

JOURNAL OF

SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 43 Number 3 May - June 2024

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

INDEXED IN

ISSN (Print) : 2985-2617

ISSN (Online) : 2985-2625



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 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไผ่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีเนเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิษณุ กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงษ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมฆากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ เกสัชกร ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ

ผู้ช่วยเลขานุการ

พิศตรีวิไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ ภูสีฤทธิ

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 การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

ยินดีต้อนรับสู่ฉบับล่าสุดของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นแหล่งรวมงานวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าจากหลากหลายสาขาวิชา ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความที่ครอบคลุมด้านเกษตรศาสตร์ ชีววิทยา คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์กายภาพ บทความในฉบับนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาด้านเกษตรศาสตร์ที่เกี่ยวกับ "การประเมินความหลากหลายของมณฑลพืชเมืองสกุล *Dioscorea spp.* ในจังหวัดน่านโดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ" ซึ่งสำรวจความหลากหลายของพืชตระกูล *Dioscorea spp.* ที่มีความสำคัญต่อการเกษตรและโภชนาการในพื้นที่ในหมวดชีววิทยา บทความเกี่ยวกับ "ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น" นำเสนอผลการสำรวจและวิเคราะห์ความหลากหลายของผีเสื้อในพื้นที่มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ

สำหรับหมวดคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มีสองบทความที่น่าสนใจ ได้แก่ "การพัฒนากระบวนการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ" ที่นำเสนอเทคโนโลยีใหม่ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางการเกษตร และ "การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองโดยการใช้อัลกอริทึมความสัมพัทธ์" ซึ่งมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของโรคหลอดเลือดสมอง

ในหมวดวิศวกรรมศาสตร์ เรามีบทความที่สำรวจการใช้วัสดุเหลือใช้ในการผลิตคอนกรีต "การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีตบล็อกมวลผสมถ่านอ้อย" และบทความที่ศึกษาคุณสมบัติของกาบต่าง ๆ ในการใช้งานอุตสาหกรรม "การศึกษาผลกระทบของกาบ 5 ชนิดต่อการดูดซับ อัตราการแพร่ และการระเหยในผ้าที่ติดบนแผ่นอะลูมิเนียม"

ในหมวดคณิตศาสตร์ บทความ "การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบสำหรับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของการใช้สถิติ วิเคราะห์ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี" ให้การทบทวนเชิงระบบเกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นในงานวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญสำหรับนักวิจัยที่ต้องการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

สุดท้ายในหมวดวิทยาศาสตร์กายภาพ บทความ "ความแตกต่างของรูปร่างบริเวณนี้มีระหว่างสัตวชาติไทย สัตวชาติเมียนมา และสัตวชาติกัมพูชา" นำเสนอการศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของรูปร่างที่แตกต่างกันในแต่ละสัตวชาติ

วารสารฉบับนี้รวบรวมงานวิจัยที่หลากหลายและมีคุณค่า หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านทุกท่านจะได้รับความรู้และแรงบันดาลใจจากบทความเหล่านี้ ขอขอบคุณนักวิจัยและผู้อ่านทุกท่านที่ให้ความสนใจและสนับสนุนวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทีมกองบรรณาธิการมุ่งมั่นที่จะนำเสนอและคัดกรองบทความวิจัยที่น่าสนใจ มีคุณภาพ และทันสมัยจากนักวิจัยในทุกสถาบันและองค์กร เพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ของไทยและของโลก

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สารบัญ

Agricultural Science

- การประเมินความหลากหลายของมันพื้นเมือง สกุล *Dioscorea* spp. ในจังหวัดน่านโดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ 167
Evaluating diversity of local yams (*Dioscorea* spp.) in Nan province using yields and nutritional value
บรรจง อุปแก้ว และ อนุชา จันทราบูรณ์
Bunjong Oupkaew and Anucha Chantaraboon

Biological Science

- ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น 179
Species diversity of butterflies (Lepidoptera) in Khon Kaen University grounds
ทศพล ไชยอนันต์พร, นภาพิพย์ พรรณงาม, สิริกมล พลายงาม และ นิสารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์
Thotsapol Chaianunporn, Napathip Phan-ngam, Sirikamon Phlai-ngam and Nisarath Tungpairajwong

Computer and Information Technology

- การพัฒนากระบวนการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ 194
Development of oil palm tree's quality estimation by using image processing techniques from an unmanned aerial vehicle
ชลธิศา รัตนชู, ยรรยง สุรัตน์, พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์, ฮาบีบ บินอะหมัด และ ฮัสซัน ดาโอ
Chonthisa Rattanachu, Yanyong Surat, Phanpen Thavornprisit, Habib Bin-ahmad and Hassan Dao

- การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองโดยใช้กฎความสัมพันธ์ 206
Factors analysis affecting stroke disease revealed using association rules
อาทิยาพร โรจรัตน์, ธนโชติ จันทมา, วิลัยพร ศรีรัตน์, ณัฐวานี มุขภักดี, กรกฎ คำวิโส และ โอปาริก สุรินตะ
Aritayaporn Rojarath, Thanachote Jantama, Wilaiporn Srirat, Nattawanee Mookpakdee, Kohrakod khumwiso and Olarik Surinta

Engineering

- การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีตบดลือกกลวงผสมเถ้าขาน้อย 223
Analysis of the physical and mechanical properties of concrete masonry units mixed with sugarcane bagasse ash
กุลธิดา บรรจงศิริ, จิรัชิตี บรรจงศิริ และ บุญชัย เขียวเกียรติประดับ
Kultida Bunjongsiri, Jirat Bunjongsiri and Boonchai Chearnkiatpradab

- การศึกษาผลกระทบของกาว 5 ชนิดต่อการดูดซับ อัตราการแพร่ และการระเหยในผ้าที่ติดบนแผ่นอะลูมิเนียม 234
Investigation of the impact of five adhesives on the absorption, diffusion rate, and evaporation in fabric attached to aluminum plate
ก้องนที วัฒนานุกสิทธ์, จุฬาลักษณ์ อินชนะ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข
Kongnatee Wattananusit, Chulaluk Inchana and Atit Koonsrisuk

Mathematics

- การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบสำหรับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของการใช้สถิติวิเคราะห์ 243
ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
A systematic review examining the assumptions of statistical methods used in scientific and technology research
จุฬารัตน์ ชุมนวล, กรกช วิจิตรสงวน เจ็ดวรรณะ และ กฤษณา สันทวิป
Jularat Chumnuat, Korakot Wichitsa-nguan Jetwanna and Krissada Santaweep

Physical Science

- ความแตกต่างของรูเหงื่อบริเวณนิ้วมือระหว่างสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา 250
The differences of sweat pore on fingerprints of Thai, Myanmar and Cambodian nationalities
รุ่งรัตน์ อูระเพ็ญ และ วรวัช วิชชวาณิชย์
Rungrat Urapen and Woratouch Witchuvanit

การประเมินความหลากหลายของมันพื้นเมือง สกุล *Dioscorea* spp. ในจังหวัดน่านโดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ

Evaluating diversity of local yams (*Dioscorea* spp.) in Nan province using yields and nutritional value

บรรจง อูปแก้ว^{1*} และ อนุชา จันทราบูน¹

Bunjong Oupkaew^{1*} and Anucha Chantaraboon¹

Received: 13 July 2023; Revised: 24 August 2023; Accepted: 11 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความหลากหลายของมันพื้นเมือง สกุล *Dioscorea* spp. โดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในจังหวัดน่าน ในการยกระดับและพัฒนาศักยภาพเพิ่มมูลค่ารวมถึงการเป็นแหล่งอาหารทางเลือกสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ และนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวิจัยในระดับที่สูงขึ้นไป โดยทำการศึกษามันพื้นเมือง จำนวน 30 พันธุ์ ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน โดยศึกษาพันธุ์มันพื้นเมืองที่เหมาะสมในการผลิตมันพื้นเมืองที่หายากในเชิงปริมาณและคุณภาพ สำหรับเป็นแหล่งผลิตอาหารทดแทนสำหรับปลูกในพื้นที่จังหวัดน่าน ซึ่งเป็นมันพื้นเมืองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากการสำรวจมันพื้นเมืองในพื้นที่จังหวัดน่าน แล้วนำมาตรวจสอบระบุชนิดมันพื้นเมืองและชื่อวิทยาศาสตร์จากตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจพบ ด้วยการอ้างอิงงานวิจัยและตรวจสอบจากเอกสารทางอนุกรมวิธาน โดยการทดลองปลูกในแปลงทดสอบผลผลิตใช้แผนทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ 3 ซ้ำ 30 พันธุ์ ประกอบด้วย มันเจ้า มันข้าว มันเลือด มันชา มันเหือก มันหมี มันเหน็บ มันแขง มันจาวพร้าว มันอ่อน มันกล้า มันเลือดนก มันอ้อ มันปลา มันหวาย มันกลบ มันหูช้าง มันพร้าวยาว มันมือเสือ มันเหลี่ยม มันอ่อน มันกุ๋ มันเสา มันแปลง มันกองข้าว มันเห็บ มันกองขี้ มันหัวช้าง มันเหลือง และมันพร้าวญี่ปุ่น ผลการทดลองพบว่าพันธุ์มันพื้นเมืองทั้ง 30 พันธุ์ ให้ผลผลิตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมันกล้าและมันเลือดเป็นพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงที่สุดและผลผลิตมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับการปลูกในพื้นที่จังหวัดน่าน โดยให้ผลผลิต 6,638 และ 6,517 กิโลกรัมต่อไร่ และมีสหสัมพันธ์ทางบวกระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักหัวสดและน้ำหนักหัวแห้ง มีค่า 0.99 และ 0.97 ตามลำดับ ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตและเป็นข้อมูลหนุนเสริมการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายของมันพื้นเมืองเพื่อเป็นพืชอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, มันพื้นเมือง, จังหวัดน่าน

