee	145	96.67	145	96.67
calf	76	50.67	75	50.00
Foot and ankle	150	100.00	150	100.00

จาก Table 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ได้แก่ 1) ดัชนีมวลกาย 2) การออกแรงบีบหรือกด 3) การบิดหมุนลำตัวหรือเอี้ยวตัว 4) เวลาการทอผ้าไหมต่อวัน 5) การก้มต่อเนื่องขณะทำงาน และ 6) อายุของผู้ทอผ้าไหม

Table 4 Factors affecting skeletal and musculoskeletal disorders (n=150)

Factors	Crude OR	Adjusted OR	p-value
Age (Years)	1.929	4.928	0.049*
BMI (kg/m2)	1.162	2.140	0.032*
Working time (year)	1.182	1.168	0.174
Working time (Hours per day)	2.856	4.841	0.046*
Break time (Minutes per day)	1.030	1.029	0.269
Number of work days (Days per week)	0.918	0.903	0.697
Complete or focus work for 3-5 minutes during weaving	1.155	1.010	0.990
Sitting for more than half of work time without changing posture	0.374	0.427	0.208
Weight down on one side of the body	0.368	0.381	0.155
Reaching above the shoulder to pick up or hold the material	0.302	0.404	0.493
The exertion of twisting their bodies back and forth during weaving	1.468	4.515	0.041*
The continuous bending down of their heads to work	2.785	3.824	0.048*
Repetitive raised neck or back during weaving	0.772	0.733	0.642
Hands or arms working in repetitive movements (at least 30 minutes)	1.137	2.241	0.070
The exertion of pressing or squeezing objects during weaving	3.536	5.549	0.036*
Constant			**0.640**

เมื่อพิจารณาปัญหาของกระบวนการทอผ้าไหม คือ ประสิทธิภาพต่ำ[5] เมื่อวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา พบว่า อุปกรณ์คานเหยียบซึ่งเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ดึงแยกเส้นไหมยืนให้เป็นช่องว่างสำหรับพุ่งกระสวยที่บรรจุหลอดเส้นไหมพุ่งเข้าไปเพื่อให้เส้นไหมพุ่งสานขัดกับเส้นไหมยืน อุปกรณ์คานเหยียบทำด้วยไม้ส่วนใหญ่ติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เที่ยงตรง ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องใช้แรงเหยียบเฉลี่ย 24.92 ปอนด์ต่อ 1 ครั้ง จาก Table 4 พบว่าขณะทอผ้าไหมผู้ปฏิบัติงานต้องมีการออกแรงบีบหรือกดเสมอ (แรงเหยียบคานเหยียบ) ซึ่งมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 5.549 เท่า รวมทั้งเมื่อดัชนีมวลกายมากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เท่ากับ 2.140 เท่า เมื่ออายุของผู้ปฏิบัติงานมากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 4.928 เท่า

รวมทั้งเมื่อใช้เวลาการทอผ้าไหมมากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 4.841 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีลักษณะการทำงานดังกล่าว

Figure 2 The use of foot pedals for wooden beams

จาก Table 2 ลักษณะขาท่อนบนและขาท่อนล่างของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางด้านหน้า ทำให้ต้องออกแรงเหยียบมากกว่าปกติ ซึ่งมีสาเหตุจากระยะห่างของผู้ปฏิบัติงานกับคานเหยียบห่างกันมากเกินไปและการออกแบบคานเหยียบไม่ถูกต้อง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องมีการบิดหมุนลำตัวหรือเอี้ยวตัว ส่งผลให้มีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เท่ากับ 4.515 เท่า รวมทั้งการก้มต่อเนื่องขณะทำงานทำให้มีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เท่ากับ 3.824 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีลักษณะการทำงานดังกล่าว

วิจารณ์และสรุปผล

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ เพื่อให้การทำงานถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอันตราย ป้องกันโรคและการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงานทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น[17] ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องให้ข้อมูลและความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้องและเข้าใจถึงสาเหตุของอาการปวดเมื่อยโครงร่างและกล้ามเนื้อ[21] ผลการสำรวจข้อมูลการทำงานของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหมจังหวัดชัยภูมิ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 52.87 ปี ประสบการณ์การทอผ้าไหมเฉลี่ย 11.55 ปี เวลาการทำงานเฉลี่ย 7.23 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเป็นระยะเวลาทำงานที่เหมาะสม (ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน) เพราะการนั่งทำงานในท่าเดียวเป็นเวลานาน หรือนานกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งของอาการปวดหลังส่วนล่าง[22,23] แต่การนั่งทำงานต่อเนื่องกันมากกว่า 4 ชั่วโมง จะมีความสัมพันธ์กับภาวะการปวดหลัง[20] และมีผลทำให้เกิดการเสื่อมของข้อเกิดขึ้นก่อนวัยอันสมควร[24]

ผลการศึกษาข้อมูลด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย พบว่า อาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมเกิดขึ้นทุกวัน คิดเป็นร้อยละ 76.67 ซึ่งเกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อต่อเนื่องจากเมื่อวาน คิดเป็นร้อยละ 72.67 วิธีการลดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าด้วยการหยุดพักเป็นระยะประมาณ 5-10 นาที คิดเป็นร้อยละ 82.67 กรณีต้องการรักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ใช้วิธีการนวดด้วยยา คิดเป็นร้อยละ 91.33 การสำรวจอาการความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย 12 บริเวณของร่างกาย ได้แก่ คอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบน ข้อศอก แขนส่วนล่าง มือ/ข้อมือ สะโพก/ต้นขา หัวเข่า น่อง และเท้า ครอบคลุมตามปัญหาการยศาสตร์[25,26] พบว่าสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมมีอาการความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อมากที่สุด คือ เท้า ข้อเท้า ก้นและสะโพก คิดเป็นร้อยละ 100 ผลของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเกิดจากอุปกรณ์คานเหยียบซึ่งเป็นกลไกทำหน้าที่ดึงแยกเส้นไหมยืนให้เป็นช่องว่างสำหรับพุ่งกระสวย ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องใช้แรงเหยียบเฉลี่ย 24.92 ปอนด์ต่อ 1 ครั้ง พร้อมกับการก้มลำตัวไปด้านหน้าลักษณะการเคลื่อนไหวดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเกิดความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อบริเวณกระดูกสันหลัง[27] ส่งผลให้หลังส่วนล่างและเข่าเกิดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 98.00 และ 96.67 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปัญหาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพการทอผ้าด้วยมือในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยที่มีความชุกของการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างพบมากที่สุด[14]

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม พบว่าขณะทอผ้าไหมผู้ปฏิบัติงานต้องมีการออกแรงบีบหรือกด (แรงเหยียบคานเหยียบ) ทำให้มีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 5.549 เท่า เมื่อสรีระของผู้ปฏิบัติงาน (ดัชนีมวลกาย) มากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 2.140 เท่า เมื่ออายุของผู้ปฏิบัติงานมากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 4.928 เท่า รวมทั้งเมื่อใช้เวลาการทอผ้าไหมมากขึ้นมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเท่ากับ 4.841 เท่า ขณะทอผ้าไหมผู้ปฏิบัติงานต้องมีการบิดหมุนลำตัวหรือเอี้ยวตัวมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เท่ากับ 4.515 เท่า และการก้มต่อเนื่องขณะทำงานมีโอกาสเกิดอาการ

ผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ เท่ากับ 3.824 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีลักษณะการทำงานดังกล่าว ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมของท่าทางการทำงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับภาวะความไม่สบายจากการทำงาน (discomfort level) รวมทั้งท่าทางการทำงานยังเพิ่มความเสี่ยงและสัมพันธ์กับการเกิดการบาดเจ็บ โรค หรือความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงานได้[8] รวมทั้งยังพบว่าท่าทางการทำงาน เช่น การยืน การงอตัวและการเอี้ยวหลัง การเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆ ของแขนและมือที่ออกแรงมากมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ[28] เนื่องจากการทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆ ต้องทำกิจกรรมเดิมๆ ซ้ำๆ กัน (repetitive movement) เป็นระยะเวลานานจะส่งผลทำให้กล้ามเนื้อถูกใช้งานในการเคลื่อนไหวซ้ำๆ กัน ซึ่งทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้[29] ดังนั้นลักษณะการทอผ้าไหมที่นั่งอยู่กับกี่ทอผ้าที่ไม่เหมาะสม ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์เป็นเวลานาน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้ทอผ้าไหมประสบกับอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ[10]

โดยสรุปของการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม จังหวัดชัยภูมิ พบว่าการเกิดความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อมีความชุกสูง ซึ่งสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมเกิดขึ้นทุกวันและต่อเนื่องจากเมื่อวาน วิธีการลดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทอผ้าไหมด้วยการหยุดพักเป็นระยะประมาณ 5-10 นาที และส่วนใหญ่รักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อด้วยการนวดด้วยยา ตำแหน่งการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมมากที่สุด คือ เท้า ข้อเท้า กันและสะโพก หลังส่วนล่างและเข่า และปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของสมาชิกกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม ได้แก่ 1) ดัชนีมวลกาย 2) การออกแรงบีบหรือกด 3) การบิดหมุนลำตัวหรือเอี้ยวตัว 4) เวลาการทอผ้าไหมต่อวัน 5) การก้มต่อเนื่องขณะทำงานเสมอ และ 6) อายุของผู้ทอผ้าไหม

ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้อาจใช้สำหรับการออกแบบวิธีการทำงานและเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อลดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงานของกลุ่มอาชีพทอผ้าไหม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำหรับการสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณประธานและสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมจังหวัดชัยภูมิทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยให้งานวิจัยดังกล่าวนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Bunchu S., Rakphong N. (2012). Wisdom of Indigenous Thai Silk Yarn. Department of Sericulture, Ministry of Agriculture and Cooperatives.1-30.
2. Porter ME. (1990). The competitive advantage of nations (London and Basingstoke).
3. Youprasert, A. (2009). Factors affecting decision of patients with myopathy to choose Thai traditional massage services at public health care unit Lamphun municipality. Chiang Mai University: Chiang Mai.
4. Irjayanti M, Azis AM. (2012). Barrier factors and potential solutions for Indonesian SMEs. Procedia Economics and Finance. 1 (4): 3-12.
5. Rithinyo M. (2017).Factors affecting the production efficiency of the ommunity Enterprise Silk in Nakhonratchasima province. Engng.J.CMU; 24: 180-193
6. Rithinyo M., Lonkuntos N., Ounthaisong A.. Insorn W. (2017) The development of Silk Weft preparation Machine by ECRS technique. UBU Engineering Journal. 10(2): 52-61
7. Chang, J. H., Wu, J. D., Liu, C. Y., & Hsu, D. J. (2012). Prevalence of musculoskeletal disorders and ergonomic assessments of cleaner. American Journal of Industrial Medicine, 55(7): 593-604.
8. Garcia PP, Pinelli C, dos Reis Derceli J, Campos JÁ. (2012). Musculoskeletal disorders in upper limbs in dental students: exposure level to risk factors. Brazilian Journal of Oral Sciences. 11(2): 148-153.
9. Bureau of Labor Statistics. (2013). Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring daysaway formwork. [cited 2017 Jun 29] ; Available from: URL//bls.gov/iif/home.htm
10. Choobineh A, Hosseini M, Lahmi M, Jazani RK, Shahnavaz H. (2007). Musculoskeletal problems in Iranian hand-woven carpet industry: Guidelines for workstation design. Applied ergonomics. 38(5): 617-624.

11. Banerjee P, Gangopadhyay S. (2003). A study on the prevalence of upper extremity repetitive strain injuries among the handloom weavers of West Bengal. Journal of human ergology. 32(1): 17-22.
12. Nag A, Vyas H, Nag PK. (2010). Gender differences, work stressors and musculoskeletal disorders in weaving industries. Industrial health. 48(3): 339-48.
13. Kroemer KH. (1989). Cumulative trauma disorders: their recognition and ergonomics measures to avoid them. Applied ergonomics. 20(4): 274-280.
14. Chantaramanee N., Taptagaporn S. and Piriyaprasarth P. (2014). Work-Related Musculoskeletal Problems of Hand Loom Weaving Group in Northern Thailand. Journal of Safety and Health. 7: 29-40.
15. R V Krejcie, D W Morgan. (1970). Determining Sample Size for Research Activities Education and Psychological Measurement, volume 30, issue 3, p. 607-610.
16. I. Kuorinka BJt, A. Kilbom, H. Vinterberg t t, F. Biering-S6rensen, G. Andersson, et al,. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. Applied Ergonomics. 18(3): 7-233
17. Chuppawa W, Aungudornpukdee P. (2017). Prevalence and Factors affecting Musculoskeletal Disorders among Cleaners.Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST). 25(1): 23-31.
18. van den Berg, T. I. J., Elders, L. A. M., de Zwart, B. C. H. and Burdorf, A. (2009). The effects of work-related and individual factors on the Work Ability Index: a systematic review. Occupational and Environmental Medicine, 66(4), 211-220. doi: 10.1136/oem.2008.039883
19. Bergman, S., Herrstrom, P., Hogstrom, K., Petersson, I.F., Svensson, B., & Jacobsson, L.T. (2001). Chronic musculoskeletal pain, prevalence rates, and sociodemographic associations in a Swedish population study. J Rheumatol. 28(6): 1369-1377.
20. Bernard BP. Musculoskeletal disorder and workplace factor: Critical review of epidemiology evidence for work-related musculoskeletal disorder of the neck, upper extremity and low back. 1997 [cited 2014 Aug 22]. Available from: http://www.cdc.gov/niosh/97-141pd.html.
21. Wendy, H. (2008). "The effect of body mechanics education on the work performance of fruit warehouse workers". 31(4): 461-471.
22. Massaccesi M, Pagnotta A, Soccetti A, Masali M, Masiero C, Greco F. (2003). Investigation of work-related disorders in truck drivers using RULA method. Applied ergonomics. 34(4): 7-303.
23. Promsri A. (2015). Posture and work-related injury in Ban Ngiew's stone mortar workers, Phayao Province. Srinagarind Medical Journal. 30(5): 467-73.
24. Meksawasdicha N., Visuttisir T., Dangsawa N. (2011). Occupational Health Risks and Safety Working Behavior of Informal Labours in Pranakorn Sri Ayutthaya Province. Disease Control Journal. 37(3): 9-151.
25. Silva C, Barros C, Cunha L, Carnide F. (2016). Santos M. Prevalence of back pain problems in relation to occupational group. International Journal of Industrial Ergonomics. 1: 52-8.
26. Maakip I, Keegel T, Oakman J. (2016). Prevalence and predictors for musculoskeletal discomfort in Malaysian office workers: Investigating explanatory factors for a developing country. Applied ergonomics. Mar 1(53): 7-252.
27. Chaiklieng S., Homsombat T. (2011). Ergonomic Risk Assessment by RULA among Workers of Rom Suk Broom Weaving. Srinagarind Med J 26(1): 35-40.
28. Sagar Waghambare Sunil Londhe Rupesh Rakibe Yashwant Nalawade Sneha Bire and Sachin Dixit. (2016). "Review on design and automation of axle assembly by using jig and fixture on conveyor process line": International Conference on Emerging Trends in Engineering and Management Research, Anjaneri. pp. 95-104. Nashik.
29. Brun E. (2009). The occupational safety and health of cleaning workers EU-OSHA. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities: European Agency for Safety and Health at Work.

การประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2: กรณีศึกษาลุ่มน้ำลำปาว

Estimation of Suspended Sediment Concentration in Rivers using Sentinel-2 Imagery: A Case Study of Lam Pao Basin

จุฬาวัลย์ นนตะพันธ์,[1] ศิวา แก้วปลั่ง[2*]
Jurawan Nontapon,[1] Siwa Kaewplang[2*]

Received: 22 January 2020 ; Revised: 13 march 2020 ; Accepted: 2 April 2020

บทคัดย่อ

การติดตามและตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีความสำคัญมากสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยแบบดั้งเดิมต้องใช้การสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำซึ่งต้องใช้เวลาและงบประมาณมาก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลสเปกตรัมจากการรับรู้ระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของแม่น้ำ ในลุ่มน้ำลำปาวโดยใช้อัลกอริทึมแบบถดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง 3 แบบ อัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และ อัลกอริทึม Support Vector Machine: SVM เพื่อประเมินอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึม Support Vector Machine ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำที่สุดและมีความสัมพันธ์ทางสถิติสูงที่สุด (R^2=0.863; RMSE=11.9) สำหรับข้อมูลทั้งหมดของค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (0 ถึง 90 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในช่วงระยะเวลาของการศึกษา วิธีการที่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการผสมผสานการเรียนรู้ของเครื่องจักรกับภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำอื่นๆ ถึงแม้ว่ายังมีปัจจัยบางอย่างที่มีอิทธิพลที่จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ

คำสำคัญ: การรับรู้ระยะไกล ดาวเทียม Sentinel-2 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย การเรียนรู้ของเครื่องจักร

Abstract

Monitoring and quantifying suspended sediment concentration (SSC) along rivers provides important information for reservoir management. Traditional monitoring based on in-situ sampling and measurement of SSC in rivers is expensive and time-consuming to perform. The objective of this study was to use spectral information provided by remote sensing from Sentinel-2 images in combination with machine learning to estimate the SSC of a river in the Lam Pao basin. Three machine-learning regression algorithms (Multiple Linear Regression, Deep Learning, and Support Vector Machine: SVM) were evaluated and a suitable model was created to estimate the SSC of the river. The results show that the Support Vector Machine model gave the most balanced results, with the lowest RMSE values and a high statistical correlation ($R^{2=}$0.863; RMSE=11.9) for the whole range of SSC (0 to 90 mg/l) measured at this station during the studied period. The methodology presented in this study can be used as a guideline for the combination of machine learning with Sentinel-2 images for estimation of the SSC other rivers, although some factors require further study to improve the accuracy of SSC estimation.

Keywords: Remote sensing, Sentinel-2 data, Suspended Sediment Concentration (SSC), Machine learning

---

[1] นิสิตปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Master degree student, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: Jurawannontapon@gmail.com
[2*] Corresponding author; Assist. Prof. Siwa Kaewplang, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: siwakaewplang@yahoo.com

บทนำ

ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) ในแม่น้ำบ่งบอกถึงอัตราการกัดเซาะและการพังทลายของดิน ที่ถูกพัดพาปะปนกับกระแสน้ำ เมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลง ตะกอนแขวนลอยจะเกิดการทับถม ส่งผลต่อการสะสมของตะกอนในแม่น้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาในแม่น้ำ ส่งผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำและคุณภาพน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพ[1-3]

การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ต้องทำการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างน้ำ และนำน้ำเข้าหาปริมาณตะกอนแขวนลอยในห้องปฏิบัติการซึ่งทุกขั้นตอนต้องใช้เวลารวมหลายวัน[4-5] และหากต้องการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยกับแม่น้ำที่มีความยาวมากๆ ต้องใช้แรงงาน เวลาและงบประมาณสูง โดยเฉพาะหากต้องการข้อมูลปริมาณตะกอนในอดีตก็ไม่สามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังได้ ดังนั้นเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม โดยเฉพาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพราะเป็นวิธีการที่ลดระยะเวลาและแรงงานในการสำรวจ[6-8]

หลายรายงานการศึกษา[1,9-13] แสดงให้เห็นว่าการรับรู้ระยะไกลสามารถใช้การประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงจากข้อมูลดาวเทียมแบบหลายช่วงคลื่น เพื่อประมาณค่าหาความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ

จากรายงานการวิจัยของ[14-17] แสดงให้เห็นว่าข้อมูลดาวเทียม Landsat TM และ ETM + ที่มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) 30 เมตร สามารถใช้ในการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำได้ โดยทำการพัฒนาอัลกอริทึมจากข้อมูลตะกอนจากสถานีตรวจวัดร่วมกับการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม Landsat ทั้งในแม่น้ำที่มีความขุ่นน้อย ปานกลาง และมากในช่วงข้อมูล 0-2610 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทุกรายการพบว่าช่วงคลื่น NIR เป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอย

รายงานการวิจัยของ[18] ใช้ข้อมูลดาวเทียม Terra MODIS ที่ใช้ข้อมูลภาพทุก 1-2 วัน เพื่อชดเชยข้อมูล Landsat ที่มีข้อมูลทุก 16 วัน ให้ข้อมูล 36 ช่วงคลื่น ในช่วงคลื่นที่ 3-7 ที่มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตร ผลการศึกษาพบว่าช่วงคลื่นที่ 2 และ 5 สามารถประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ Yangtze ได้

หลายรายงานวิจัยมีการใช้ข้อมูลดาวเทียมร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) แบบต่างๆ เช่น อัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM)[19-20] อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning: DL)[21] และอัลกอริทึม Support Vector Machine: SVM [22-23] ในการจำแนกข้อมูลและสร้างอัลกอริทึม

การวิจัยของ[24] ศึกษาการพัฒนาอัลกอริทึมหาความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากข้อมูลดาวเทียม Landsat และข้อมูล SSC ในแม่น้ำ Mississippi โดยอัลกอริทึมแบบ canonical correlation analysis เพื่อดึงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องมาสร้างอัลกอริทึม feed-forward neural network (FFNN) อัลกอริทึม cascade forward neural network (CFNN) และอัลกอริทึม Extreme learning machine (ELM) พบว่าทั้งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 4–5, Landsat 7 และ Landsat 8 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2>0.9 และสามารถสร้างแผนที่ SSC จากข้อมูลดาวเทียม Landsat

จากหลายรายงานการศึกษาที่กล่าวมา พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษาเรื่องการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย โดยจะทดสอบในลุ่มน้ำลำปาว จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลสเปกตรัมจากการรับรู้ระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำของลุ่มน้ำลำปาว โดยใช้อัลกอริทึมแบบถดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง 3 แบบประกอบด้วยอัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก และ อัลกอริทึม Support Vector Machine เพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และทำการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ค่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

วิธีการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำลำปาว สภาพลุ่มน้ำมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 140–150 เมตร ทิศเหนือติดต่อจังหวัดสกลนครและจังหวัดอุดรธานี โดยมีแม่น้ำลำปาวและห้วยลำพันชาดเป็นแนวกั้นแบ่งเขต ทิศใต้ ติดต่อจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดมหาสารคาม ทิศตะวันออก ติดต่อจังหวัดสกลนคร และจังหวัดมุกดาหารโดยมีสันปันน้ำของเทือกเขาภูพานเป็นแนวแบ่งเขต ทิศตะวันตก ติดต่อจังหวัดมหาสารคาม โดยมีแม่น้ำชีเป็นเส้นแบ่งเขต และบางส่วนติดกับจังหวัดขอนแก่น มีภูมิประเทศเป็นป่าไม้ เทือกเขาและเนินเขา มีพื้นที่ราบที่ใช้ทางการเกษตรภูมิอากาศโดยทั่วไป

จะมีลักษณะอากาศร้อนและค่อนข้างหนาวในฤดูหนาว ส่วนฤดูฝนจะมีฝนตกชุกช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม มีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,372 มิลลิลิตร/ปี อุณหภูมิสูงสุดที่ 41.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ 12.7 องศาเซลเซียส สถานีวัดที่เก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอย ในการศึกษาประกอบไปด้วยสถานี E.65 ตั้งอยู่ในแม่น้ำลำปาว สถานี E.67 ตั้งอยู่ในลำพันชาด สถานี E.76A ตั้งอยู่ในห้วยสังกะ และ สถานี E.90 ตั้งอยู่ในห้วยสังเคียบแสดงดังFigure 1 และ Table 1 โดยน้ำที่ผ่านสถานีวัดตะกอนที่ทำการศึกษาทั้งหมดจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนลำปาว

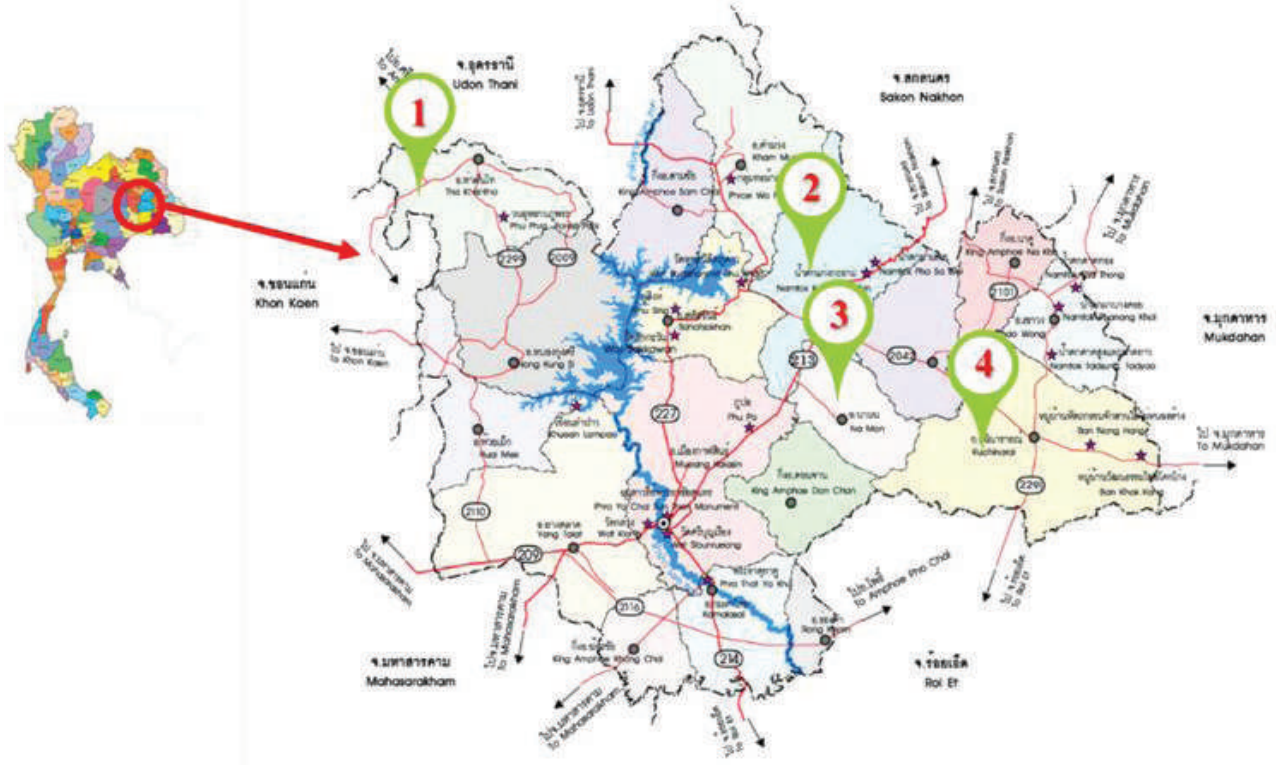


Figure 1 Location of the gauging station and measuring SSC data in this study

Table 1 Table showing suspended sediment data collection points in the study area.

No.	Station	River	Location	Longitude	Latitude
1	E.65	Lampao	Ban Tha Hai, Si That District, Udon Thani Province	E103 10 04.1	N16 57 06.0
2	E.67	Lam Phan Chad	Ban Tha Ngam, Kham Muang District, Kalasin Province	E103 29 48.0	N16 57 09.0
3	E.76A	Huai Sang ka	Ban Phon, Kham Muang District, Kalasin Province	E103 35 41.4	N16 51 38.4
4	E.90	Huai Sangkeb	Ban Nong Yang Nuea, Kham Muang District, Kalasin Province	E103 38 54.0	N16 46 20.0

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมSentinel-2 เลือกใช้เฉพาะข้อมูลที่มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 และ 20 เมตร ใช้ภาพทั้งหมดจำนวน 6 ภาพ บันทึกเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2561, 6 ตุลาคม 2561, 26 ตุลาคม 2561, 5 พฤศจิกายน 2561, 24 มกราคม 2562 และ 19 เมษายน 2562 โดยเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาในวันและเวลาใกล้เคียงกับการเก็บข้อมูลในภาคสนาม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ band 2 Blue (0.490 nm), band 3 Green (0.560), band 4 Red (0.665 nm), band 5-7 Vegetation Red Edge (0.708-0.783 nm), band 8 NIR (0.842 nm), band 8A Vegetation Red Edge (0.865 nm) และ band 11-12 SWIR (1.610-2.190 nm) สำหรับการประมาณค่าตะกอนแขนลอยในลุ่มน้ำลำปาว

การหาค่าตะกอนแขวนลอยในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างน้ำเข้าห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์หาค่าน้ำหนักตะกอนแขวนลอยโดยวิธีการ ใช้กระดาษกรองใยแก้ว (GLASS MICROFIBER FILTER 934-AH) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ในขั้นตอนแรกชั่งน้ำหนักของผสม

(น้ำและตะกอน) เพื่อหาปริมาณตะกอนโดยน้ำหนักของตะกอนแขวนลอยกับน้ำหนักของผสม ต่อจากนั้นทำการแยกตะกอนออกจากน้ำด้วยการกรอง และนำกากตะกอนที่แยกออก มาทำให้แห้งโดยใช้เตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เมื่อตะกอนแห้งดีแล้วจะนำไปชั่งน้ำหนักใหม่อีกครั้ง และนำไปคำนวณให้ มีรูปอยู่ในรูปน้ำหนักเป็นหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในสมการที่ 1

$$SSC\ (mg/l) = \frac{(A\text{-}B)\times 10^6}{V(mL)} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของกระดาษกรอง+SSC (กรัม)
B คือ น้ำหนักของกระดาษกรอง (กรัม)
V คือ ปริมาตรของผสมน้ำและตะกอน (มก./ลิตร)

การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 บันทึกในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึง เมษายน 2562 โดยข้อมูลดาวเทียมทั้งหมดมีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร และ 20 เมตร มีการปรับแก้เชิงรังสีแล้ว ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของภาพ (Geometrically Corrected) ด้วยวิธี Image to Map โดยมีค่าพิกัดในระบบอ้างอิง WGS84 UTM Zone 48Q ทำการเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) จาก Google Earth ให้จุดควบคุมภาคพื้นดินกระจายทั้งภาพ เช่น ทางแยก ถนนสะพาน และสถานที่สำคัญอื่นๆ แล้วทำการเก็บพิกัดจริงในสนามด้วย RTK GNSS และปรับแก้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ด้วยเทคนิค Semi-Automatic Classification Plugin ให้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 อยู่ในรูปแบบของค่าการสะท้อนแสงจริง แล้วทำการ Resampling ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Qgis 3.47 เพื่อให้ได้อัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอย โดยการใช้หลักการของการเรียนรู้ของเครื่องคือ การใส่ Input และ Output เข้าไปเพื่อให้ได้อัลกอริทึมที่เหมาะสม โดยในการศึกษานี้เราเลือกใช้การเรียนรู้ของเครื่อง 3 แบบ ประกอบไปด้วยอัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป[19-20] อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก[21] และอัลกอริทึม Support Vector Machine[22-23] โดยอัลกอริทึมทั้ง 3 แบบ จะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย) กับ ตัวแปรตาม (ค่าการสะท้อนแสงจากข้อมูลดาวเทียมSentinel-2) ซึ่งอัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปจะสามารถสร้างความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงตามรูปแบบของตัวแบบเชิงเส้นได้ ส่วนอัลกอริทึมแบบระบบเรียนรู้เชิงลึกเป็นการเลียนแบบระบบเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ (Neural Network) โดยจะมีโครงข่าย เซลล์ประสาท เชื่อมต่อกันเป็น ระบบประสาท และสื่อสารกัน แต่อัลกอริทึมเรียนรู้เชิงลึกจะมีความสามารถในการคิดที่มากกว่าปกติ และสามารถคำนวณอะไรที่ซับซ้อน ที่สำคัญยังสามารถคิดอย่างเป็นขั้นเป็นตอนได้ จึงทำให้เรียนรู้จากข้อมูลจำนวนมาก และสามารถเปรียบเทียบและแบ่งแยกข้อมูลได้ดีและอัลกอริทึม Support Vector Machine ใช้ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ เพื่อเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกแยะกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด และทำการศึกษาข้อมูลการสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เป็น 4 กรณี ดังแสดงใน Table 2 แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยอัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปการวิเคราะห์การเรียนรู้เชิงลึก และอัลกอริทึม Support Vector Machine ทำการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดยทำการแบ่งข้อมูลสนามออกเป็น 2 ชุด คือ Training Data และ Testing Data แบบ Split Half และทำ Data Rotation 30 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่า RMSE ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดัง Figure 2

Table 2 Four different case studies of sentinel-2 imagery data and spatial resolution in this study.

Case	Band	Spatial Resolution
1	Band 2, Band 3, Band 4, Band 8	10 m.
2	Band 5, Band 6, Band 7, Band 8A, Band 11, Band 12	20 m.
3	Band 2, Band 3, Band 4, Band 5, Band 6, Band 7, Band 8, Band 8A, Band 11, Band 12	10 m.
4	Band 2, Band 3, Band 4, Band 5, Band 6, Band 7, Band 8, Band 8A, Band 11, Band 12	20 m.

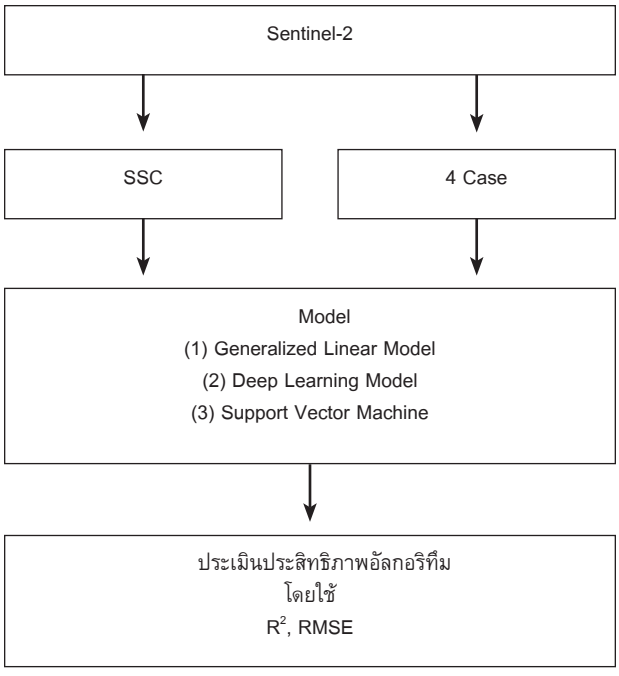


Figure 2 Flowchart describes the methodology for estimation of suspended sediment concentration along the Lam Pao Basin using Sentinel-2 Imagery

ผลการวิจัย

ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย จากค่าการสะท้อนแสงของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่การทำวิเคราะห์ข้อมูลหลายช่วงเวลาจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงคลื่นใน 4 กรณี ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง 3 แบบ โดยผลการศึกษาทั้งหมดแสดงรายละเอียดใน Table 3 อัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.470-0.644 RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 16.5-23.2 อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกมีค่า R^2 ระหว่าง 0.227-0.570 RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 22.1-27.6 และอัลกอริทึม Support Vector Machineมีค่า R^2 ระหว่าง 0.573-0.863 RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 11.9-20.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยอัลกอริทึม Support Vector Machine กรณีที่ 3 (ช่วงคลื่นที่ 2- 8, 8A,11-12 ขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ เท่ากับ 10 เมตร) เป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุด R^2 เท่ากับ 0.863 และค่า RMSE เท่ากับ 11.9 และค่าสัมประสิทธิการถ่วงน้ำหนัก ของแต่ละช่วงคลื่นดังแสดงใน Figure 3 ผลการศึกษาทั้งหมดแสดงรายละเอียดใน Table 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากการสำรวจภาคสนามกับผลการประมาณค่าจากข้อมูล Sentinel-2 แสดงในรูปแบบของ Scattering plot ดังแสดงใน Figure 4 ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เก็บข้อมูลจากภาคสนามทั้ง 134 ตัวอย่าง ได้เท่ากับ 30.51 มิลลิกรัม/ลิตร และ 29.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และจัดทำลายเซ็นช่วงคลื่นหรือค่าการสะท้อนแสงอ้างอิงของตะกอนแขวนลอยของค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยบวก ลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทั้ง 4 กรณี ดังแสดงรายละเอียดใน Figure 5 ทำการจัดทำแผนที่เพื่อแสดงการกระจายค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทั้ง 6 ภาพที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยใช้ช่วงคลื่นของกรณีที่ 3 ขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ด้วยอัลกอริทึม Support Vector Machine ดังแสดงรายละเอียดใน Figure 6

Table 3 Regression results from three machine learning algorithm indicating $P<0.05$ N=134.

Model	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Generalized Linear Model	0.545	19.2	0.470	23.2	0.592	18.8	0.644	16.5
Deep Learning Model	0.242	26.6	0.227	27.6	0.570	22.1	0.532	22.6
Support Vector Machine	0.646	18.8	0.573	20.3	0.863	11.9	0.782	12.3

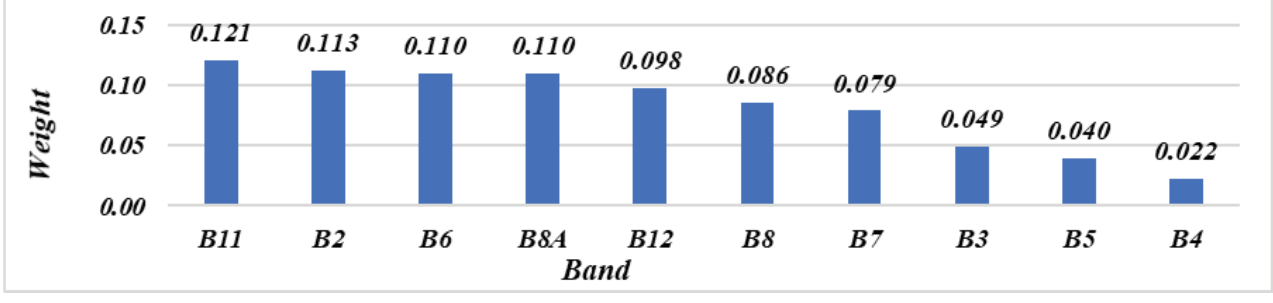


Figure 3 The weight coefficients of the spectral band (Case 3) included in SVM.