Abstract

This research aimed to Evaluating Diversity of Local Yams (*Dioscorea* spp.) in Nan Province using yields and nutritional value. To Enhance and develop the potential to add value to commercial production (e.g for use as an alternative food source), we studied local yams of 30 local yam varieties in Nan Province. The objective was to find the suitable local and rare varieties for use as substitute food sources and for planting in Nan Province. Local yams obtained were obtained by collection of samples from a survey of local yams in Nan province and all were identified to species and scientific names were applied. They were examined by using research and taxonomic documents as references and planted in test plots. A randomized experimental plan within three blocks was used with 30 replications

¹ สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน จังหวัดน่าน ประเทศไทย

¹ Department of Plant Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Nan, Nan, Thailand

* Corresponding author: landscape@rmutl.ac.th

in each. The local yam varieties were. - Jao, Khao, Luead, Sa, Yueak, Mee, Neb, Sang, Jaoprao, Aon, Klam, Luead nok, Ao, Pla, Wai, Klab, Hoo chang, Praoyao, Mue suae, Liam, On, Koo, Sao, Plang, Kong kao, Heb, Kong kee, Hau chang, Lueang and Prao poo. The results showed that all 30 local yams varieties had a statistically highly significant difference in yield ($P < 0.01$). Klam and Luead were the ones that had highest yields with good quality and suitable to be planting in Nan Province. Yields were 6,638 and 6,517 kg. per rai and there were positive correlations between yield and fresh weight of tuber and dried weight of tuber is 0.99 and 0.97, respectively. The results of this study can be applied to enhance production efficiency and serve as supporting data for utilizing the diversity of local yam as an alternative healthy food source.

Keywords: Growth performances, local yams, Nan province.

บทนำ

มันป่าหรือมันพื้นเมือง (yam) เป็นพืชตระกูลหัวที่มีความสำคัญและมีการกระจายพันธุ์ไปทั่วโลก มีหลายชนิดและหลายวงศ์ แต่ที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae สกุล Dioscorea spp. (Santisuk & Larsen, 2009) โดยมีชื่อสามัญเรียกแตกต่างกันไปจำเพาะตามท้องถิ่น เช่น มันนก มันพร้าว มันจาวมะพร้าว มันเสา มันขมิ้น มันเลือด มันมือเสือ เป็นต้น เป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากการนำส่วนสะสมอาหารที่อยู่ใต้ดิน ทั้งที่เป็นราก หัว และไหล มาบริโภค หรือแปรรูปเพื่อเป็นอาหารได้ทั้งอาหารคนและอาหารสัตว์ (โอรสรัชชาติ, 2548) ซึ่งหัวมันพื้นเมืองส่วนใหญ่จะมีคาร์โบไฮเดรตหรือพวกโพลีแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก (Anjali & Kathi, 1999) ปัจจุบันมันพื้นเมืองได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่รักสุขภาพมากขึ้น เพราะมีสารสำคัญหลายชนิดในมันพื้นเมืองที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ โดยมีสรรพคุณในการรักษาระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของสตรีวัยหมดประจำเดือน และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แอนโทไซยานิน และแคโรทีนอยด์ (รงรอง หอมหวาน และคณะ, 2560) จึงนำมันพื้นเมืองมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เพื่อบำบัดรักษาโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารและการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ ลดอาการคลื่นไส้อาเจียนในหญิงตั้งครรภ์ ใช้ในเวชภัณฑ์คุมกำเนิด และเป็นแหล่งอาหารเพื่อสุขภาพ (Anjali & Kathi, 1999) เช่น ในเนื้อมันเลือดสีม่วงจะมีสารแอนโทไซยานินสูงซึ่งช่วยต้านอนุมูลอิสระได้ดีและมีเส้นใยสูง เหมาะที่จะนำมาทำอาหารให้กับผู้ป่วยเบาหวาน (Lazze *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมันพื้นเมืองเริ่มหายาก เนื่องจากนิยมนาและขาดมาจากป่าตามธรรมชาติแต่ขาดการปลูกทดแทน ทำให้มันพื้นเมืองบางชนิดแทบจะสูญหายและเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (สิทธิโชค ศรีโซ, 2022) อีกทั้งอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม การปรับตัวทางนิเวศน์ ระยะเวลาในการปลูก จะส่งผลให้การเจริญ