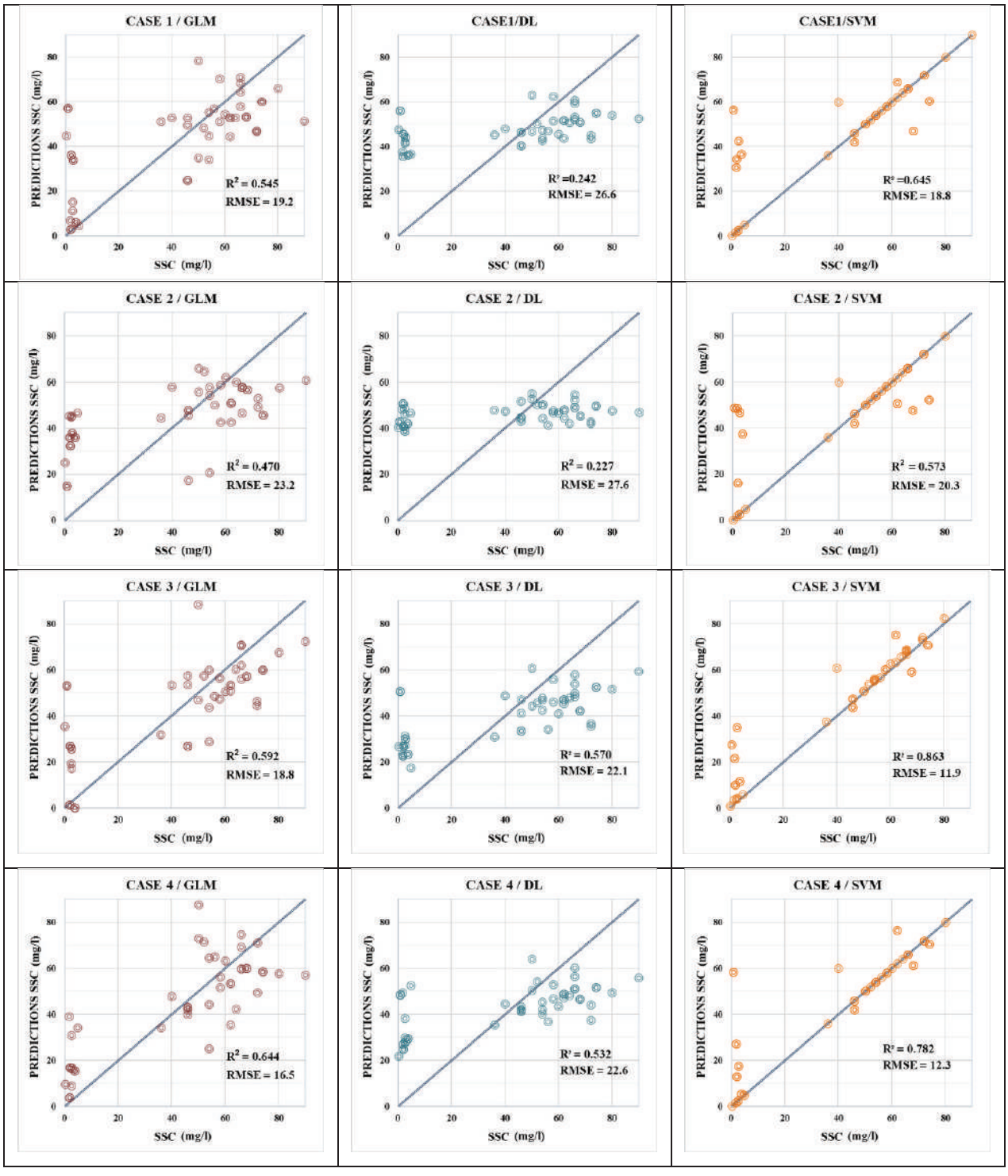


Figure 4 Scatter plots of estimated against measured suspended sediment concentration particulate matter concentration for the validation dataset: Sentinel-2

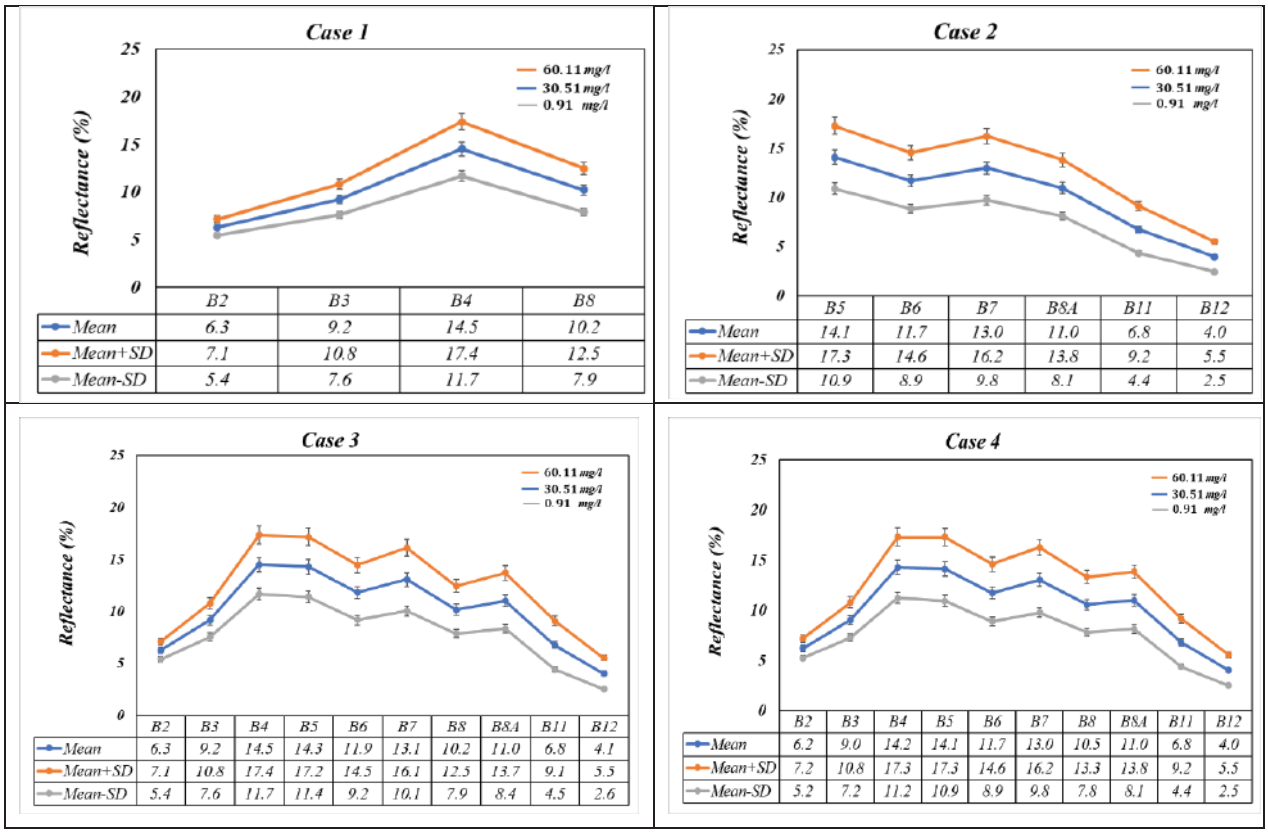


Figure 5 Remote sensing reflectance spectra and their corresponding suspended sediment concentration particulate matter concentrations (mg/l)

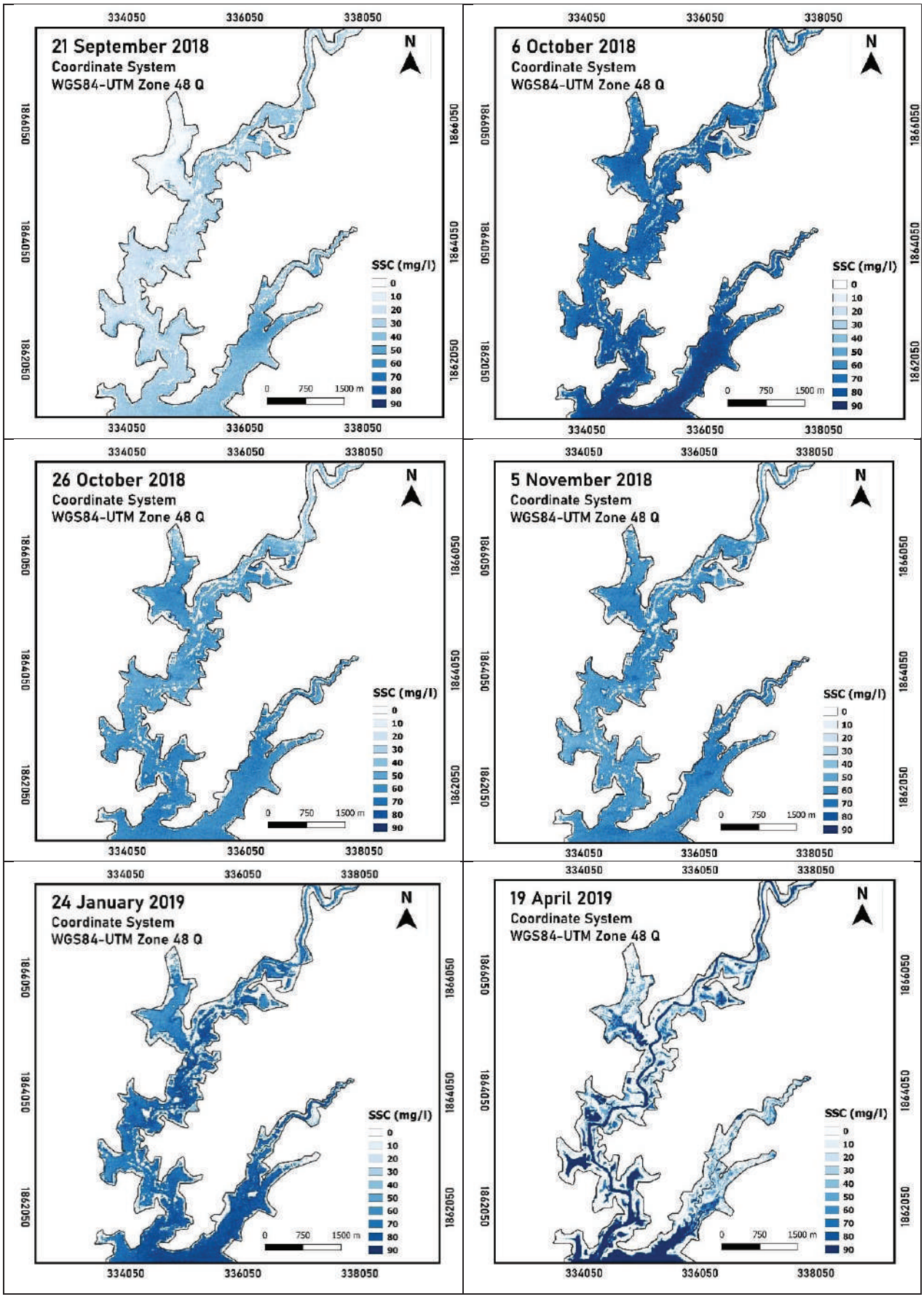


Figure 6 Spatial representation of suspended sediment concentration average 134 concentration computed from Sentinel-2

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมจากการรับรู้จากระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา และทำการประเมินหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย จากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 3 แบบคือ อัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก และ อัลกอริทึม Support Vector Machine ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึม Support Vector Machine เป็นอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในกรณีที่ 3 มีช่วงคลื่นที่ใช้มากกว่า กรณีที่ 1,2 คือใช้ 10 ช่วงคลื่นและมีขนาด ขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่เล็กกว่า กรณีที่ 2,4ซึ่งเท่ากับ 10 เมตร โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ[24-27] สำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงคลื่นที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11 และ 12 ขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.863 และมีค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ต่ำที่สุด เท่ากับ 11.9 ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับหลายรายงานวิจัย[18,20,22] ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.76-0.92 ซึ่งพบว่าผลการวิจัยนี้สามารถเติมเต็มงานวิจัยที่กล่าวมาโดยรายงานการวิจัยของ[16] ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra MODIS ที่มีรอบการบันทึกข้อมูลทุกวันแต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่สามารถใช้ได้เฉพาะแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ เท่ากับ 250 เมตร รายงานการวิจัย[27] ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยกับค่าสะท้อนแสงของ B3, B4 และ B5 โดยใช้สมการยกกำลัง ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.76 ในขณะที่รายงานการวิจัย[24] ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง Landsat 4, 5, 7 และ 8 โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร ได้ค่า R^2>0.9 แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 2 รายงานการวิจัยที่กล่าวยังมีข้อจำกัดของผลการศึกษาเนื่องจากขนาด ขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ ของ Landsat ไม่สามารถใช้กับลำน้ำขนาดเล็กได้และรอบการบันทึกข้อมูลทุก 16 วัน

ข้อเสนอแนะ

1) ในบางช่วงของลำน้ำมีวัชพืชปกคลุมและลำน้ำความกว้างไม่มากนักเป็นผลให้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งมีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ทำให้ข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยคลาดเคลื่อน หลายรายงานวิจัย[28-29] แสดงให้เห็นว่าเราสามารถแก้ปัญหานี้โดยทำการติดตามความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในลำน้ำขนาดเล็กโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งมีขนาดจุดภาพ (GSD) ที่เล็กมาก

2) ข้อมูลความเข้มข้นของปริมาณตะกอนแขวนลอยในลุ่มน้ำลำปาวที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลสนามในช่วงระยะเวลา 8 เดือน (21 กันยายน 2561 ถึง 19 เมษายน 2562) และเป็นปีที่ค่อนข้างแล้งทำให้ช่วงของข้อมูลหรือความกว้างของช่วงข้อมูลมีไม่มาก (0 -90 mg/l) ดังนั้นควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมช่วงน้ำหลากที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมากขึ้นเพื่อให้ช่วงของข้อมูลกว้างมากพอที่จะใช้ในการประมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในลุ่มน้ำลำปาวได้อย่างครอบคลุม

3) การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่มีรอบการบันทึกข้อมูลทุก 5-7 วัน โดยหากต้องการความต่อเนื่องในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตะกอนควรต้องศึกษาเพิ่มเติมการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ร่วมด้วยเพื่อให้สามารถติดตามได้ความถี่มากขึ้น แต่ต้องมีการศึกษาผลกระทบของขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ ที่แตกต่างกันของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 2 ประเภท

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ANJI REDDY, M., & Srinivasulu, S. (1994). Comparison of IRS-IB LISS-IIA pixel array sizes for estimating suspended solids concentration in Hussain Sagar Lake, Hyderabad, India—a statistical approach. International Journal of Remote Sensing, 15(18), 3693-3706.
2. C.Montanher, O. (2014). Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/ TM. 67-77.
3. Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. Journal of operations management, 22(2), 119-150.
4. Gao, J. and S. O'leary, Estimation of suspended solids from aerial photographs in a GIS. International Journal of Remote Sensing, 1997. **18**(10): p. 2073-2086.

5. Syvitski, J.P., et al., Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. Water resources research, 2000. **36**(9): p. 2747-2760.
6. Jensen, R. and M. Binford, Measurement and comparison of Leaf Area Index estimators derived from satellite remote sensing techniques. International Journal of Remote Sensing, 2004. **25**(20): p. 4251-4265.
7. Jongschaap, R.E., Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area index and canopy nitrogen. European Journal of Agronomy, 2006. **24**(4): p. 316-324.
8. Ritchie, J.C. and C.M. Cooper, Comparison of measured suspended sediment concentrations with suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS data.Title REMOTE SENSING, 1988. **9**(3): p. 379-387.
9. Doxaran, D., et al., Spectral signature of highly turbid waters: Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. Remote sensing of Environment, 2002. **81**(1): p. 149-161.
10. Wang, Z., et al., Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE transactions on image processing, 2004. **13**(4): p. 600-612.
11. Miller, R.L. and B.A. McKee, Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters. Remote sensing of Environment, 2004. **93**(1-2): p. 259-266.
12. Ma, R. and J. Dai, Investigation of chlorophyll-a and total suspended matter concentrations using Landsat ETM and field spectral measurement in Taihu Lake, China. International Journal of Remote Sensing, 2005. **26**(13): p. 2779-2795.
13. Islam, M.R., Y. Yamaguchi, and K. Ogawa, Suspended sediment in the Ganges and Brahmaputra Rivers in Bangladesh: observation from TM and AVHRR data. Hydrological Processes, 2001. **15**(3): p. 493-509.
14. Onderka, M. and P. Pekárová, Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. Science of the total environment, 2008. **397**(1-3): p. 238-243.
15. Wang, C., Variability of the Caribbean low-level jet and its relations to climate. Climate dynamics, 2007. **29**(4): p. 411-422.
16. Wang, J. J., & Lu, X. X. (2010). Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. Science of the Total Environment, 408(5), 1131-1138.
17. Wang, L., et al., DEGseq: an R package for identifying differentially expressed genes from RNA-seq data. Bioinformatics, 2009. **26**(1): p. 136-138.
18. Wang, J. J., & Lu, X. X. (2010). Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. Science of the Total Environment, 408(5), 1131-1138.
19. Mercier, A., Hubert-Moy, L., Betbeder, J., Van Baaren, J., Leroux, V., Roger, J.L., ... & Baudry, J. (2019). Assessing the wheat and rapeseed vegetation structure in space and time from local to landscape scale using Sentinel-1 and 2 time series and their use in ecology. IALE.
20. Gómez, D., Salvador, P., Sanz,J.,& Casanova, J.L. (2019). Potato yield prediction using machine learning techniques and sentinel 2 data. Remote Sensing, 11(15), 1745.
21. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A.(2017). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 14(5), 778-782.
22. Thanh Noi, P., & Kappas,M. (2018).Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. Sensors, 18(1), 18.
23. Hawryło, P., Bednarz, B., Wężyk, P.,& Szostak, M. (2018). Estimating defoliation of Scots pine stands using machine learning methods and vegetation indices of Sentinel-2. European Journal of Remote Sensing, 51(1), 194-204.

24. Peterson, K., Sagan, V., Sidike, P., Cox, A., & Martinez, M. (2018). Suspended Sediment Concentration Estimation from Landsat Imagery along the Lower Missouri and Middle Mississippi Rivers Using an Extreme Learning Machine. Remote Sensing, 10(10), 1503.
25. Lima, T.A., Beuchle, R., Langner, A., Grecchi, R.C., Griess, V.C. and Achard, F., 2019. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI Imagery for Monitoring Selective Logging in theBrazilian Amazon. Remote Sensing, 11(8), p.961.
26. Mandanici,E. and Bitelli, G., 2016. Preliminary comparison of sentinel-2 and landsat 8 imagery for a combined use.Remote Sensing, 8(12), p.1014.
27. Pham, Q., Ha, N., Pahlevan, N., Oanh, L., Nguyen, T., & Nguyen, N. (2018). Using Landsat-8 Images for Quantifying Suspended Sediment Concentration in Red River (Northern Vietnam). Remote Sensing, 10(11), 1841.
28. Larson, M. D., Simic Milas, A., Vincent, R. K., & Evans, J. E. (2018). Multi-depth suspended sediment estimation using high-resolution remote-sensing UAV in Maumee River, Ohio. Internationaljournal of remote sensing, 39(15-16), 5472-5489.
29. Phongphat Sajja and Siwa Kaewplang. (2019). Estimation of Suspended Sediment in the Lam Pao River by Remote-Sensing Using UAV. The Proceedings of Suratthani Rajabhat University Conference 2019 International Conference on Multidisciplinary Research to Create Future Prospect (MRCFP) December 12-13, 2019 [P93-105].

เวชกรรมพื้นบ้านในเอกสารใบลานอีสาน: กรณีศึกษาโรคผิวหนัง

Folk medicine recorded in Palm Leaf Manuscripts of Isan: A case study of skin disorders

ชินพัฒน์ เฉลิมรัมย์[1], สุทธิรา เซดลัค[2]
Chinnaphat Chaloemram[1], Sutthira Sedlak[2]

Received: 2 August 2019 ; Revised: 16 October 2019 ; Accepted: 18 November 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการรวบรวม ตรวจสอบ และวิเคราะห์ข้อมูล จากเอกสารใบลานของจังหวัดสกลนคร ที่ผ่านการปริวรรตกรรม จำนวน 33 ผูก ร่วมกับการใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และแบบบันทึกข้อมูลการสนทนาในผู้ให้ข้อมูลหลัก ผลการศึกษาสามารถจำแนกกลุ่มโรคได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อ และกลุ่มไข้ออกผื่น รวม 22 โรค รวบรวบตำรับยาได้ทั้งสิ้น 415 ตำรับ โรคที่รวบรวมตำรับยาได้มากที่สุดคือ ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) จำนวน 63 ตำรับ รวบรวมเภสัชวัตถุได้ทั้งสิ้น 454 ชนิด แบ่งเป็น พืชวัตถุ 389 ชนิด (พืช 385 ชนิดและเห็ด 4 ชนิด) สัตว์วัตถุ 48 ชนิด และธาตุวัตถุ 17 ชนิด โดยรสขมเย็นเป็นรสยาของพืชสมุนไพรที่มีการใช้มากที่สุด (31.44%) น้ำกระสายยาที่มีการใช้มากที่สุด คือ น้ำฝน วิธีการเตรียมยาที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การฝนด้วยหิน (48.30%) และการกินเป็นวิธีการใช้ยาที่พบมากที่สุด (57.18%) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงองค์ความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ตรงของหมอพื้นบ้านหรือได้เรียนรู้สืบทอดมา โดยมีแนวทางเวชปฏิบัติในการรักษาโรคผิวหนังแต่ละประเภทด้วยการใช้ตำรับยาสมุนไพรตามการวินิจฉัยจากสาเหตุและลักษณะอาการของโรค

คำสำคัญ: เวชกรรมพื้นบ้าน โรคผิวหนัง พืชสมุนไพร เอกสารใบลาน

Abstract

This study is qualitative research performed by collecting, examining and analyzing data regarding the use of medicinal plant formulas to treat skin disorders. Data was collected from the Palm Leaf Manuscripts of Sakon Nakhon Province, which have been translated in 33 copies, together with the use of semi-structured interviews and focus group discussion form with key informants. The results revealed two groups of skin disorders (i) abnormalities of the skin and tissue group and (ii) exanthematous fever group. A total of 22 diseases, along with 415 formulas used to treat these illnesses were collected and classified. The most frequently mentioned uses were the treatment of dermatitis (63 formulas). The study found, 454 medical materials including animals (48 species), minerals (17 types) as well as 389 medicinal plants (385 plants and 4 mushrooms species). The medicinal plants mostly have bitter flavor (31.44%) and aqueous adjuvant are mostly rain water. Most of the medications were prepared by rubbing on stone (48.30%) and preparations are mostly administered orally (57.18%). The study indicated acquired knowledge of skin disorder treatments arising from the experience of the healer or passed down through generations. This knowledge has practice guidelines for the treatment of each type of skin disease with the use of medicinal plants followed the diagnosis of the causes and symptoms of the disease.