เติบโตและการให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน (Tamiru *et al.*, 2008) และด้วยความหลากหลายของสายพันธุ์และแหล่งที่สำรวจพบตามธรรมชาติ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาการเจริญเติบโต ลักษณะจำเพาะของแต่ละสายพันธุ์ หรือการศึกษาทางเภสัชเวท และวินิจฉัยชนิดพืช เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับศึกษาและการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Wu *et al.*, 2005) ซึ่งการศึกษานุกรมวิธานที่ซับซ้อนและภัยคุกคามจากการปฏิบัติทางการเกษตรทำให้พืชสกุลนี้มีความสำคัญต่อการจัดการกับความหลากหลายทางพันธุกรรมของมันพื้นเมืองอย่างเหมาะสมและจัดการเชื้อพันธุกรรม (Ngo ngwe *et al.*, 2015) ดังนั้นการประเมินความหลากหลายของมันพื้นเมืองสกุล Dioscorea spp. โดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในจังหวัดน่าน จึงได้ดำเนินการเก็บรวบรวมพันธุ์มันพื้นเมืองในพื้นที่จังหวัดน่าน เพื่อการอนุรักษ์พันธุ์มันพื้นเมืองและนำมาศึกษาการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และคุณค่าทางโภชนาการเกี่ยวกับปริมาณแป้ง โปรตีน และเส้นใย ของพันธุ์มันพื้นเมืองเพื่อหาพันธุ์ที่มีศักยภาพการผลิตและคุณค่าทางโภชนาการสูงสำหรับเป็นข้อมูลในการเตรียมความพร้อมของอาหารในช่วงเวลาวิกฤตอาหาร และเพื่อเป็นพืชอาหารทางเลือกต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทดลองและการวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลอง ณ สถานที่ปฏิบัติการพืชสวน สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) ทำ 3 ซ้ำ ประกอบด้วยพันธุ์มันพื้นเมืองจำนวน 30 พันธุ์ (Table 1) โดยมีมันอ่อนซึ่งเป็นมันพื้นเมืองที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ (พันธุ์ควบคุม) ทำการทดลองในฤดูฝน ระหว่างเดือน พฤษภาคม – ธันวาคม 2565 มีขนาดแปลง 1x30 เมตร จำนวน 15 แปลง

ทดลอง แปลงยาว 30 เมตร โดยใช้ระยะปลูกแปลงย่อยขนาด 1x5 เมตร

Table 1 Local yam in *Dioscorea* spp. in Nan Province

No.	Common name	Scientific name
1	Jao	<i>Dioscorea hispida</i> Dennst.
2	Khao	<i>Dioscorea birmanica</i> Prain & Burkill
3	Luead	<i>Dioscorea alata</i> L.
4	Sa	<i>Dioscorea filiformis</i> Blume
5	Yueak	<i>Dioscorea depauperata</i> Prain & Burkill
6	Mee	<i>Dioscorea tamarisciflora</i> Prain & Burkill
7	Neb	<i>Dioscorea stemonoides</i> Prain & Burkill
8	Sang	<i>Dioscorea pseudotomentosa</i> Prain & Burkill
9	Jaoprao	<i>Dioscorea</i> spp.
10	Aon	<i>Dioscorea esculenta</i> (Lour.) Burkill
11	Klam	<i>Dioscorea oryzetorum</i> Prain & Burkill
12	Luead nok	<i>Dioscorea inopinata</i> Prain & Burkill
13	Ao	<i>Dioscorea paradoxa</i> Prain & Burkill
14	Pla	<i>Dioscorea cirrhosa</i> Lour.
15	Wai	<i>Dioscorea decipiens</i> Hook.f.
16	Klab	<i>Dioscorea inopinata</i> Prain & Burkill
17	Hoo chang	<i>Dioscorea nitens</i> Prain & Burkill
18	Praoyao	<i>Dioscorea glabra</i> Roxb.
19	Mue suaee	<i>Dioscorea esculenta</i> L.
20	Liam	<i>Dioscorea velutipes</i> Prain & Burkill
21	On	<i>Dioscorea daunea</i> Prain & Burkill
22	Koo	<i>Dioscorea pentaphylla</i> L.
23	Sao	<i>Dioscorea filiformis</i> Blume
24	Plang	<i>Dioscorea hamiltonii</i> Hook.f
25	Kong kao	<i>Dioscorea petelotii</i> Prain & Burkill
26	Heb	<i>Dioscorea gracilipes</i> Prain & Burkill
27	Kong kee	<i>Dioscorea plectranthus rotundifolius</i> Prain & Burkill
28	Hau chang	<i>Dioscorea rockii</i> Prain & Burkill
29	Lueang	<i>Dioscorea wallichii</i> Hook.f.
30	Prao poo	<i>Dioscorea laurifolia</i> Wall.

(Wilkin & Thapayai, 2009)

2. การปลูกและการดูแลรักษา

การปลูกมันพื้นเมืองโดยใช้ท่อนพันธุ์ที่เป็นส่วนหัวพันธุ์ขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างมันพื้นเมืองจากโครงการสำรวจเก็บรวบรวมพันธุกรรมมันพื้นเมืองในเขตภาคเหนือเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ที่ 1 (บรรจง อุปแก้ว และคณะ, 2564) โดยรวบรวมพันธุกรรมมันพื้นเมืองในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ระหว่างเดือน เมษายน - ธันวาคม 2564 จาก 14 อำเภอของจังหวัดน่าน และนำส่วนขยายพันธุ์ของมันพื้นเมืองชนิดต่าง ๆ ที่สำรวจพบไปเก็บรักษาไว้ที่ สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน และระบุชนิดมันพื้นเมืองจากตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจพบอ้างอิงงานวิจัยและตรวจสอบจากเอกสารทางอนุกรมวิธาน คือ (Wilkin & Thapayai, 2009) เมื่อมันพื้นเมืองอายุได้ 15 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ อายุได้ 60 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และอายุได้ 120 วันหลังปลูกใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ การป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชนั้น มีการป้องกันกำจัดโรครากเน่าโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาป้องกันหลุมก่อนปลูกในอัตรา 5 กรัมต่อหลุม สำหรับหนอนขนอนใบและหนอนเจาะเถา มันพื้นเมืองจะฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* อัตราส่วน 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกสองสัปดาห์และช่วงที่มีแมลงระบาด สำหรับโรคใบจุดและโรครากเน่าฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ไอโซเลท อัตรา 20-30 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกสองสัปดาห์และเมื่อพบการระบาดของโรค

3. การเก็บข้อมูล

1) ลักษณะทางการเกษตรและการเจริญเติบโตของลำต้น ได้แก่

1.1) ความยาวเถา วัดความยาวเถาเฉพาะต้นหลักของมันพื้นเมืองจากโคนต้นจนถึงปลายยอดเมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จจึ้นพันธุ์ละ 5 ต้น แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

1.2) ดัชนีพื้นที่ใบ วัดใบทั้งหมดของมันพื้นเมืองพันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำโดยการตัดออกจากแปลงมาวัด จากนั้นใช้เครื่องสแกนภาพและซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพและแอปพลิเคชันมือถือ (Leafscan, Petiole, Easy Leaf Area) จากนั้นพื้นที่ใบที่วัดสามารถแบ่งตามพื้นที่เพื่อให้ได้ LAI อีกทางหนึ่ง โดยใช้สูตร ดัชนีพื้นที่ใบ = พื้นที่ใบ / พื้นที่ปลูก แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

1.3) จำนวนกิ่งแขนง นับจำนวนกิ่งแขนงที่มีจำนวนข้อไม่น้อยกว่า 3 ข้อที่เกิดขึ้นทั้งต้นพันธุ์ละ 5 ต้น

ต่อซ้ำ เมื่อมันพื้นเมืองอายุ 90 วัน หลังจากปลูกแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2) ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่

2.1) น้ำหนักเกาสด นำส่วนเหนือดินพันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำ ตัดออกจากแปลงซึ่งน้ำหนักเกาสดแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2.2) น้ำหนักเกาแห้ง นำส่วนเหนือดินพันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำ ตัดออกจากแปลงอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักเกาแห้งแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2.3) น้ำหนักหัวสด ที่อายุเก็บเกี่ยวโดยนำส่วนใต้ดินพันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำ นำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด หัวที่สมบูรณ์ไม่ฝ่อหรือเน่าเสียและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรขึ้นไป นำมาชั่งน้ำหนักหัวสดแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2.4) น้ำหนักหัวแห้ง ที่อายุเก็บเกี่ยวโดยนำส่วนหัวใต้ดินจากข้อ 2.3 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้งแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2.5) จำนวนหัวต่อต้น นับหัวมันพื้นเมืองพันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำ นำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยโดยหัวมันพื้นเมืองที่สมบูรณ์ไม่ฝ่อหรือเน่าเสียและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 เซนติเมตรขึ้นไป แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

2.6) ผลผลิตหัวมันสดต่อไร่ เก็บเกี่ยวหัวสดที่อายุ 210 วัน หลังปลูกซึ่งน้ำหนักรวมของผลผลิตสดแล้วคำนวณผลผลิตต่อไร่

3) คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่

3.1) ปริมาณแป้ง ตามวิธี มอก. 274-2521 วิเคราะห์ปริมาณแป้ง ได้จาก 100 ลบด้วยผลรวมระหว่างปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย และปริมาณเถ้า

3.2) ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000) โดยชั่งเนื้อมันแห้ง 5 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติม Mixed catalyst: CuSO_4 0.1 กรัม, NaSO_4 2 กรัม และ $\text{conc.H}_2\text{SO}_4$ 25 กรัม ย่อยบน heating mantle โดยให้ความร้อนอ่อน ๆ จนกระทั่งหมดฟอง แล้วค่อยเพิ่มความร้อนอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส การคำนวณและการวิเคราะห์โปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4 \times F}{W_1}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างมันพื้นเมือง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

W_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างมันพื้นเมือง

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์

3.3) ปริมาณเส้นใย วิเคราะห์โดยวิธี AOAC (2000) การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยโดยวิธีการย่อยตัวอย่างมันพื้นเมืองด้วยสารละลายกรดและด่างภายใต้สภาวะที่กำหนด จากนั้นนำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบและเผา เพื่อหาส่วนที่หายไปหลังจากการเผา ซึ่งก็คือ ปริมาณเส้นใย

$$\text{ปริมาณเส้นใย} = \frac{(W_4 - W_3 - W_2) - (W_5 - W_3)}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

W_4 คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง กระดาษกรองและภากล้างการอบแห้ง (กรัม)

W_5 คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง และภากล้างการเผา (กรัม)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโตของมันพื้นเมืองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ตามวิธีของ Gomez and Gomez (1984) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ STAR 2.0.1 และกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ $P < 0.01$

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต

มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีน้ำหนักหัวสดอยู่ระหว่าง 3,813–8,297 กรัมต่อต้น (Table 2) และโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักหัวสด 5,690 กรัมต่อต้น โดยมีมันกล้า มันเลือด และมันจาวพร้าว เป็นพันธุ์ที่ให้น้ำหนักหัวสดสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้น้ำหนักหัวสด 8,297, 8,146 และ 7,765 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีน้ำหนักหัวสด 4,783 กรัมต่อต้น น้ำหนักหัวแห้ง พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีน้ำหนักหัวแห้งอยู่ระหว่าง 545–1,185 กรัมต่อต้น (Table 2) และโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักหัวแห้ง 799 กรัมต่อต้น โดย

มันกล้า มันเลือด และมันจาวพร้าว เป็นพันธุ์ที่ให้น้ำหนักหัวแห้งสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้น้ำหนักหัวแห้ง 1,185, 1,143 และ 1,109 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีน้ำหนักหัวแห้ง 683 กรัมต่อต้น จำนวนหัวต่อต้นพันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีจำนวนหัวต่อต้นอยู่ระหว่าง 2.0–9.0 หัวต่อต้น (Table 2) และโดยเฉลี่ยมีจำนวนหัวต่อต้น 3.6 หัวต่อต้น โดยพันธุ์มันอ่อนและมันอ่อนเป็นพันธุ์ที่มีจำนวนหัวต่อต้นสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์

อื่น ๆ โดยมีจำนวนหัวต่อต้น 9.0 และ 8.7 หัวต่อต้น ตามลำดับ ผลผลิตหัวต่อไร่ พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ ให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 3,051–6,638 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) และโดยเฉลี่ยให้ผลผลิต 4,598 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมันกล้าและมันเลือด เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัวต่อไร่สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้ผลผลิตหัวต่อไร่ 6,638 และ 6,517 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) ให้ผลผลิต 3,827 กิโลกรัมต่อไร่

Table 2 Yield characteristics and yield components content of 30 Local yam varieties grown in Nan province.