Keywords: Folk medicine, Skin disorders, Medicinal plants, Palm Leaf Manuscripts

---

[1] นิสิตปริญญาโท, หลักสูตรความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2] อาจารย์, หลักสูตรความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Master degree student, Biodiversity Program Walai-Rukhavej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.
[2] Lecturer, Biodiversity Program Walai-Rukhavej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.
* Corresponding author; Chinnaphat Chaloemram, Walai-Rukhavej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. chinnaphat.med@gmail.com

บทนำ

ภูมิปัญญาการดูแลสุขภาพของชุมชนในสังคมไทย เกิดขึ้นจากประสบการณ์ตรงของผู้คนในชุมชนที่ผ่านการเรียนรู้ ลองผิดลองถูก การคิดค้น พัฒนา และสั่งสมความรู้วิธีการบำบัดรักษาหรือป้องกันโรคภัยไข้เจ็บ และถ่ายทอดสืบต่อกันมาจนกลายเป็นเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันไปตามแต่สังคมวัฒนธรรมหรือในกลุ่มชาติพันธุ์ ทั้งวิธีการวินิจฉัยโรค การเรียกชื่อโรค และการรักษาโรค[1] โดยหมอพื้นบ้านเป็นบุคคลที่มีบทบาทในการรักษาโรคภัยไข้เจ็บของคนในชุมชน

ระบบการแพทย์พื้นบ้านในภาคตะวันออกเฉียง เหนือหรือภาคอีสาน เป็นกระบวนการรักษาที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างสภาพภูมิศาสตร์และกระบวนการทางวัฒนธรรมผ่านหลายช่วงยุคสมัย องค์ความรู้ในการดูแลรักษาโรคต่างๆ จึงได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีเอกลักษณ์และมีความแตกต่างจากระบบการแพทย์ของภูมิภาคอื่นๆ และระบบการแพทย์แผนไทย[2] การถ่ายทอดองค์ความรู้ของการรักษาโรคที่ผ่านการจดบันทึกนิยมบันทึกในใบลาน และส่วนมากเกิดขึ้นในชุมชนของพระสงฆ์ เนื่องจากการเรียนการสอนโดยใช้ตัวหนังสือมีปรากฏเฉพาะภายในวัด สำหรับตำรายาที่อยู่นอกวัดหรือที่เป็นตำรายาส่วนบุคคลบันทึกโดยมากเป็นบุคคลคนที่เคยบวชเรียนมาก่อนที่ได้มีโอกาสใช้ความรู้ทางด้านสมุนไพรหรือได้รับความรู้มาจากผู้อื่น[3]

เอกสารใบลานเป็นเอกสารโบราณประเภทหนึ่งที่บันทึกลายลักษณ์อักษรด้วยวิธีการจารตัวหนังสือลงบนใบของต้นลาน มีชื่อท้องถิ่นว่า ลานบ้าน ลานวัด และลางหมึ่งเทิง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Corypha umbraculifera* L. เป็นพืชในวงศ์ปาล์ม (Arecaceae)[4] จึงเรียกโดยทั่วไปว่า เอกสารใบลาน หรือหนังสือใบลาน แต่เนื่องจากคนในอดีตนิยมจารเรื่องราวเกี่ยวกับพระพุทธศาสนาจึงนิยมเรียกเอกสารใบลานว่า คัมภีร์ใบลาน โดยเอกสารใบลานเป็นเอกสารโบราณที่พบมากและแพร่หลายที่สุดในภาคอีสาน ทั้งนี้ยังเป็นวัฒนธรรมทางภาษาที่คนอีสานสร้างสรรค์ขึ้นมาเพื่อใช้ในสังคมที่มีการสืบทอดกันมาเป็นเวลาอันยาวนาน นับเป็นหลักฐานชั้นต้นที่สำคัญต่อวงวิชาการที่บันทึกเหตุการณ์และเรื่องราวต่างๆ ทั้งคดีทางโลกและคดีทางธรรม เช่น หลักธรรมคำสอนทางพระพุทธศาสนา ประวัติศาสตร์ โหราศาสตร์ วรรณกรรม พงศาวดาร กฎหมายโบราณ คาถาอาคม และตำรายา เป็นต้น[5]

โรคผิวหนังเป็นปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญและพบบ่อย เนื่องจากโรคผิวหนังสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ ซึ่งมีความสำคัญเกี่ยวกับรูปลักษณ์และความวิตกกังวลที่ส่งผลต่อสุขภาพทางจิต โรคผิวหนังมีหลายประเภท โดยมีสาเหตุและปัจจัยที่ต่างกัน เป็นกลุ่มโรคทั้งติดต่อและไม่ติดต่อ บางชนิดเป็นโรคที่รุนแรง และบางชนิดสามารถรักษาให้หายขาดได้[6] นอกจากนี้ยังเป็นโรคที่พบได้บ่อยสามารถเกิดในผู้คนทุกเพศทุกวัย ทั่วโลกมี ผู้ที่ได้รับผลกระทบจากโรคผิวหนังประมาณ 900 ล้านคน หรือประมาณร้อยละ 30-70 ในประชากรทั่วไป[7] ในประเทศไทยมีผู้ป่วยเป็นโรคผิวหนังมากถึงปีละ 6 ล้านคน[8] โรคผิวหนังหลายชนิดเป็นโรคเรื้อรังที่ต้องรักษาเป็นเวลานาน การใช้ยาทั่วไปต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีความเสี่ยงที่จะสะสมความเป็นพิษ และเกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้ การใช้ตำรับยาสมุนไพรเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำ มีความเป็นพิษและผลข้างเคียงน้อยกว่าสารเคมี[9]

อย่างไรก็ตามการศึกษาการใช้พืชสมุนไพรรักษาโรคผิวหนังในประเทศไทยที่ผ่านมาและการให้ความสนใจเกี่ยวกับตำรายาที่ปรากฏอยู่ในเอกสารโบราณมีน้อยมาก อีกทั้งหมอพื้นบ้านที่มีความรู้และประสบการณ์ในการรักษาโรคผิวหนังในปัจจุบันมีจำนวนน้อยและการรักษาโรคผิวหนังโดยใช้สมุนไพรยังไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร ทั้งนี้ตำรายาในเอกสารใบลานของจังหวัดสกลนครได้ผ่านการปริวรรตกรรมหรือแปลเป็นภาษาปัจจุบันโดยงานแพทย์แผนไทย กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร ร่วมกับคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร และหมอพื้นบ้านในเขตจังหวัดสกลนคร จำนวน 3 เล่ม ซึ่งมีเนื้อหาที่สมบูรณ์และประกอบด้วยตำรับยารักษาโรคผิวหนังเป็นส่วนใหญ่

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและรวบรวมองค์ความรู้ของหลักเวชกรรมโรคผิวหนัง โดยการศึกษาหลักการตรวจวินิจฉัย และหลักการรักษาโรคผิวหนังด้วยการใช้ตำรับยาสมุนไพรที่ปรากฏในเอกสารใบลานอีสานของจังหวัดสกลนคร เพื่อชี้ให้เห็นถึงกระบวนการรักษาโรคผิวหนังด้วยพืชสมุนไพรตามหลักการแพทย์พื้นบ้านสำหรับเป็นแนวทางในการรักษาผู้ป่วยตามกระบวนการแพทย์แผนไทย สนับสนุนในการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์ และต่อยอดภูมิปัญญาการแพทย์พื้นบ้านในเชิงพาณิชย์หรือสร้างนวัตกรรมจากฐานภูมิปัญญาพื้นบ้าน ให้ภูมิปัญญามีการใช้ประโยชน์และอนุรักษ์อย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) โดยมีขั้นตอนดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารใบลาน จำนวน 33 ผูก (ฉบับ) เป็นตำราที่มีเนื้อหาสมบูรณ์และประกอบด้วยตำรับยารักษาโรคผิวหนังเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งได้รับการปริวรรตกรรมหรือแปลเป็นภาษาปัจจุบันจากหมอพื้นบ้านที่มีประสบการณ์และผู้เชี่ยวชาญแล้ว ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนครเล่มที่ 1 จำนวน 11 ผูก[10]

ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนครเล่มที่ 2 จำนวน 12 ผูก[11]

ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนครเล่มที่ 3 จำนวน 10 ผูก[12]

เกณฑ์ในการคัดเลือกข้อมูล

หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อมูลตำรับยาที่ใช้ในการรักษาโรคผิวหนังในเอกสารใบลาน โดยหลักพิจารณาดังนี้

ชื่อตำรับยา ชื่อโรค และหรือลักษณะอาการของโรคที่ปรากฏในตำรับยา

ชื่อและส่วนที่ใช้ของเภสัชวัตถุในการประกอบตำรับยา

วิธีการเตรียมยา และวิธีการใช้ยา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview form) และแบบบันทึกข้อมูลการสนทนา (Focus group discussion form) จากผู้ให้ข้อมูลหลัก คือ หมอพื้นบ้านในพื้นที่จังหวัดสกลนคร

การตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

ตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เพื่อสรุปองค์ความรู้หลักการตรวจวินิจฉัย และหลักการรักษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานสำหรับเป็นแนวทางในการรักษาผู้ป่วยโรคผิวหนังตามกระบวนการแพทย์แผนไทย และการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ มีวิธีดำเนินงานดังนี้

ข้อมูลโรคผิวหนัง

ตรวจสอบชื่อโรค และลักษณะอาการของโรคที่รวบรวมจากเอกสารใบลาน โดยอ้างอิงตามหนังสือของ ดารณี อ่อนชมจันทร์ (2549)[2] อุษา กลิ่นหอม (2552)[13] ปรีชา พิณทอง (ม.ป.ป.)[14] และหมอพื้นบ้านในพื้นที่จังหวัดสกลนคร

เทียบเคียงชื่อโรคและลักษณะอาการของโรคผิวหนังในทางแพทย์แผนไทยและทางแผนปัจจุบัน โดยอ้างอิงตามหนังสือศัพท์แพทย์ไทย[15] และได้รับการยืนยันความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญด้านทฤษฎีการแพทย์แผนไทย คือ ปิยาภรณ์ แสนศิลา สาขาวิชาแพทย์แผนไทยประยุกต์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ รสมน เพ็งสิงห์ แพทย์แผนไทยประยุกต์ โรงพยาบาลสังคม จังหวัดหนองคาย

ข้อมูลพืชสมุนไพร

ตรวจสอบชื่อท้องถิ่นของพืช ที่รวบรวมจากเอกสารใบลาน โดยอ้างอิงตามหนังสือของ ดารณี อ่อนชมจันทร์ (2549)[2] อุษา กลิ่นหอม (2552)[13] ปรีชา พิณทอง (ม.ป.ป.)[14] และหมอพื้นบ้านในพื้นที่จังหวัดสกลนคร

ตรวจสอบชื่อเครื่องยาสมุนไพร สรรพคุณ และรสยา โดยอ้างอิงตามหนังสือของ ชยันต์ พิเชียรสุนทร และคณะ (2560)[16] วุฒิ วุฒิธรรมเวช (2558)[17] วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม (2548)[18] และฐานข้อมูลสมุนไพร

ตรวจสอบชื่อพื้นเมืองของพืช โดยอ้างอิงตามหนังสือของราชันย์ ภู่มา และสมราน สุดดี (2557)[4] และวิทยา ปองอมรกุล และสันติ วัฒฐานะ (2553)[19]

ตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ของพืช (Plant Identification) โดยใช้หนังสือพรรณพฤกษชาติแห่งประเทศไทย (Flora of Thailand) และหนังสือพรรณพฤกษชาติของประเทศใกล้เคียง เช่น Flora Malesiana, Flora of China และ Flora of British India เป็นต้น

เก็บตัวอย่างพืชสมุนไพรที่สำคัญ สมุนไพรที่หมอพื้นบ้านเก็บเองจากป่าตามธรรมชาติ หรือที่ปลูกตามบริเวณบ้าน โดยขอความร่วมมือจากหมอพื้นบ้านออกร่วมเก็บสมุนไพร และใช้วิธีการเก็บตัวอย่างตามหลักพฤกษศาสตร์ของ Bridson and Forman (1992)[20] สมุนไพรที่รวบรวมได้นำมาทำเป็นตัวอย่างอ้างอิง (Voucher Specimens) จัดเก็บไว้ที่สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ส่วนสมุนไพรที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ เช่น พืชหายาก พืชที่นำเข้าจากต่างประเทศ หรือต่างท้องถิ่น ชิ้นส่วนของสัตว์วัตถุและธาตุวัตถุ ใช้วิธีการถ่ายภาพตัวอย่างจากหมอพื้นบ้าน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

หลักการวินิจฉัยโรคผิวหนัง

1. สาเหตุของการเกิดโรค

จากการศึกษาพบว่าโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานเป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อ โดยมีสาเหตุของการเกิดโรคที่ต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็นสาเหตุจากภายในร่างกาย ได้แก่ กรรมพันธุ์ การเรื้อรังจากรอยโรคอื่น ความเครียด พฤติกรรมการบริโภคอาหาร และพฤติกรรมการใช้ชีวิต สาเหตุจากภายนอกร่างกาย ได้แก่ เชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย การติดต่อจากผู้อื่น และสารพิษหรือสารเคมี เป็นสาเหตุให้ผิวหนังเป็นผื่นแดง เป็นจุดหรือวง เป็นแผ่น เป็นตุ่มนูน เป็นตุ่มพอง เป็นแผล และเป็นหนอง ในขณะที่หลักแนวคิดแพทย์แผนไทยระบุว่า มูลเหตุการเกิดโรคต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย เป็นเหตุให้ธาตุทั้งสี่ คือ ปถวี (ดิน) อาโป (น้ำ) วาโย (ลม) และเตโชธาตุ (ไฟ) ในร่างกายเกิดความแปรปรวนหรือเสียสมดุล โดยธาตุหลักที่กระทบ คือ ธาตุดิน เป็นสมุฏฐานที่โรคแสดงออกทางตะโจ (ผิวหนัง) และมังสัง (กล้ามเนื้อ)ให้แห้ง หยาบด้าน สาก แสบคัน หนังแตกมีเลือดออก เป็นแผล และฝีหนอง เป็นต้น[21, 22]

2. การตรวจวินิจฉัยโรค

การวินิจฉัยแยกโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลาน มีหลักสำคัญประกอบด้วย สาเหตุและอาการ ลักษณะรูปร่าง การเรียงตัวของโรค และการกระจายตัวหรือตำแหน่งของโรคผิวหนังแต่ละประเภทที่อธิบายถึงกลไกการเกิดโรค ประกอบตำรับยาที่ใช้รักษาตามองค์ความรู้ของผู้บันทึกที่ได้รับจากประสบการณ์ตรงหรือเรียนรู้จากผู้อื่น โดยการเรียกชื่อโรคเป็นการใช้ชื่อตามลักษณะอาการหรือโรคที่หมอสมมติขึ้งมีภาษาที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถแยกได้ 22 โรค และแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อ (Abnormalities of the skin and tissue group) ได้แก่

ฝี (Fee) ตุ่มมีหัว บวม แดง มีหนอง และปวดแสบ

ฝีหัวคว่ำ (Fee hua kwum) ตุ่มที่มีหัวอยู่ลึก บวม แดง และปวดแสบ

ฝีสำบาย (Fee sam bai) ตุ่มเป็นก้อนไม่มีหัว และไม่มีอาการปวดแสบ

ฝีปะอาก (Fee pa ak) ตุ่มเกิดที่บริเวณหลังและต้นคอมีหลายหัวติดกัน บวม แดง มีหนอง และปวดแสบ

สิวหัวช้าง (Siw hua chang) ตุ่มบวมแดง มีหนอง และแข็ง

กาก (Kak) เกิดเป็นวงมีเม็ดตรงกลาง ขอบเป็นขุย และมีอาการคันมาก

เกื้อน (Kuen) เกิดเป็นดวงขาว และมีอาการคัน

บาดเฮื่อ (Bad hue) แผลลามจากโรคอื่น หรือแผลจากของทิ่มแทง เปื่อยเน่า และหายช้า

เฮื้อน (Huen) ผื่นขึ้นเป็นวง หรือผุดเป็นแผ่นตุ่มผิวหนังหนา เปื่อยเน่า และเหม็น

เฮื้อนกวาง (Huen kwang) ผื่นผุดขึ้นเป็นดวงเป็นวง สีขาวนูน คันมาก และลามไปทั้งร่างก่าย

ขี้โม้ (Khi mo) ตุ่มนูนแล้วเป็นแผลเปื่อยเน่าแตกออกเป็นหนอง และเหม็น

หิด (Hid) ผื่นเป็นตุ่มสีแดงใส คันมาก และยิ่งเกายิ่งคัน

ออกตุ่มออกคาย (Òk tum òk kai) ผื่นขึ้นตามร่างกาย เป็นตุ่ม และแสบคัน

2) กลุ่มไข้ออกผื่น (Exanthematous fever group) ได้แก่

ออกแงน (Òk ngain) มีไข้ คลื่นไส้อาเจียน ปวดศีรษะมาก คอแข็ง ศีรษะหงาย หลังแอ่น มีผื่นจุดสีแดงเกิดตามหน้าอก ท้อง แขน และขา

ออกหัด (Òk had) มีไข้ ปวดศีรษะ และมีตุ่มกลมแดงยอดแหลมขึ้นแล้วยุบไป

ออกเหือด (Òk hued) มีไข้ ปวดศีรษะ ผิวหนังแดง และมีตุ่มกลมแดงเล็กไม่มียอดแล้วยุบไป

ออกไฟลามโกน (Òk fai lam kon) มีไข้ ปวดศีรษะ มีอาการซึม มีผื่นแดงขึ้นเป็นแผ่นตามร่างกาย และแสบร้อน

ออกปานดำปานแดง (Òk pan dam pan daeng) มีไข้ตัวร้อนมาก ปวดศีรษะ มีอาการซึม มือเย็นเท้าเย็น ลิ้นกระด้างคางแข็ง และผื่นขึ้นเท่าผลสะบ้ามอญสีแดงหรือดำ

ออกดำแดง (Òk dam daeng) มีไข้ตัวร้อนมาก ปวดศีรษะ มือเย็นเท้าเย็น และผื่นขึ้นเป็นแผ่นสีแดงหรือดำ

ออกสุกใส (Òk suk sai) มีไข้ ปวดศีรษะ ปวดเมื่อยตามร่างกาย มีผื่นขึ้นแล้วเป็นตุ่มน้ำสุก ขึ้นตามลำตัวแล้วลามไปแขน ขา และใบหน้า

ออกหมากสุก (Òk mak suk) มีอาการปวดศีรษะตัวร้อน ปวดเมื่อยบั้นเอว แขนขา แล้วมีผื่นแดงขึ้นกลายเป็นตุ่มใส ต่อมากลายเป็นหนองแล้วตกสะเก็ด

วัด (Wad) มีไข้ ปวดศีรษะ มีตุ่มคล้ายเม็ดทรายพองเป็นเงา และเรียงเป็นแถวคล้ายงู

จากการศึกษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานจำนวน 22 โรค สามารถเทียบเคียงโรคกับแพทย์แผนไทยและแพทย์แผนปัจจุบัน ตามชื่อและลักษณะอาการ (Table 1) โดยกลุ่มโรคความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อ ได้แก่ กาก เกื้อน เฮื้อน เฮื้อนกวาง ขี้โม้ หิด และออกตุ่มออกคาย สามารถเทียบเคียงและพบในคัมภีร์วิถีกุฏฐโรค[21] ฝี และบาดเฮื้อ สามารถเทียบเคียงและพบในคัมภีร์ไพจิตรมหาวงศ์[21] สำหรับกลุ่มโรคไข้ออกผื่นทุกโรคเป็นโรคที่สามารถเทียบเคียงและพบได้ในคัมภีร์ตักศิลา[22] ในขณะที่ ฝีสำบาย ฝีปะอาก และสิวหัวช้าง พบเพียงชื่อโรคในหนังสือศัพท์แพทย์ไทย แต่ไม่พบในคัมภีร์ใดของแพทย์แผนไทย แสดงให้เห็นว่าการรักษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานเกิดจากองค์ความรู้ของหมอหรือผู้ที่มีประสบการณ์ในการรักษาผู้ป่วย โดยการตรวจวินิจฉัยแยกโรค ผู้รักษาต้องมีความเข้าใจในเรื่องโรค รวมทั้งลักษณะอาการของโรค เพื่อเป็นแนวทางในการรักษาและบรรเทาความทุกข์ทรมานจากโรคภัยไข้เจ็บให้แก่ผู้ใช้ได้ตามควรแก่อัตภาพวิสัย

หลักการรักษาโรคผิวหนัง

1. แนวทางเวชปฏิบัติในการรักษาโรคผิวหนัง

จากการศึกษาสามารถสังเคราะห์แนวทาง เวชปฏิบัติในการรักษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลาน เพื่อเป็น

แนวทางในการวางแผนการรักษาด้วยการใช้ตำรับยาสมุนไพร ซึ่งพบว่าการรักษาโรคผิวหนัง มีการใช้ตำรับยาสมุนไพรที่จำเพาะต่อโรคตามสาหตุ และลักษณะอาการของโรค โดยกลุ่มโรคความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อมีการวิธีการรักษา ประกอบด้วยยา

Table 1 Comparison of skin disorders recorded in Palm Leaf Manuscripts

Diseases name recorded in Palm Leaf Manuscripts	Comparable to traditional Thai medicine[15]	Comparable to modern medicine[15]	Acronym
Abnormalities of the skin and tissue group			
Fee	Fee	Abscess	Ab
Fee hua kwum	Fee hua kwum	Abscess without apex	Aw
Fee sam bai	Fee pluad	Cysts	Cy
Fee pa ak	Fee fak bua	Carbuncle	Cb
Siw hua chang	Siw	Cystic acne	Ca
Kak	Klak pan ra nai	Ringworm	Ri
Kuen	Kluen	Pityriasis versicolor	Pv
Bad hue	Phlae	Wound	Wo
Huen	Ruen	Leprosy	Le
Huen kwang	Ruen mun nok	Psoriasis	Ps
Khi mo	Kod cha rad	Yaws	Ya
Hid	Ruen hid	Scabies	Sc
Òk tum òk kai	Phuen kan	Dermatitis	De
Exanthematous fever group			
Òk ngain	Khai gala nok nang an	Meningococcal meningitis	Mm
Òk had	Khai had	Measles	Me
Òk hued	Khai hued	Rubella	Ru
Òk fai lam kon	Khai fai lam thung	Erysipelas	Er
Òk pan dum pan daeng	Khai pan dam pan daeng	Hemorrhagic fever	Hf
Òk dam daeng	Khai idam idaeng	Scarlet fever	Sf
Òk suk sai	Khai suk sai	Chickenpox	Ch
Òk mak suk	Khai thora phit	Smallpox	Sx
Wad	Khai ngu sa wad	Herpes zoster	Hz

สำหรับใช้ภายใน ได้แก่ ยากิน และยาสำหรับใช้ภายนอก ได้แก่ ยาทา ยาชำระล้าง ยาพอก และยารม สอดคล้องกับคัมภีร์วิถีกุฏฐโรคและคัมภีร์ไพจิตรมหาวงศ์ของแพทย์แผนไทยที่มีวิธีการรักษาด้วยการใช้ยากินและยาสำหรับใช้ภายนอก[21] สำหรับกลุ่มโรคไข้ออกผื่นมีวิธีการรักษาประกอบด้วยยาสำหรับใช้ภายใน ได้แก่ ยากิน และ ยาสำหรับใช้ภายนอก ได้แก่ ยาทา ยาอาบ ยาพ่น ยาพอก และยารม ซึ่งเป็นแนวทางการรักษาความผิดปกติของผิวหนังที่เกิดแทรกซ้อนจากไข้ติดเชื้อ สอดคล้องกับคัมภีร์ตักศิลาของแพทย์แผนไทยที่มีวิธีการรักษาความผิดปกติของผิวหนังจากไข้ออกผื่นด้วยการใช้ยากิน ยาประสะผิวภายนอก และยาพ่นภายนอก[22] ทั้งนี้ในโรคที่ใช้ตำรับยาไม่ได้ผลหรืออาการของโรคไม่ดีขึ้นมีแผนการรักษาโดยการเปลี่ยนวิธีการรักษาและตำรับยาที่จำเพาะต่อโรคมากขึ้น (Figure 1) ซึ่งเป็นองค์ความรู้ของหมอในชุมชนของภาคอีสานในอดีตที่มีแนวทางการปฏิบัติต่อการรักษาผู้ป่วยที่ต้องอาศัยประสบการณ์และความแม่นยำในการใช้ตำรับยาสมุนไพร

2. การตั้งตำรับยาที่ใช้ในการรักษาโรคผิวหนัง

การตั้งตำรับยาที่ใช้ในการรักษาโรคผิวหนัง เป็นวิธีการปรุงยาทั้งการใช้ยาสมุนไพรเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันอยู่ในตำรับที่มีสรรพคุณหรือมีผลต่อการรักษาคล้ายกันที่จำเพาะต่อโรคตามองค์ความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ตรงของหมอหรือได้เรียนรู้สืบทอดมา ซึ่งมีความแตกต่างจากการตั้งตำรับยาตามหลัก เภสัชกรรมของแพทย์แผนไทยที่มุ่งเน้นเรื่องโครงสร้างของตำรับยา รสยาของสมุนไพร และรสยาประธาน ให้ครอบคลุมถึงสมุฏฐานของโรค และแก้ไขป้องกันโรค

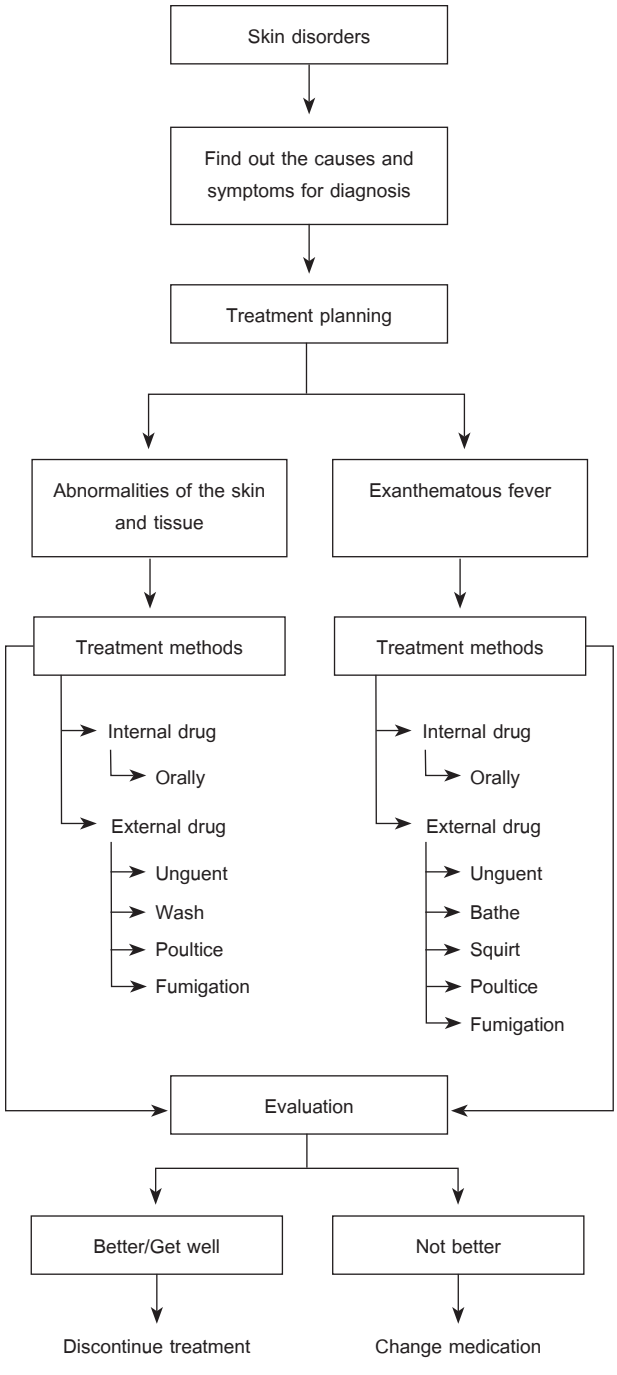


Figure 1 Practice guidelines for treatment of skin disorders recorded in Palm Leaf Manuscripts.

แทรกโรคตามไว้พร้อมกัน[17, 23] จากการศึกษา รวบรวมตำรับยาได้ทั้งสิ้น 415 ตำรับ ประกอบด้วยยาสำหรับใช้ภายใน 232 ตำรับ และยาสำหรับใช้ภายนอก 178 ตำรับ โรคที่รวบรวมตำรับยาได้มากที่สุดคือ ออกตุ่มออกคาย หรือผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) จำนวน 61 ตำรับ รองลงมาคือ ฝีหัวคว่ำ (Abscess without apex) 56 ตำรับ ไข้อีดำอีแดง (Scarlet fever) 41 ตำรับ อีสุกอีใส (Chickenpox) 40 ตำรับ ฝีฝักบัว (Carbuncle) 31 ตำรับ ฝี (Abscess) 25 ตำรับ (Meningococcal disease) 23 ตำรับ แผล (Wound) 22 ตำรับ ไข้กาพหลังแอ่น เหือด (Rubella) 21 ตำรับ ไฟลามทุ่ง (Erysipelas) 13 ตำรับ ไข้ปานดำปานแดง (Hemorrhagic fever) 13 ตำรับ ไข้ทรพิษ (Smallpox) 13 ตำรับ เรื้อน (Leprosy) 11 ตำรับ งูสวัด (Herpes zoster) 9 ตำรับ หัด (Measles) 8 ตำรับ กลาก (Ringworm) 8 ตำรับ เกลื้อน (Pityriasis versicolor) 8 ตำรับ ฝีปลวด (Cysts) 4 ตำรับ สิวหัวช้าง (Cystic acne) 3 ตำรับ คุดทะราด (Yaws) 3 ตำรับ หิด (Scabies) 3 ตำรับ และสะเก็ดเงิน (Psoriasis) 1 ตำรับ ในขณะเดียวกันข้อมูลทางสถิติของสถาบันโรคผิวหนังในปี พ.ศ. 2561 ที่รายงานว่า โรคผื่นผิวหนังอักเสบ เป็นโรคผิวหนังที่มีความชุกมากเป็นอันดับที่ 2[24] แสดงให้เห็นว่าโรคผื่นผิวหนังอักเสบเป็นปัญหาด้านสุขภาพที่มีความสำคัญตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้สามารถคัดเลือกตำรับยาที่สำคัญได้ 52 ตำรับ (Table 2) โดยส่วนมากเป็นตำรับยาสำหรับใช้ภายนอกที่ไม่มีการใช้แร่ธาตุ และสัตว์วัตถุประกอบตำรับยา และมีจำนวนพืชสมุนไพรที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้รักษาผู้ป่วยและศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ และจากการตรวจสอบชื่อเครื่องยาที่ปรากฏในเอกสารใบลานพบว่าหมอพื้นบ้านในพื้นที่จังหวัดสกลนครมีการใช้เครื่องยาบางชนิดที่ได้จากพืชมากกว่าหนึ่งชนิด (Species) โดยมีชื่อเรียกในท้องถิ่นอย่างเดียวกัน ได้แก่ อ้อยดำในตำรับ Ya-1 ลำดับพืชที่ K4 ได้จากชนิด *Saccharum sinense* Roxb. แต่เนื่องจากในปัจจุบันเป็นพืชที่หาได้ยากจึงอาจใช้อ้อย (*Saccharum sinense* Roxb.) สายพันธุ์ที่เปลือกลำต้นมีลักษณะสีดำแทนอ้อยดำ

Table 2 Important medicinal plants formulas recorded in the Palm Leaf Manuscripts.

Category No.	Plants species / Family / Collector No.	Local name	Parts Used/ Habit	Code No.	Preparation and application
Ab-1	*Panicum repens* L. /Poaceae /CS125	Ya wai	R/G	A1	Use the equal A1-A3 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Amphineurion marginatum D.J.Middleton / Apocynaceae /CS148	Deu din	R/C	A2	
Ab-2	*Aporosa villosa* (Lindl.) Baill. /Phyllanthaceae	Meud lot	R/ST	A3	Use the equal A4 and A5 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Antidesma bunius (L.) Spreng. /Phyllanthaceae	Mao dong	R/ST	A4	
	Ficus hispida L.f. /Moraceae /CS133	Deu pong	R/ST	A5	
Ab-3	*Zingiber officinale* Roscoe. /Zingiberaceae	Khing	Rh/H	A6	Use the equal A6-A8 are simmered and topically applied.
	Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle / Rutaceae /CS009	Manaw	Fj/ST	A7	
	Sesamum indicum L. /Pedaliaceae /CS082	Nga	So/H	A8	
Aw-1	*Capparis siamensis* Kurz /Capparaceae	Sasu keu	R/S	B1	Use B1 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
Aw-2	*Cissampelos pareira* L. /Menispermaceae	Moh nio	R/C	B2	Use the equal B2 and B3 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Capparis micracantha DC. /Capparaceae / CS001	Sasu ton	R/ST	B3	
	Caesalpinia digyna Rottler /Fabaceae				
Aw-3	*Harrisonia perforata* (Blanco) Merr. /Rutaceae /CS145	Kajai	R/C	B4	Use the equal B4-B6 are boiled and taken orally.
		Kontha	R/ScS	B5	
Aw-4	*Alpinia galanga* (L.) Willd. /Zingiberaceae / CS002	Kha	Rh/H	B6	Use the equal B7-B9 are immersed in water and taken bathe.
	Strychnos nux-blanda A.W. Hill /Loganiaceae	Tumka	B/ST	B7	
	Momordica cochinchinensis (Lour.) Spreng. / Cucurbitaceae /CS106	Mak khao	R/HC	B8	
	Mimosa pudica L. /Fabaceae /CS162	Ya yue	R/US	B9	
Cy-1	*Eurycoma longifolia* Jack /Simaroubaceae / CS043	Yik bo thong	R/S	C1	Use C1 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
Cb-1	*Clausena excavata* Burm.f. /Rutaceae /CS039	Chamat	R/S	D1	Use the equal D1-D4 are rubbed on stone, dissolves with water and topically applied.
	Clausena harmandiana (Pierre) Guillaumin / Rutaceae /CS036	Songfah	R/S	D2	
	Amphineurion marginatum D.J.Middleton / Apocynaceae /CS148	Deu din	R/C	D3	
	Gardenia sootepensis Hutch. /Rubiaceae	Khai nao	R/T	D4	
Cb-2	*Caesalpinia mimosoides* Lam. /Fabaceae	Phak kaya	R/C	D5	Use the equal D5 and D6 are rubbed on stone, dissolves with water and topically applied.
	Clerodendrum paniculatum L. /Lamiaceae / CS042	Phidaeng	R/S	D6	
Cb-3	*Celastrus paniculatus* Willd. /Celastraceae / CS136	Mak tak	R/C	D7	Use the equal D7-D11 are rubbed on stone, dissolves with water and topically applied.
	Microcos tomentosa Sm. /Malvaceae /CS147	Mak khom	R/T	D8	
	Ziziphus jujuba Mill. /Rhamnaceae /CS013	Mak than	R/ST	D9	
	Piper betle L. /Piperaceae /CS094	Phlu	R/WC	D10	
	Glochidion coccineum (Buch.-Ham.) Müll.Arg. / Phyllanthaceae	Tana	R/S	D11	
Ca-1	*Clerodendrum paniculatum* L. /Rubiaceae / CS042	Phidaeng	R/S	E1	Use E1 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.

Table 2 Important medicinal plants formulas recorded in the Palm Leaf Manuscripts. (Cont.)

Category No.	Plants species / Family / Collector No.	Local name	Parts Used/ Habit	Code No.	Preparation and application
Ca-2	*Phyllanthus reticulatus* Poir. /Phyllanthaceae	kang pla	R/ST	E2	Use the equal E2 and E3 are rubbed on stone, dissolves with water and topically applied.
	Curcuma longa L. /Zingiberaceae /CS021	Khaomin	R/H	E3	
Ri-1	*Cheilocostus speciosus* (J.Koenig) C.D.Specht /Costaceae /CS023	Ueang	R/H	F1	Use the equal F1-F3 are grinded, mix with F4 and topically applied.
	Senna tora (L.) Roxb. / Fabaceae /CS018	Lub luen	L/US	F2	
	Curcuma zedoaria (Christm.) Roscoe / Zingiberaceae /CS027	Khaomin kuen	Rh/H	F3	
	Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle / Rutaceae /CS009	Manaw	Fj/ST	F4	
Ri-2	*Cassia fistula* L. / Fabaceae /CS044	Lomlang	Sm/T	F5	Use F5 is rub on stone, mix with F6 and topically applied.
	Hydnocarpus castanea Hook.f. & Thomson / Achariaceae	Krabao	So/T	F6	
Pv-1	*Aphanamixis polystachya* (Wall.) R.Parker / Meliaceae	Taseu	L/T	G1	Use the equal G1 and G2 are grinded, mix with water and topically applied.
	Plumbago indica L. /Plumbaginaceae /CS031	Pippi daeng	L/US	G2	
Wo-1	*Cassia fistula* L. / Fabaceae /CS044	Lom lang	B/T	H1	Use the equal H1 and H2 are boiled and taken wash.
Wo-2	*Memecylon edule* Roxb. /Melastomataceae / CS135	Meud ae	L/ST	H2	Use H3 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
	Dillenia aurea Sm. /Dilleniaceae	San	B/T	H3	
Wo-3	*Ficus hispida* L.f. /Moraceae /CS133	Deu pong	L/ST	H4	Use the equal H4 and H5 are simmered and topically applied.
Wo-4	*Sesamum indicum* L. /Pedaliaceae /CS082	Nga	So/H	H5	Use H6 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
	Lagerstroemia speciosa (L.) Pers. /Lythraceae	Kalao	B/T	H6	
Le-1	*Plumbago indica* L. /Plumbaginaceae /CS031	Pippi daeng	L/US	I1	Use I1 is crush, mix with I2 and topically applied.
	Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle / Rutaceae /CS009	Manaw	Fj/ST	I2	
Le-2	*Artocarpus lacucha* Buch.-Ham. /Moraceae / CS117	Ma hat	L/T	I3	Use the equal I3-I6 are simmered and topically applied
	Diospyros mollis Griff. /Ebenaceae /CS064	Mak kia	L/T	I4	
	Senna siamea (Lamarck) H.S.Irwin & Barneby /Fabaceae /CS163	Khi lek	L/T	I5	
	Sesamum indicum L. /Pedaliaceae /CS082	Nga	So/H	I6	
Ps-1	*Acacia concinna* (Willd.) DC. /Fabaceae / CS087	Sompoi	Pd/ScS	J1	Use the equal J1-J3 are simmered and topically applied.
	Gossypium herbaceum L. /Malvaceae /CS088	Fai	F/S	J2	
	Sesamum indicum L. /Pedaliaceae /CS082	Nga	So/H	J3	
Ya-1	*Bombax ceiba* L. /Malvaceae /CS081	Ngew	W/T	K1	Use the equal K1-K4 are boiled, taken orally and bathe.
	Millingtonia hortensis L.f. /Bignoniaceae / CS069	Kang khong	W/T	K2	
	Erythrina subumbrans (Hassk.) Merr. / Malvaceae	Thong lang	W/T	K3	
	Saccharum sinense Roxb. /Poaceae /CS012	Oi dam	Sm/G	K4	
Sc-1	*Cocos nucifera* L. /Arecaceae /CS164	Ma phraw	Pc/P	L1	Use the equal L1 and L2 are crushed, simmered and topically applied.
	Tamarindus indica L. /Fabaceae /CS165	Ma kham	B/T	L2	

Table 2 Important medicinal plants formulas recorded in the Palm Leaf Manuscripts. (Cont.)