Local yam varieties	Fresh weight of tuber (g/plant)	Dried weight of tuber (g/plant)	heads/plant	Yield (kg/rai)
1. Jao	5,783 ^f	826 ^f	3.0 ^{de}	4,627 ^{fg}
2. Khao	7,428 ^b	929 ^{bcd}	3.0 ^{de}	5,977 ^{cd}
3. Luead	8,146 ^a	1,143 ^a	2.0 ^g	6,517 ^{ab}
4. Sa	5,526 ^{fg}	737 ^{gh}	4.0 ^c	4,421 ^{fgh}
5. Yueak	7,467 ^b	933 ^{bc}	3.0 ^{de}	6,020 ^{cd}
6. Mee	6,833 ^c	933 ^{bc}	3.0 ^{de}	5,787 ^d
7. Neb	5,193 ^{gh}	692 ^{hi}	4.0 ^c	4,154 ^{hi}
8. Sang	5,975 ^{def}	854 ^{cdef}	3.0 ^{de}	4,780 ^{ef}
9. Jaoprao	7,765 ^{ab}	1,109 ^a	2.0 ^g	6,212 ^{bc}
10. Aon	4,783 ^{hi}	683 ^{hi}	9.0 ^a	3,827 ^{ij}
11. Klam	8,297 ^a	1,185 ^a	2.3 ^g	6,638 ^a
12. Luead nok	4,087 ^{kl}	584 ^{kl}	3.3 ^d	3,269 ^{lm}
13. Ao	4,113 ^{kl}	588 ^{kl}	8.7 ^a	3,290 ^{lm}
14. Pla	5,910 ^{ef}	844 ^{ef}	4.0 ^c	4,728 ^{fg}
15. Wai	4,336 ^{ijkl}	619 ^{ijkl}	4.0 ^c	3,469 ^{kl}
16. Klab	6,733 ^c	962 ^b	3.0 ^{de}	5,815 ^{cd}
17. Hoo chang	5,730 ^{fg}	819 ^g	3.0 ^{de}	4,599 ^{fg}
18. Praoyao	6,500 ^{cd}	929 ^{bcd}	2.0 ^g	5,835 ^{cd}
19. Mue suae	5,932 ^{def}	847 ^{def}	2.0 ^g	4,650 ^{fg}
20. Liam	5,449 ^{fg}	778 ^g	3.0 ^{de}	4,359 ^{gh}
21. On	6,430 ^{cde}	918 ^{bcd}	8.0 ^b	5,144 ^e
22. Koo	3,813 ^l	545 ^l	4.0 ^c	3,051 ^m
23. Sao	5,467 ^{fg}	781 ^g	2.0 ^g	4,373 ^{fgh}
24. Plang	4,702 ^{hij}	672 ^{hij}	3.0 ^{de}	3,761 ^{ijk}
25. Kong kao	5,433 ^{fg}	776 ^g	3.0 ^{de}	4,347 ^{gh}
26. Heb	4,363 ^{ijkl}	623 ^{ijkl}	4.0 ^c	3,490 ^{kl}
27. Kong kee	4,330 ^{ijkl}	619 ^{ijkl}	3.0 ^{de}	3,464 ^{klm}
28. Hau chang	4,193 ^{kl}	599 ^{kl}	2.3 ^g	3,354 ^{klm}

Table 2 Yield characteristics and yield components content of 30 Local yam varieties grown in Nan province. (Cont.)

Local yam varieties	Fresh weight of tuber (g/plant)	Dried weight of tuber (g/plant)	heads/plant	Yield (kg/rai)
29. Lueang	5,594 ^g	799 ^g	4.0 ^c	4,475 ^{gh}
30. Prao poo	4,396 ^{jk}	628 ^{jk}	2.7 ^{ef}	3,517 ^{kl}
Mean	5,690	799	3.6	4,598
F-test	**	**	**	**
CV (%)	4.7	4.8	6.6	4.1

** = statistically significant difference ($P < 0.01$); Different letters labeled in the same column showed statistically significant differences ($P < 0.01$) using Duncan's New Multiple Range Test.

จากผลการทดลอง (Table 2-3) เมื่อพิจารณาผลผลิตของพันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ พบว่า ให้ผลผลิตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมันกล้าและมันเลือดเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ และเมื่อพิจารณาลักษณะผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตของผลผลิตมันพื้นเมือง คือ น้ำหนักหัวสดและน้ำหนักหัวแห้งตลอดจนลักษณะทางเกษตรอื่น ๆ พบว่า พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีลักษณะผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตและลักษณะทางเกษตรอื่น ๆ ที่ต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีความสามารถในการปรับตัวและให้ผลผลิตต่างกันเมื่อปลูกในพื้นที่จังหวัดน่าน และจากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตของพันธุ์มันพื้นเมืองจากการทดสอบ 30 พันธุ์ (Table 5) พบว่า ผลผลิตหัวมันสดต่อไร่มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนกิ่งแขนง ความยาวเถา น้ำหนักหัวสด และน้ำหนักหัวแห้งโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.39, 0.35, 0.99 และ 0.97 ตามลำดับ ($P < 0.01$) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ามันกล้าและมันเลือดให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ก็เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกระดับสูงระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักหัวสดต่อต้นและน้ำหนักหัวแห้งต่อต้นที่สูงและมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ เนื่องด้วยเป็นพันธุ์ที่มีขนาดของหัวมันสดที่ใหญ่ เนื้อแน่นละเอียด ไม่ฉ่ำน้ำ และเมื่อนำไปอบแห้งมีระเหยของน้ำในเนื้อที่น้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ และมีสหสัมพันธ์ของลักษณะองค์ประกอบผลผลิตที่สูงกว่าลักษณะจำนวนกิ่งแขนง และความยาวเถา ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีระดับความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตระดับปานกลาง (ละอองศรี ศิริเกสร และคณะ, 2561; รัชชัย คุรุบรรเจดจิต, 2558; รัชชัย คุรุบรรเจดจิต และคณะ, 2558; อำนวย อรรถรังรอง และคณะ, 2558; Darkwa *et al.*, 2019) และน้ำหนักหัวสดมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับ ดัชนีพื้นที่ใบ ความยาวเถา น้ำหนักเถาสด และน้ำหนักเถาแห้ง และจำนวนกิ่งแขนงต่อต้น โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.52, 0.36, 0.19, 0.23 และ 0.38 ตามลำดับ ($P < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าพันธุ์มันพื้นเมืองที่ให้ผลผลิตสูงจะเป็นพันธุ์ที่มีองค์