Category No.	Plants species / Family / Collector No.	Local name	Parts Used/ Habit	Code No.	Preparation and application
Sc-2	*Azadirachta indica* A.Juss. /Meliaceae /CS033	Sa dao	Sm/T	L3	Use the equal L3 and sugar are pounded and topically applied.
De-1	*Xanthophyllum lanceatum* J.J.Sm. / Polygalaceae	Sang	B/ST	M1	Use the equal M1-M6 are immersed in water and taken bathe.
	Catunaregam tomentosa Tirveng. / Rubiaceae /CS144	Nam thaeng	B/ST	M2	
	Spondias pinnata (L. f.) Kurz / Anacardiaceae /CS166	Ma kok	B/T	M3	
	Acacia concinna (Willd.) DC. /Fabaceae / CS087	Sompoi	Pd/ScS	M4	
	Streblus asper Lour. /Moraceae /CS022	Sompoh	L/T	M5	
	Carallia brachiata (Lour.) Merr. / Rhizophoraceae	Bong nung	B/T	M6	
De-2	*Thunbergia laurifolia* Lindl. /Acanthaceae / CS068	Rang chuet	R/C	M7	Use M7 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
De-3	*Sapindus rarak* DC. /Sapindaceae	Mak sak	R/T	M8	Use the equal M8 and M9 are rubbed on stone, mix with M10 and topically applied.
	Phyllanthus emblica L. /Phyllanthaceae / CS055	Khampom	B/T	M9	
	Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle /Rutaceae /CS009	Manaw	Fj/ST	M10	
De-4	*Lablab purpureus* (L.) Sweet /Fabaceae	Mak pap	L/C	M11	Use M11 is pound, mix with alcohol and topically apply.
De-5	*Pandanus amaryllifolius* Roxb /Pandanaceae	Toei	R/S	M12	Use the equal M12 and M13 are boiled and taken bathe.
	Acacia concinna (Willd.) DC. /Fabaceae / CS087	Sompoi	R/ScS	M13	
De-6	*Ficus racemosa* L. /Moraceae /CS091	Deu kiang	B/T	M14	Use M14 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
De-7	*Hymenodictyon orixense* (Roxb.) Mabb. / Rubiaceae /CS024	Somkob	R/T	M15	Use the equal M15-M17 are immersed in water and taken bathe.
	Miliusa velutina (Dunal) Hook.f. & Thomson / Annonaceae	Teang saeng	R/T	M16	
	*Hydnophytum formicaru*m Jack /Rubiaceae	Hua khimod	Sm/ES	M17	
De-8	*Hura crepitans* L. /Euphorbiaceae /CS053	Phosi	L/T	M18	Use M14 is boil and taken bathe.
Mm-1	*Tiliacora triandra* Diels /Menispermaceae / CS019	Yanang	L/C	N1	Use the equal N1-N6 are pounded, immersed in water, taken orally and squirt on body.
	Pachyrhizus erosus (L.) Urb. /Fabaceae	Mun gaew	L/HC	N2	
	Marsilea crenata C. Presl /Marsileaceae / CS130	Phak waen	L/AqF	N3	
	Cynodon dactylon (L.) Pers. /Poaceae /CS072	Ya pad	Wp/G	N4	
	Dactyloctenium aegyptium (L.) Willd. / Poaceae /CS085	Ya pak kway	Wp/G	N5	
	Iris domestica (L.) Goldblatt & Mabb. / Iridaceae	Ya hang chang	Wp/H	N6	

Table 2 Important medicinal plants formulas recorded in the Palm Leaf Manuscripts. (Cont.)

Category No.	Plants species / Family / Collector No.	Local name	Parts Used/ Habit	Code No.	Preparation and application
Me-1	*Ficus hispida* L.f. /Moraceae /CS133	Deu pong	Sm/ST	O1	Use the equal O1-O5 are immersed in water and taken orally.
	Elaeagnus latifolia L. /Elaeagnaceae /CS100	Mak lod	R/C	O2	
	Sauropus androgynus (L.) Merr. / Phyllanthaceae /CS080	Phakwan ban	R/S	O3	
	Sida acuta Burm.f. /Malvaceae /CS010	Ya khad	R/US	O4	
	Imperata cylindrica (L.) Raeusch. /Poaceae / CS017	Ya kha	R/G	O5	
Ru-1	*Prismatomeris sessiliflora* Pierre ex Pit. / Rubiaceae	Siaw ngoen-liang	R/S	P1	Use the equal P1-P3 are rubbed on stone, mix with P4 and taken orally.
	Streblus asper Lour. /Moraceae /CS022	Sompoh	R/T	P2	
	Clerodendrum chinense (Osbeck) Mabb. / Lamiaceae /CS083	Dok son	R/S	P3	
	Oryza sativa L. /Poaceae				
Ru-2	*Ziziphus jujuba* Mill. /Rhamnaceae /CS013	Khao chao	Wr/G	P4	Use the equal P5-P10 are immersed in water and taken orally.
	Streblus asper Lour. /Moraceae /CS022	Mak than	R/ST	P5	
	Vitex trifolia L. /Lamiaceae /CS025	Sampoh	R/T	P6	
	Psophocarpus tetragonolobus (L.) DC. / Fabaceae /CS092	Phiseu	R/S	P7	
	Indigofera suffruticosa Mill. /Fabaceae	Thua phu	R/HC	P8	
	Mangifera caloneura Kurz /Anacardiaceae	Kham	R/US	P9	
		Muang kasoh	R/T	P10	
Er-1	*Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe / Zingiberaceae /CS027	Khaomin kuen	Rh/H	R1	Use the equal R1-R3 are rubbed on stone, mix with R4 and topically applied.
	Thespesia lampas (Cav.) Dalzell /Malvaceae	Lompom	R/S	R2	
	Vitex pinnata L. /Lamiaceae /CS167	Teen nok	B/T	R3	
	Benincasa hispida (Thunb.) Cogn. /Cucurbitaceae	Mak fak	Fj/HC	R4	
Hf-1	*Exacum tetragonum* Roxb. /Gentianaceae	Chat phra in	R/H	S1	Use the equal S1-S3 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Ardisia aprica H. R. Fletcher /Primulaceae	Teen jam	R/S	S2	
	Indigofera tinctoria L. /Fabaceae	Sa kham	R/S	S3	
Sf-1	*Siphonodon celastrineus* Griff. /Celastraceae	Mak duk	R/T	T1	Use the equal T1 and T2 are immersed in water, taken orally and bathe.
	Ochna integerrima (Lour.) Merr. /Ochnaceae / CS035	Chang naw	W/ST	T2	
Sf-2	*Amphineurion marginatum* D.J.Middleton / Apocynaceae /CS148	Deu din	R/C	T3	Use the equal T3-T8 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Sauropus androgynus (L.) Merr. / Phyllanthaceae /CS080	Phakwan ban	R/S	T4	
	Thunbergia similis Craib /Acanthaceae	Nam nae	R/C	T5	
	Solanum torvum Sw. /Solanaceae /CS020	Mak khaeng	R/S	T6	
	Solanum virginianum L. /Solanaceae /CS168	Mak khue	R/US	T7	
	Terminalia chebula Retz. var. *chebula* / Combretaceae /CS038	Sa moh	F/T	T8	
Sf-3	*Hymenodictyon orixense* (Roxb.) Mabb. / Rubiaceae /CS024	Somkob	R/T	T9	Use the equal T9-T12 are rubbed on stone, dissolves with water and taken orally.
	Miliusa velutina (Dunal) Hook.f. & Thomson / Annonaceae	Teang saeng	R/T	T10	
	Phyllanthus reticulatus Poir. /Phyllanthaceae	Kang pla	R/ST	T11	
	Gardenia sootepensis Hutch. /Rubiaceae	Khai nao	R/T	T12	
Ch-1	*Azima sarmentosa* (Blume) Benth. & Hook.f. / Salvadoraceae /CS034	Khi haed	R/C	U1	Use the equal U1 and U2 are immersed in water and taken bathe.

Table 2 Important medicinal plants formulas recorded in the Palm Leaf Manuscripts. (Cont.)

Category No.	Plants species / Family / Collector No.	Local name	Parts Used/ Habit	Code No.	Preparation and application
Ch-2	*Colubrina asiatica* (L.) Brongn. /Rhamnaceae / CS029 *Piper betle* L. /Piperaceae /CS094 *Tinospora crispa* (L.) Hook.f. & Thomson /	Kan tong Phlu Keu khao hoh	R/C L/WC Sm/C	U2 U3 U4	Use the equal U3 and U4 are pounded, mix with U5 and topically applied.
Ch-3	Menispermaceae /CS095 *Oryza sativa* L. /Poaceae *Abutilon hirtum* (Lam.) Sweet /Malvaceae / CS084 *Senna tora* (L.) Roxb. /Fabaceae /CS018 *Sida acuta* Burm.f. /Malvaceae /CS010 *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch. /Poaceae / CS017 *Morus alba* L. /Moraceae /CS086	Khao jao Puak khao Lub luen Ya khad Ya kha Mon	Wr/G R/US R/US R/US R/G R/ST	U5 U6 U7 U8 U9 U10	Use the equal U6-U10 are immersed in water and taken orally.
Hz-1	*Lablab purpureus* (L.) Sweet /Fabaceae	Mak pap	L/C	V1	Use V1 is pound, mix with alcohol and topically apply.
Hz-2	*Polyalthia evecta* (Pierre) Finet & Gagnep. / Annonaceae /CS054	Mak nomnoi	R/T	V2	Use V3 is rub on stone, dissolves with alcohol and topically apply.
Hz-3	*Salacia chinensis* L. /Celastraceae /CS111 *Oryza sativa* L. /Poaceae	Takai Khao jao	L/ScS Sd/G	V3 V4	Use the equal V3 and V4 are pounded, dissolves with water and topically applied.
Sx-1	*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng. / Cucurbitaceae /CS106	Mak khao	R/HC	X1	Use X1 is rub on stone, dissolves with water and topically apply.
Sx-2	*Phyllanthus amarus* Schumach. & Thonn. / Phyllanthaceae /CS075 *Siphonodon celastrineus* Griff. /Celastraceae *Uvaria micrantha* (A.DC.) Hook.f. & Thomson / Annonaceae	Luk tai bai Mak duk Nam tao noy	Wp/H R/T R/C	X2 X3 X4	Use the equal X2-X4 are immersed in water and taken orally.
Sx-3	*Hymenodictyon orixense* (Roxb.) Mabb. / Rubiaceae /CS024 *Miliusa velutina* (Dunal) Hook.f. & Thomson / Annonaceae	Somkob Teang saeng	R/T R/T	X5 X6	Use the equal X5 and X6 are boiled and taken bathe.

B=bark, F=fruit, Fj=fruit juice, L=leaves, Pc=pericarp, Pd=pod, R=root, Rh=rhizome, Sd=seed, Sm=stem, So=seed oil, W=wood, Wp=whole plant, Wr=water from immersing rice, AqF=Aquatic Fern, C= Climber, ES=Epiphytic Shrub, G=Grass, H=Herb, HC=Herbaceous Climber, P=Palm, S=Shrub, ScS=Scandent Shrub, ST=Shrubby Tree, T=Tree, US=Undershrub, WC=Woody Climber, Category No. is a sequence of formulas in each disease.

3. เภสัชวัตถุ

จากการศึกษา รวบรวมเภสัชวัตถุได้ทั้งสิ้น 454 ชนิด แบ่งเป็น พืชวัตถุ 389 ชนิด (พืช 385 ชนิด และเห็ด 4 ชนิด) สัตว์วัตถุ 48 ชนิด และธาตุวัตถุ 17 ชนิด พืชวัตถุสามารถระบุชนิดได้ 365 ชนิด และไม่สามารถระบุชนิดได้ 24 ชนิด พืชที่มีความถี่ในการใช้ประกอบตำรับยาสูงสุด คือ ข้าวเจ้า (*Oryza sativa* L.) รองลงมาคือ หมอน้อย หรือหมาน้อย (*Cissampelos pareira* L.) อ้อยดำ (*Saccharum sinense* Roxb.) และลับลืน (*Senna tora* (L.) Roxb.) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ามีพืชสมุนไพรในท้องถิ่นที่ไม่พบการใช้ตามคัมภีร์ของแพทย์แผนไทย อาทิเช่น เล็บเงือก (*Tephrosia purpurea* (L.) Pers.) หมาดำ (*Miliusa thorelii* Finet & Gagnep.) ตานา (*Glochidion coccineum* (Buch.-Ham.) Müll.Arg.) ขี้หนู (*Diospyros borneensis* Hiern) เสี้ยวเงินเลียง (*Prismatomeris sessiliflora* Pierre ex Pit.) คันจ้อง (*Diospyros filipendula* Pierre ex Lecomte) หำอาว (*Pterospermum littorale* Craib var. *littorale*) ผักตีนฮุ้ง (*Helminthostachys zeylanica* (L.) Hook.) เสียง (*Ficus albipila* (Miq.) King) ซ้อ (*Gmelina arborea* Roxb.) และสะค้าง (*Vitex scabra* Wall. ex Schauer) เป็นต้น

4. รสยาของสมุนไพร

จากการตรวจสอบรสยาของพืชสมุนไพรตามหลักเภสัชกรรมแพทย์แผนไทย พบว่ารสขมเย็น เป็นรสยาที่มีการนำมาใช้มากที่สุด 31.44% รองลงมา คือ รสเมาเบื่อ (22.30%) รสฝาด รสเผ็ดร้อน รสจืด รสหวาน รสเปรี้ยว รสหอมเย็น รสเค็ม และรสมัน ตามลำดับ (Figure 2) แสดงให้เห็นว่าตัวยาตรงที่จะใช้รักษาอาการหลักมีรสยาที่สอดคล้องกับสรรพคุณตามหลักสรรพคุณเภสัชของเภสัชกรรมไทยคือ รสขมเย็นมีความสำคัญต่อการลดความร้อนและการอักเสบในร่างกาย รสเมาเบื่อมีความสำคัญต่อการรักษาโรคผิวหนังและน้ำเหลืองเสีย รสฝาดมีความสำคัญต่อการสมานแผล และรสยาอื่นๆ มีความสำคัญต่อการช่วยปรับสมดุลในร่างกาย[17, 23]

5. น้ำกระสายยา

การใช้น้ำกระสายยา เป็นการใช้น้ำที่ได้จากพืช สัตว์ หรือแร่ธาตุ รวมถึงน้ำสะอาด และแอลกอฮอล์ ที่ผ่านวิธีการต้ม ฝน บีบ แช่ และคั้น ละลายเอาน้ำมาผสมยา เพื่อให้ยามีฤทธิ์ที่ตรงต่อโรค เพิ่มสรรพคุณของยา และเพื่อให้ง่ายต่อการรับประทานหรือการใช้ โดยน้ำกระสายยาที่มีการใช้มากที่สุด คือ น้ำฝน รองลงมา คือ สุรา น้ำพังคา น้ำไส้เดือน น้ำแช่ข้าว น้ำมันงา น้ำส่างน้อย น้ำนม น้ำมะนาว น้ำเช็ดข้าว น้ำดอกคำไทย น้ำรากกล้วยตีบ และน้ำมูตร ตามลำดับ ทั้งนี้ น้ำพังคา น้ำไส้เดือน และน้ำส่างน้อย ไม่พบการใช้เป็นน้ำกระสายยาในเภสัชกรรมแพทย์แผนไทย[17, 23] โดยน้ำพังคาเป็นน้ำที่กรองได้จากการหมักข้าวเหนียวนึ่งด้วยราและยีสต์ก่อนการเป็นสาโท หรือแอลกอฮอล์ น้ำไส้เดือนเป็นน้ำที่กรองได้จากการใช้ไส้เดือน (Earthworm) แช่น้ำสะอาด และน้ำส่างน้อยเป็นน้ำที่ซึมออกจากการขุดห่างจากบริเวณน้ำครำหรือน้ำใต้ถุนเรือนประมาณหนึ่งศอก[25]

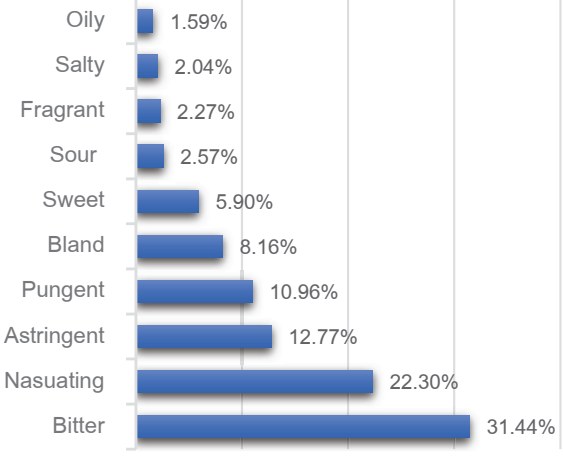


Figure 2 Flavors of medicinal plants.

6. วิธีการเตรียมยา

วิธีการเตรียมยาที่พบมากที่สุด คือ การฝนด้วยหิน (48.30%) รองลงมาคือ การแช่ การบด การต้ม การเคี่ยว การเผา และการคั้น ตามลำดับ (Figure 3) ซึ่งการฝนเป็นวิธีการเตรียมยาที่ไม่พบในวิธีการปรุงยา 28 วิธี ตามหลักเภสัชกรรมแพทย์แผนไทย[23] ในขณะที่ Abbasi *et al.* (2010)[26] รายงานว่า การคั้นเป็นวิธีการเตรียมยาที่นิยมมากที่สุดในการใช้รักษาโรคผิวหนัง ทั้งนี้การฝนด้วยหินเป็นภูมิปัญญาของแพทย์พื้นบ้านในการเตรียมยาเพื่อใช้รักษาผู้ป่วย เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว และใช้ต้นทุนที่ต่ำในการเตรียม

7. วิธีการใช้ยา

วิธีการใช้ยาที่พบมากที่สุด คือ การกิน (57.18%) รองลงมา คือ การทา การอาบ การพอก การรม การล้าง และการพ่น ตามลำดับ (Figure 4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Abbasi *et al.* (2010)[26] พบว่า การกินเป็นวิธีการใช้ยาที่นิยมมากที่สุดในการรักษาโรคผิวหนัง เนื่องจากร่างกายสามารถดูดซึมยาได้โดยตรง ส่งผลให้ยาออกฤทธิ์ได้ดีและมีประสิทธิภาพในการรักษาโรค ในขณะที่ Bhat *et al.* (2014)[27] รายงานว่า การพอกเป็นวิธีการใช้ยาที่นิยมมากที่สุดในการรักษาโรคผิวหนัง

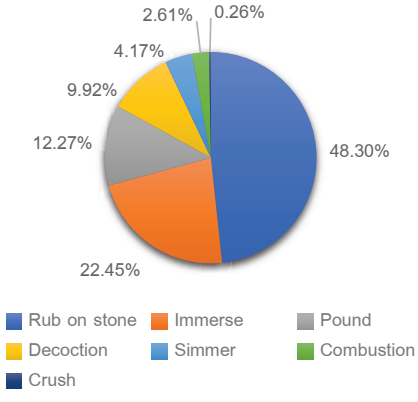


Figure 3 Methods of preparation of the medicinal plant formulas.

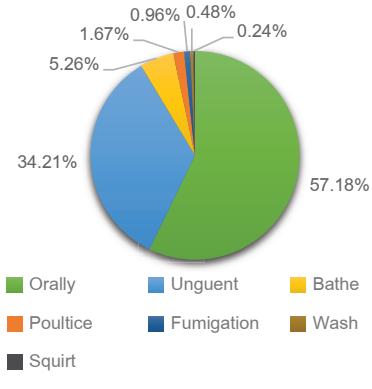


Figure 4 Modes of administration of the medicinal plant formulas.

ตำรับยาที่น่าใจ

จากการศึกษาการใช้ตำรับยาสมุนไพรรักษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานส่วนใหญ่เป็นตำรับยาที่ใช้รักษาผู้ป่วยแล้วมีผลดีต่อการรักษาที่เกิดจากประสบการณ์ตรงของหมอหรือได้เรียนรู้สืบทอดมา การศึกษาครั้งนี้พบตำรับยาที่น่าสนใจชื่อ ตำรับยารักษาประดง หรือ De-1 เป็นตำรับที่ใช้รักษาโรคผื่นผิวหนังอักเสบ ซึ่งเป็นโรคที่มีจำนวนตำรับยามากที่สุด อีกทั้งเป็นตำรับยาสำหรับใช้ภายนอกด้วยการแช่อาบ และมีจำนวนพืชสมุนไพรที่เหมาะสม ประกอบด้วยพืชสมุนไพร 6 ชนิด ได้แก่ ชุมแสง มะเค็ด มะกอก ส้มป่อย ข่อย และเฉียงพร้านางแอ พบว่ามีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชสมุนไพรที่เกี่ยวกับโรคผิวหนัง ได้แก่ ชุมแสง (*Xanthophyllum lanceatum* J.J.Sm.) มีฤทธิ์ต้านโรคเริมชนิดที่ 1[28] มะเค็ด (*Catunaregam tomentosa* Tirveng.) มีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่ก่อโรคบนผิวหนัง[29] มะกอก (*Spondias pinnata* (L. f.) Kurz) มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ[30] และมีฤทธิ์ลดอาการปวด[31] ส้มป่อย (*Acacia concinna* (Willd.) DC.) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคผิวหนัง[32] ข่อย (*Streblus asper* Lour.) มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ[33] และเฉียงพร้านางแอ (*Carallia brachiata* (Lour.) Merr.) มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ[34] และมีฤทธิ์ต่อการรักษาแผล[35] เป็นต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยากับสรรพคุณของตำรับยา พบว่ามีความสอดคล้องกัน คือ ใช้ในการยับยั้งเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคผิวหนัง ลดอาการปวด และทำให้ลดการอักเสบของผิวหนัง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของตำรับนี้ ซึ่งเป็นตำรับที่น่าสนใจและควรทำการศึกษาวิจัยต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การรักษาโรคผิวหนังที่ปรากฏในเอกสารใบลานอีสานของจังหวัดสกลนคร เป็นองค์ความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ตรงของหมอพื้นบ้านหรือได้เรียนรู้สืบทอดมา โดยมีแนวทางการรักษาโรคผิวหนังแต่ละประเภทด้วยการใช้ตำรับยาสมุนไพรตามการวินิจฉัยจากสาเหตุและลักษณะอาการของโรค จากการศึกษาสามารถจำแนกกลุ่มโรคได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มความผิดปกติของผิวหนังและเนื้อเยื่อ และกลุ่มไข้ออกผื่น รวม 22 โรค รวบรวบตำรับยาได้ทั้งสิ้น 415 ตำรับ โรคที่รวบรวมตำรับยาได้มากที่สุดคือ ออกตุ่มออกคายหรือผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) จำนวน 61 ตำรับ รวบรวมเภสัชวัตถุได้ทั้งสิ้น 454 ชนิด การศึกษาครั้งนี้สามารถคัดเลือกตำรับยาที่สำคัญ จำนวน 52 ตำรับ เนื่องจากส่วนมากเป็นตำรับยาสำหรับใช้ภายนอก ไม่มีการใช้แร่ธาตุและสัตว์วัตถุประกอบตำรับยา และมีจำนวนพืชสมุนไพรที่เหมาะสม อีกทั้งตำรับยาเหล่านี้ยังไม่มีการทดสอบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนำไปศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการใช้รักษาโรคผิวหนังและต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงานแพทย์แผนไทย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร และสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่สนับสนุนข้อมูลในการวิจัย ขอขอบคุณพ่ออาน อุทโท พ่อพรมมา จันทะเสน อาจารย์ ดร.อุษา กลิ่นหอม อาจารย์ปิยาภรณ์ แสนศิลา พท.ป.รสมน เพ็งสิงห์ ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญ และหมอพื้นบ้านทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาแบ่งปันองค์ความรู้ที่มีคุณค่า ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. วิญญู วงศ์วิวัฒน์. ภูมิปัญญาการรักษาโรคสะเก็ดเงินของหมอพื้นบ้านในจังหวัด สงขลา พัทลุง ตรัง และสตูล. ปริญญานิพนธ์การแพทย์แผนไทยมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์; 2556.
2. ดารณี อ่อนชมจันทร์. บรรณาธิการ. ภูมิปัญญาการแพทย์พื้นบ้านอีสาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2549.
3. วิชัย โชควิวัฒน, สุวิทย์ วิบุลผลประเสริฐ, ประพจน์ เภตรากาศ. รายงานการสาธารณสุขไทยด้านการแพทย์แผนไทย การแพทย์พื้นบ้าน และการแพทย์ทางเลือก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2553.
4. ราชันย์ ภู่มา. สมราน สุดดี. บรรณาธิการ. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช; 2557.
5. สมัย วรรณอุดร. แบบเรียนอักษรธรรมอีสาน: ฉบับปรับปรุง. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาสารคาม: อภิชาตการพิมพ์; 2557.
6. Hay RJ, Bendeck SE, Chen S, Estrada R, Had- dix A, McLeod T *et al*. Disease control priorities in developing countries. In: Jamison DT (Eds.), Skin Diseases (pp. 707-721). 2nd ed. New York: Oxford University Press; 1993.

7. Sharma J, Gairola S, Sharma YP, Gaur RD. Ethnomedicinal plants used to treat skin diseases by Tharu community of district Udham Singh Nagar, Uttarakhand, India. Journal of Ethnopharmacology 2014;158(PART A):140-206.
8. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. จำนวนผู้ป่วยนอก จำแนกตามกลุ่มสาเหตุป่วย 21 โรค จากสถานบริการ สาธารณสุข ของกระทรวงสาธารณสุข ทั่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2552-2560. [serial online] 2557. สืบค้นจาก: http://statbbi.nso.go.th 9 มีนาคม 2562.
9. จีรนันท์ อันทะชัย. ประสิทธิภาพของสมุนไพรพื้นบ้านในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2561.
10. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร. งานแพทย์แผนไทย. ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนคร เล่ม 1. สกลนคร: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร; 2554.
11. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร. งานแพทย์แผนไทย. ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนคร เล่ม 2: สมบัติพ่อพรมมา จันทะเสน. สกลนคร: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร; 2554.
12. งานแพทย์แผนไทย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร และสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร. ตำรายาในเอกสารใบลานจังหวัดสกลนคร เล่ม 3. สกลนคร: สกลนครการพิมพ์; 2556.
13. อุษา กลิ่นหอม. การสังคายนาตำรายาพื้นบ้านอีสาน: กรณีไข้หมากไม้. กรุงเทพฯ: อุษาการพิมพ์; 2552.
14. ปรีชา พิณทอง. ตำรายาโบราณอีสาน. อุบลราชธานี: โรงพิมพ์ศิริธรรมออฟเซ็ท; ม.ป.ป.
15. นันทวัน บุณยะประภัศร. บรรณาธิการ. ศัพท์แพทย์ไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: แสงเทียนการพิมพ์; 2551.
16. ชยันต์ พิเชียรสุนทร, แม้นมาส ชวลิต, วิเชียร จีรวงส์. คำอธิบายตำราพระโอสถพระนารายณ์: ฉบับเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชา 5 ธันวาคม พุทธศักราช 2542. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: อมรินทร์; 2560.
17. วุฒิ วุฒิธรรมเวช. คัมภีร์เภสัชรัตนโกสินทร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ศิลป์สยามบรรจุภัณฑ์และการพิมพ์; 2554.
18. วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: อักษรพิทยา; 2548.
19. วิทยา ปองอมรกุล และ สันติ วัฒฐานะ. หนังสือชุดพรรณไม้เมืองไทย: พืชสมุนไพร 1. เชียงใหม่: องค์การสวนพฤกษศาสตร์; 2553.
20. Bridson D, Forman L. The herbarium handbook. 3rd ed. UK: Royal Botanic Garden; 1992.
21. มูลนิธิฟื้นฟูส่งเสริมการแพทย์ไทยเดิม อายุรเวทวิทยาลัย (ชีวกโกมารภัจจ์). ตำราการแพทย์แผนไทยเดิม (แพทย์ศาสตร์สงเคราะห์) ฉบับอนุรักษ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2558.
22. โรงเรียนแพทย์แผนโบราณ. ตำรายาศิลาจารึกในวัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม (วัดโพธิ์) พระนคร: พระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าให้จารึกไว้เมื่อ พ.ศ.2375 ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหามกุฏราชวิทยาลัย; 2537.
23. ลัดดาวัลย์ ครูปัญญามาตย์. บรรณาธิการ. ตำราเภสัชกรรมไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: อุษาการพิมพ์; 2559.
24. สถาบันโรคผิวหนัง. สถิติโรคผู้ป่วยนอกที่พบตามลำดับ 10 อันดับกลุ่มโรค ปีงบประมาณ 2561. [serial online] 2562. สืบค้นจาก: http://inderm.go.th 29 มิถุนายน 2562.
25. อาน อุทโท. สัมภาษณ์. 19 กรกฎาคม 2562.
26. Abbasi AM, Khan MA, Ahmad M, Zafar M, Jahan S, Sultana S. Ethnopharmacological application of medicinal plants to cure skin diseases and in folk cosmetics among the tribal communities of North-West Frontier Province, Pakistan. Journal of Ethnopharmacology 2010 ; 128(1):322-335.
27. Bhat P, Hegde GR, Hegde G, Mulgund GS. Ethnomedicinal plants to cure skin diseases-An account of the traditional knowledge in the coastal parts of Central Western Ghats, Karnataka, India. Journal of Ethnopharmaco- logy 2014;151(1): 493-502.
28. พรรณรัตน์ อกนิษฐาภิชาติ, อารี วังมณีรัตน์, นงนิตย์ ธีระวัฒนสุข. ฤทธิ์ต้าน Herpes Simplex Virus Type 1 ของพืชผักท้องถิ่นในภาคอีสาน. Thai J. Pharm. Sci. 2005;29(3-4):137-145.
29. Thimabut K, Keawkumpai A, Permpoonpatta-na P, Klaiklay S, Chumkaew P, Kongrit D *et al*. Antibacterial potential of extracts of various parts of *Catunaregam tomentosa* (Blume ex DC) Tirveng and their effects on bacterial granularity and membrane integrity. Tropical Journal of Pharmaceutical Research 2018 ;17 (5):875-882.

30. Rao BG, Nath MS, Raju NJ. Investigation of anti-inflammatory activity of stem heart wood of *Spondias pinnata*. International Journal of Chemical Sciences 2009;7(1):294-298.
31. Panda BK, Patra VJ, Mishra US, Kar S, Panda BR, Hati MR. Analgesic activities of the stem bark extract of *Spondias pinata* (Linn.f) Kurz. Journal of Pharmacy Research 2009;2(5):825-827.
32. Natarajan V, Natarajan S. Antidermatophytic activity of *Acacia concinna*. Global Journal of Pharmacology 2009;3(1):06-07.
33. Sripanidkulchai B, Junlatat J, Wara-aswapati N, Hormdee D. Anti-inflammatory effect of *Streblus asper* leaf extract in rats and its modulation on inflammation-associated genes expression in RAW 264.7 macrophage cells. Journal of Ethnopharmacology 2009;124(3):566-570.
34. Krishnaveni B, Neeharika V, Venkatesh S, Padmavathy R, Madhava RB. Wound Healing activity of *Carallia brachiata* Bark. Indian J Pharm Sci. 2009;71(5): 576–578.
35. Krishnaveni B, Neeharika V, Srikanth AV, Madhava RB. Anti-inflammatory activity of *Carallia brachiata* bark. Internatinal Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology 2009;1(4):375-378.

การผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง

Production of Lightweight Expended Clay Aggregate from Water Treatment Sludge and Cassava Sludge

กรรณิการ์ วงศ์มุกดา[1], สุพิญญญา เมาะราษี[1], ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์[2*]
Kannika Wongmukda[1], Supinya Mullasir[1], Panjai Saueprasearsit[2*]

Received: 28 April 2020 ; Revised: 15 May 2020 ; Accepted: 26 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการ เผาให้ความร้อน ปัจจัยที่สำคัญ ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง (100:0, 90:10 และ 80:20 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิการเผา (800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเผา (30, 60 และ 120 นาที) โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาที่ผลิตได้จะถูกทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลจากการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา คือ ที่อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง 80:20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิการเผา 800 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 60 นาที โดยเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ในสภาวะดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความพรุนตัวปรากฏร้อยละ 64.44 การดูดซึมน้ำร้อยละ 64.82 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.77 และค่าการนำไฟฟ้า 176.63 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จากผลการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่าเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้สามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดความชื้นในกิจกรรมด้านการเกษตรได้ นอกจากนี้ การใช้ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังนั้นจัดว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งและการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง อันเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกแนวทางหนึ่ง

คำสำคัญ: เม็ดดินเผา ดินตะกอนประปา กากมันสำปะหลัง

Abstract

This research aimed to study the production of lightweight expanded clay aggregate (LECA) from water treatment sludge and cassava sludge using thermal process. Significant factors were the ratio of water treatment sludge and cassava sludge (100:0, 90:10, and 80:20 by weight), burning temperature (800, 900, and 1,000 °C), and burning time (30, 60, and 120 min). Various physical and chemical properties of LECA were investigated to determine the optimal conditions. The results indicated that the most suitable conditions were a ratio of 80:20, burning temperature 800°C, and burning time 60min. Under these conditions, the properties of lightweight expanded clay aggregate were bulk density 0.75 g/cm^3, apparent porosity 64.44%, water absorption 64.82%, pH 6.77, and conductivity 176.63 µS/cm. It is concluded that lightweight expanded clay aggregate can applied as a moisture absorber in agricultural activities. Furthermore, this treatment of water treatment sludge and cassava sludge provides a user-friendly approach to waste utilization and a waste management.

Keywords: Expanded Clay, Water Treatment Sludge, Cassava Sludge

---

[1] นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2*] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Bachelor Degree Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand.
[2*] Asst. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand. Email: panjai.s@hotmail.com

บทนำ

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป จะเริ่มต้นจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินเข้าสู่ระบบ จากนั้น น้ำดิบจะถูกเติมสารส้มและปูนขาวลงไปเพื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและช่วยในการตกตะกอนอนุภาคแขวนลอยต่าง ๆ และถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอน ถังกรอง ระบบการเติมคลอรีน และการตรวจคุณภาพน้ำ ก่อนจะถูกส่งไปกักเก็บในถังสูงเพื่อรอการสูบจ่ายต่อไป[1] ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวในแต่ละปีประเทศไทยจะมี ดินตะกอนประปาจากถังตกตะกอนและถังกรองในกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่ถูกวิธีอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ เช่น หากดินตะกอนประปาไปฝังกลบ เนื่องจากดินตะกอนประปามีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมเป็นจำนวนมาก (ดังแสดงใน Table 1) ทำให้อาจส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากพืช ทำให้การดูดกินธาตุอาหารและน้ำของพืชถูกจำกัด ในบริเวณที่มีการฝังกลบได้ เป็นต้น[2] และจากการที่ดินตะกอนประปามีคุณสมบัติคล้ายดินเหนียว ทนไฟสูง ลักษณะ เนื้อดินมี ความสม่ำเสมอ สามารถมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซรามิกส์และเครื่องปั้นดินเผา[3] และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบล็อกประสาน[4] ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะนำดินตะกอนประปามาใช้ในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (Lightweight Expanded Clay Aggregate: LECA) ซึ่งจัดว่าเป็นวัสดุปลูกที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถช่วยรักษาความชื้นให้กับดิน และเป็นวัสดุคลุมหน้าดินเพื่อความสวยงามและป้องกันการสูญเสียหน้าดินจากการรดน้ำ รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกผักไฮโดรโปนิกส์[5] โดยนำดินตะกอนประปามาใช้แทนดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาและจะมีการใช้กากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร (Agro Industrial By-Products) ที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจัดได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณมากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาเป็นวัสดุผสม ซึ่งกากมันสำปะหลังนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการปฏิกิริยาการเผาไหม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสของสารก่อให้เกิดรูพรุนภายในเม็ดดินเผามากขึ้นทำให้เพิ่มคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำให้แก่เม็ดดินเผาน้ำหนักเบา[6] โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาโดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ โดยประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้นอกเหนือจากการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ยังช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและอุตสาหกรรมการเกษตร คือ ดินตะกอนประปา และกากมันสำปะหลัง ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

ดินตะกอนประปาที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากโรงผลิตน้ำประปาจังหวัดมหาสารคาม ทำการแยกสิ่งสกปรกออก ตากให้แห้งจากนั้นบดด้วยเครื่องบดดินร่อนด้วยตะแกรงร่อน เบอร์ 4 อบที่ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับกากมันสำปะหลังได้จากบริษัท บางนาแป้งมัน จำกัด จังหวัดกาฬสินธุ์ ถูกนำมาตากให้แห้งจากนั้นบดด้วยเครื่องบดพืช ร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 16 อบที่ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะของดินตะกอนประปาและคุณสมบัติของดินตะกอนประปาจากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นดัง Figure 1, Table 1 และ Figure 2

Figure 1 Water Treatment Sludge

Table 1 Chemical Composition of Water Treatment Sludge[7]

Substance	Composition (%)
SiO_2	56.76
Al_2O_3	20.33
CaO	6.03
Fe_2O_3	0.70
Na_2O	4.63
K_2O	1.51
MgO	-
SO_3	0.47
LOI	6.95

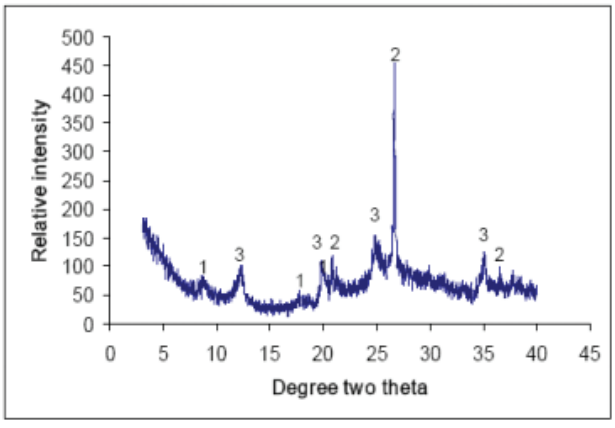


Figure 2 Structure of Water Treatment Sludge[7]

การเตรียมเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา

ทำการเตรียมโดยนำวัสดุผสม (ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง) ในแต่ละอัตราส่วน (100:0, 90:10 และ 80:20 โดยน้ำหนัก) มาทำผสมและขึ้นรูปเป็น ทรงกลมโดยใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จากนั้นเม็ดดินที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วนำไปตากแดดให้แห้งนำเม็ดดินใส่ลงในถ้วยกระเบื้องและไปเผาที่อุณหภูมิการเผา 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเผา 30 นาที, 60 นาที และ 120 นาที โดยในแต่ละสภาวะจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับขั้นตอนการเตรียมเป็นดัง Figure 3

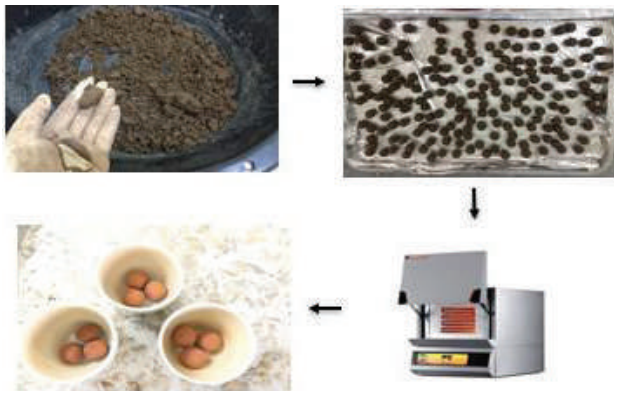


Figure 3 *Preparation of LECA*

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทำได้โดยการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ ประกอบด้วย ความหนาแน่นรวม ความพรุนตัวปรากฏ การดูดซับน้ำของเม็ดดินเผา ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ซึ่งวิธีการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด โดยเป็นค่าที่บอกมวลของวัตถุนั้นในปริมาตร 1 หน่วย วัตถุที่มีความหนาแน่นรวมมากจะมีมวลมากกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยในปริมาตรที่เท่ากัน ความหนาแน่นรวมสามารถวัดได้โดยการวัด เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาด้วย เวอร์เนียคาลิปเปอร์ตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผา น้ำหนักเบา และคำนวณค่าความหนาแน่นดังสมการ (1)

$$Bulk\ density = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{3}{4} * \pi * r^3} \quad (1)$$

โดยที่

Bulk density คือ ความหนาแน่นรวมของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา *(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)*

M คือ มวลของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (กรัม)

V คือ ปริมาตรของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

r คือ รัศมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (เซนติเมตร)

การศึกษาความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity)

ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยตรงโดยการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] โดยนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccators แล้วนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามาต้มในน้ำเดือดประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำต่อไปเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะต้องให้น้ำท่วมเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตลอดเวลา หลังจากครบเวลาจึงทำการชั่งน้ำหนักเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาในน้ำด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วจึงใช้ผ้าหมาดซับน้ำที่ติดบนผิวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาออก แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งด้วย เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นจึงคำนวณค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา จากสมการ (2)

$$AP = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{sat} - W_{sus}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

AP คือ พรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (ร้อยละ)

W_{sat} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่อิ่มตัวด้วยน้ำและซับน้ำที่ผิวออกแล้ว (กรัม)

W_{dry} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่อบแห้ง 110 องศาเซลเซียส ชั่งในอากาศ (กรัม)

W_{sus} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ทำการชั่งแบบแขวนลอยในน้ำ (กรัม)

การศึกษาการดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] โดยชั่งน้ำหนักเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาหลังอบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccators และทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามาต้มในน้ำเดือดประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำต่อไปเป็นระยะเวลา 24ชั่วโมง จากนั้นเช็ดผิวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาซับน้ำออก และชั่งน้ำหนักแทนค่าน้ำหนักหลังต้ม นำค่าจากการทดลองมาคำนวณตามสูตรร้อยละการดูดซึมน้ำจากสมการ (3)

$$\text{Water Absorption} = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (3)$$

การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง[9]

ค่าความเป็นกรด (Acidity) หรือความเป็นด่าง (Alkalinity) ของดินเป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อขบวนการทางเคมีและชีวภาพในที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช[3] ขั้นตอนการศึกษาทำได้โดยการบดเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา และทำการผสมดินที่ได้จากการบดกับน้ำด้วยอัตราส่วนดิน: น้ำ=1:1 (W/W) โดยใช้ดินจากการบดเม็ดดินเผา น้ำหนักเบา 20 กรัม ใส่ใน บีกเกอร์เติมน้ำกลั่น *20* กรัม (ประมาณ 20 มิลลิลิตร) คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ให้ บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH Meter หรือใช้ช้อนตวงตักดินและตวงน้ำแทนการชั่งดิน เพื่อวัด pH (1:1, V/V)

การทดสอบค่าการนำไฟฟ้า[9]

ค่าการนำไฟฟ้าของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Electrical Conductivity Meter โดยการบดเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาและชั่งดิน 4 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร ใส่น้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ นาน 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจึงนำไปอ่านค่า EC โดยเครื่อง Electrical Conductivity Meter โดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 N ปรับค่าคงที่ (Cell Constant) ของเครื่อง Electrical Conductivity Meter ที่ 25 องศาเซลเซียส การวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวดินเผาจึงเป็นการประเมินปริมาณเกลือที่ละลายได้ของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา และค่าที่ได้ยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเค็มของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาด้วย การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงขึ้นประมาณ 2% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส เครื่องมือวัดที่ไม่สามารถคำนวณแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าที่อุณหภูมิควรวัดอุณหภูมิสารละลายแล้วคำนวณเป็นค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส[3] ตามสมการที่ (6)

$$\text{ค่าการนำไฟฟ้า } EC_{25} = EC_t / [1 + 0.02(t-25)] \quad (6)$$

โดยที่

EC_{25} คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

EC_t คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ t (องศาเซลเซียส)

T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ผลการศึกษา

การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ผลการศึกษาความหนาแน่นรวมของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 4

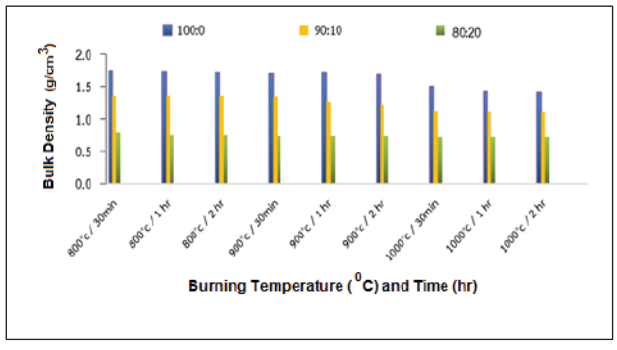


Figure 4 Bulk Density of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 4 พบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ มีแนวโน้มที่ลดลงตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเม็ดดิน *(วัสดุผสมระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง)* ที่มีสารอินทรีย์ได้รับความร้อน โมเลกุลของน้ำจากความชื้นในเม็ดดินเผาและสารอินทรีย์จะเริ่มแยกออกมาและถูกเผาไล่ให้ระเหยไป ทำให้เนื้อดินมีรูพรุนเกิดขึ้น[10] ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวหากปริมาณของสารอินทรีย์ *(ส่วนใหญ่อยู่ในกากมันสำปะหลัง)* สูงขึ้น โอกาสที่จะเกิดรูพรุนก็ย่อมจะมากขึ้น นอกจากนี้จากหลักการเผาไหม้หากว่ามีอุณหภูมิและเวลาการเผาสูงย่อมจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มาก รูพรุนที่เกิดขึ้นย่อมจะเกิดได้มากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง โดยทั่วไปในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบานั้น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะต้องมีความหนาแน่นรวมต่ำหรือมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามก็ควรจะมากพอที่เมื่อนำไปใช้งานจะไม่ทำให้ต้นพืชล้มง่าย

การศึกษาความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity)

ผลการศึกษาความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 5

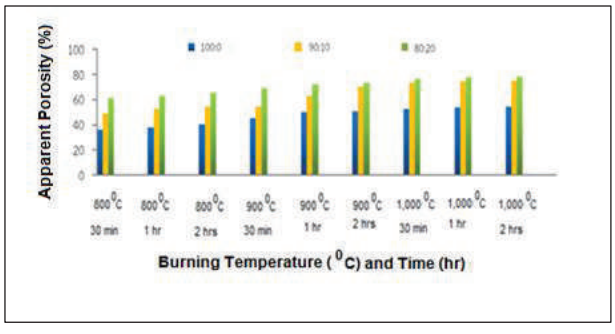


Figure 5 Apparent Porosity of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 5 พบว่า ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ด ดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากการเกิด รูพรุนมากขึ้นดังที่กล่าวไว้ในการทดสอบความหนาแน่น เมื่อรูพรุนมากขึ้น ย่อมเป็นผลให้ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีค่าสูงขึ้น

การศึกษาการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ผลการศึกษาการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 6

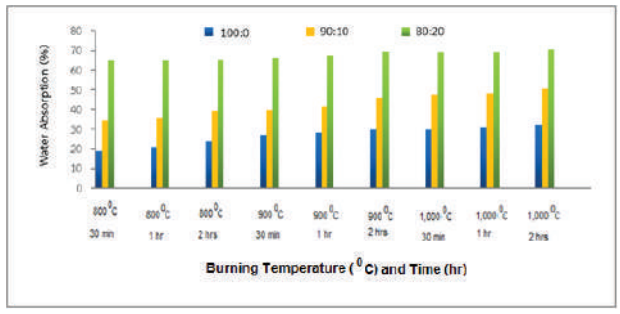


Figure 6 Water Absorption of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 6 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวปริมาณรูพรุนจะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทำให้น้ำสามารถเข้าไปแทนที่และยึดเกาะภายในรูพรุน[10] ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น

การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (Acidity-Alkalinity)

จากผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง *(pH)* ของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure *7*

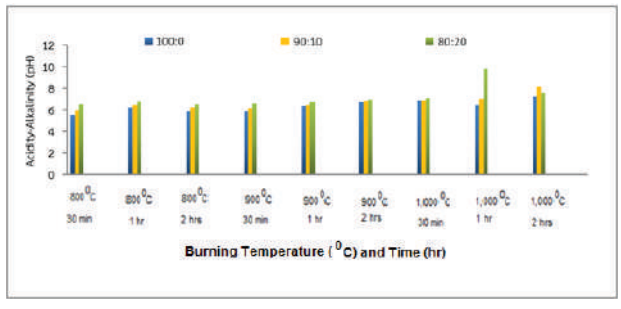


Figure 7 Acidity-Alkalinity (pH) of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 7 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของดินตะกอนประปา (Table 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบที่มีความเป็นด่างสูง เช่น CaO, Al_2O_3 เป็นต้น ทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนดินตะกอนประปา ค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้จึงสูงขึ้น นอกจากนี้ ในกระบวนการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาเพิ่มขึ้น องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ของดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังจะถูกเผาไหม้สลายไปมากขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบอนินทรีย์ที่กล่าวถึงข้างต้นคงอยู่และมีบทบาทมากขึ้นต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผา น้ำหนักเบาสูงขึ้น[10]

การทดสอบค่าการนำไฟฟ้า

จากผลการทดสอบการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 8

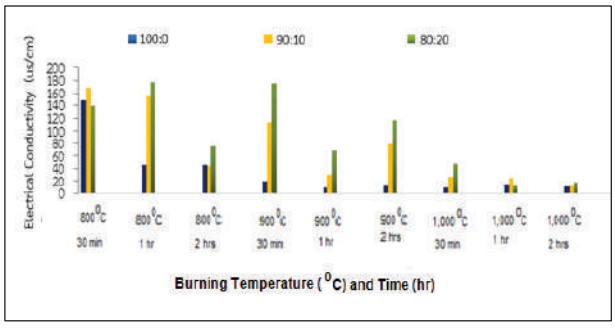


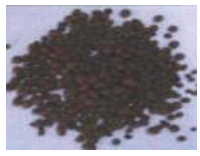
Figure 8 Electrical Conductivity of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 8 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตัวเม็ดดินเผาทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาที่มากขึ้นนั้นทำให้องค์ประกอบบางส่วนที่สามารถให้ไอออนที่อยู่ในเม็ดดินเผานั้นเกิดการสลายตัวไปทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง[11]

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจะพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่ทำให้เม็ดดินเผาสามารถคงรูปได้หลังการเผา มีโครงสร้างคงทน แข็งแรง ให้ค่าความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความพรุนตัวปรากฏ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ใกล้เคียงกับค่าสมบัติของวัสดุปลูกมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง คือ อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปา 80:20 อุณหภูมิการเผา 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเผา 60 นาที ซึ่งเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ ณ สภาวะดังกล่าวจะมีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถลอยน้ำได้เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ความพรุนตัวปรากฏร้อยละ 64.44 และการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 64.82 ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี เหมาะที่จะใช้เป็นตัวดูดซึมน้ำ (Absorber) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.77 ใกล้เคียงกับค่า pH ของเม็ดดินเผาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และค่าการนำไฟฟ้า 176.63 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถสะท้อนถึงทั้งปริมาณของธาตุอาหารและค่าความเค็ม อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่าต่ำมาก ดังนั้นในการนำไปใช้จึงควรพิจารณาการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์ด้วย นอกจากคุณสมบัติที่ใกล้เคียงและสอดคล้องทั้งกับงานวิจัยที่ผ่านมา เม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปและเม็ดดินเผาที่ใช้เป็นวัสดุปลูกแล้ว หากพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตโดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะเห็นได้ว่าการใช้ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมากเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเพียงกาก มันสำปะหลังแบบกากขาว ซึ่งมีราคาอยู่ที่ประมาณ 0.25 บาทต่อกิโลกรัม และอุณหภูมิการที่เหมาะสมในการเผาที่ได้ยังมีต่ำกว่าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเม็ดดินเผาสำหรับวัสดุปลูกโดยทั่วไป ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ยังส่งผลดีในแง่ของการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง คือ ดินตะกอนประปา ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอนประปาให้แก่หน่วยงานที่เป็นแหล่งกำเนิดได้เป็นอย่างดี

Table 2 Characteristics and Properties of Lightweight Expended Clay Aggregate[5,6]

Characteristics	Lightweight Expended Clay Aggregate (LECA)			
	Water Treatment Sludge: Cassava Sludge (80: 20)	Clay: Rice Husk (1:1)	Commercial Lightweight Expended Clay Aggregate	Expanded Clay for Plant Growing
Morphology				-
Burning Temperature (^{0}C)	800	1,000	-	1,100
Bulk Density (g/cm^3)	0.72	0.6418	0.6514	0.3-0.7
Water Absorption (%)	64.82	100.21	80.34	14.7-16.5
Porosity (%)	64.44	71.68	58.90	50-80
pH	6.77	8.79	pH 10.12	pH 6.2-6.8
Electrical Conductivity (EC) (µS/cm)	176.63	547	1,137	700-1500

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง โดยการนำดินตะกอนประปาซึ่งจะช่วยลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำประปามาผสมกับกากมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ จากนั้นทำการปั้นขึ้นรูปและนำไปเผาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกัน ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดดินเผาโดยเลือกเม็ดดินเผาที่มีสภาวะเหมาะสมในการผลิตจากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผา คือ ที่อัตราส่วน 80:20 ใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ 60 นาที ลักษณะภายนอกค่อนข้างแข็งแรง เนื้อภายในมีสีน้ำตาลใกล้เคียงกับผิวภายนอก มีความหนาแน่นรวมต่ำ ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำสูง ค่า pH อยู่ในระดับปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการที่จะผลิตเม็ดดินเผาจากเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. การประปาส่วนภูมิภาค. ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค.ได้จาก: URL: https://www.pwa.co.th/contents/service/treatment Accessed: April 3, 2019.
2. ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสันต์ วิชิตอมรพันธ์, วรรธนะ เรืองสำเร็จ. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. กรุงเทพฯ: กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่; 2547. 43 หน้า
3. ภาสันต์ ศารทูลทัล และธีร์ หะวานนท์. การเจริญเติบโตของทานตะวันกระถางที่ปลูกในวัสดุผสมตะกอนดินน้ำประปา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2555; 43(2):329-332.
4. ณิชาดา ฉัตรสถาปัตยกุล. มณฑล วังเวียง, ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาร่วมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน. Rajabhat Journal of Sciences, Hunanities & Social Sciences 2555; 13(1):48-54.
5. มนทิรา ไชยตะญากูร. การศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาเป็นวัสดุปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2551;39(3):400-403.
6. จิรประภา ขจรบุญ. การเตรียมเม็ดดินเผาสำหรับใช้ เป็นวัสดุปลูก. ได้จาก: URL: http://library.dip.go.th/multim6/ebook/2559/DIP%20กสอ5%20จ571.pdf Accessed: April 3, 2019.
7. รัฐพล สมนา, เกียรติสุดา สมนา. วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกอนประปา. ใน: เอกสารงานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 10, เชียงราย; 2557. *หน้า* ENV-33-ENV-38.
8. ASTM C 373 -88 (Reapproved 2006), Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products1, United; ASTM, 2009.

9. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. ได้จาก: URL: http://www.ldd.go.th/PMQA/*2553*/Manual/OSD-*03*.pdf Accessed: April 3, 2019.
10. Salomao R, Villas B, Mariana OC, Pandolfelli VC. Porous Alumina-Spinel Ceramics for High Temperature Application. Ceramic International 2001; *37*(4):1393-1399.
11. คชินท์ สายอินทวงศ์. ออกซิเจน องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการเผา. ได้จาก *URL:* http://www.thaiceramic-society.com/pc_burn_oxygen.php. [3 มกราคม 2562]

คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม- กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน- ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้นิพนธ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวนตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้นิพนธ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้นิพนธ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 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 ให้เรียงลำาดับหัวข้อดังนี้

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

ชื่อผู้นิพนธ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้นิพนธ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้ บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรใช้คำย่อ

คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุอุปกรณ์ สิ่งที่นำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และการแปรผล

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

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถาม การวิจัยซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

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

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้นๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

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

การเขียนเอกสารอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style)

เมื่อนำผลงานของบุคคลอื่น ไม่ว่าบางส่วนหรือทั้งหมดมาอ้างอิงในงานนิพนธ์ให้ใส่ตัวเลขกำกับที่ท้ายข้อความนั้น เรียงตาม ลำดับ 1,2,3,... โดยใช้ตัวเลขอารบิค และยกขึ้น (superscript) แล้วรวบรวมเป็นรายการอ้างอิง (Reference list หรือ Bibliography) ที่ส่วนท้ายของงานนิพนธ์

1. การอ้างอิงหนังสือ

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

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

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

2. การอ้างอิงจากวารสาร

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

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 2547 ; 24(2): 31-6.

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 2547 ; 24(2): 31-6.

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Procedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland ; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันด์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พองาม เดชคำรณ, นภา ขันสุภา. การใช้เอทธีฟอนกระตุ้น การสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ ; 2541. หน้า 142-9.

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

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

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

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

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

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

พรรณี รุ่งรัตน์. สทศ 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 ปี ที่ทำการสืบค้น (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.

Intruction 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. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. 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. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

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

    3.1 Title of the article: 18 pt. Bold

    3.2 Name(s) of the authors: 16 pt. Unbold

    3.3 Main Heading: 16 pt. Bold

    3.4 Sub-heading: 14 pt. Bold

    3.5 Body of the text: 14 pt. Unbold

    3.6 Footnotes for authors and their affiliations: 12pt. Unbold, must be cited at the bottom of the first page.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. References are limited to 2 pages

7. Types of manuscripts: research articles and review articles.

8. Manuscript submission : online submission at www.journal.msu.ac.th

9. Manuscript with uncorrected format will be rejected

Research article / review article must be in sequence as follows:

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) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings t. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 300 words. Thai and English is required.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

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. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

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

References: listed and referred in Vancouver style. (www.journal.msu.ac.th)

Vancouver style references:

When work of another person whole or in part to refer in your work, it should be in sequence 1,2,3 using numeric with superscript. Then, author must have reference list or bibliography at the final parts of your manuscript.

1. Book

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).

2. Journal

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

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

3. Conference proceedings

Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Procedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

4. Dictionary

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

5. Newspaper

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

6. E-book

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.

Mahasarakham University Journal of Science and Technology

Aim and Scope:
The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and tehnology. The journal publishes both research article and review article.

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

Advisors
President of Mahasarakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief
Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors
Professor Dr.Pairot Pramual
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Mahasarakham University

Editorial Board
Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supannee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University Professor
Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Mahasarakham 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
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathsni Rajabhat University Assistant
Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Mahasarakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian R. Plant
Mahasarakham University

Secretary
Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary
Phakwilai Rungwisai
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