ประกอบของผลผลิตที่ดี คือ มีน้ำหนักหัวสดและน้ำหนักหัวแห้งสูง ดังนั้นการที่มันกล้าและมันเลือดให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ก็เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีองค์ประกอบของผลผลิตในเกณฑ์ที่ดีกว่านั่นเอง (Table 5-6) โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มันกล้าและมันเลือดมีน้ำหนักหัวสด และน้ำหนักหัวแห้งสูง คือ เป็นพันธุ์ที่มีดัชนีพื้นที่ใบ ความยาวเถา น้ำหนักเถาสด น้ำหนักเถาแห้งและจำนวนกิ่งแขนงต่อต้นมากนั่นเอง ซึ่งมันกล้าและมันเลือดมีน้ำหนักหัวสด 8,297 และ 8,146 กรัมต่อต้น มีน้ำหนักหัวแห้ง 1,185 และ 1,143 กรัมต่อต้น มีดัชนีพื้นที่ใบ 2.2 และ 2.2 ตารางเซนติเมตร มีความยาวเถา 432 และ 456 เซนติเมตร มีน้ำหนักเถาสด 3,557 และ 3,437 กรัมต่อต้น มีน้ำหนักเถาแห้ง 762 และ 726 กรัมต่อต้น และมีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้น 2 และ 4 กิ่ง ต่อต้น ตามลำดับ (Table 2-3) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tamiru *et al.* (2008) ที่พบว่าความหลากหลายของสายพันธุ์มันพื้นถิ่นที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะการปรับตัวของสายพันธุ์ร่วมกับสิ่งแวดล้อมลักษณะทนแล้ง ระยะเวลาในการเจริญเติบโตเร็ว องค์ประกอบของผลผลิต คุณภาพผลผลิตที่ดี คุณค่าทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์ เป็นเกณฑ์การคัดเลือกสายพันธุ์มันพื้นถิ่นที่สำคัญที่สุด และมันพื้นเมืองสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. มีลักษณะดีหลายประการ รวมถึงการต้านทานโรคแอนแทรกคโนส ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์อาจมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มความต้านทานต่อโรค และความทนทานต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตในมันพื้นเมือง จากการศึกษารูปแบบการเจริญเติบโต แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพันธุกรรมของมันพื้นเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมพันธุ์แบบธรรมดาใน *Dioscorea alata* L. สามารถนำไปใช้ในมันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* spp. ในการพัฒนาสายพันธุ์สู่เกษตรกร (Darkwa *et al.*, 2019) ดังนั้นผลจากการทดลองจึงชี้ให้เห็นว่า พันธุ์มันพื้นเมืองที่ให้ผลผลิตสูงและผลผลิตมีคุณภาพดี คือ มันกล้าและมันเลือด

2. ลักษณะทางการเกษตรและการเจริญเติบโตของลำต้น

มันพื้นเมือง 30 พันธุ์มีน้ำหนักเกาสตอยู่ระหว่าง 422-3,561 กรัมต่อต้น (Table 3) และโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักเกาสต 2,345 กรัมต่อต้น โดยมันเหน็บ มันกล้า และมันเลือด เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักเกาสตสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีน้ำหนักเกาสต 3,561, 3,557 และ 3,437 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์อื่น ๆ มีน้ำหนักเกาสตแตกต่างจากพันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีน้ำหนักเกาสต 525 กรัมต่อต้น น้ำหนักเกาสตแห้ง พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีน้ำหนักเกาสตแห้งอยู่ระหว่าง 133-762 กรัมต่อต้น (Table 3) และโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักเกาสตแห้ง 492 กรัมต่อต้น โดยมันกล้าและมันเลือด เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักเกาสตแห้งสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีน้ำหนักเกาสตแห้ง 762 และ 726 กรัมต่อต้น ในขณะที่พันธุ์อื่น ๆ มีน้ำหนักเกาสตแห้งแตกต่างจากพันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีน้ำหนักเกาสตแห้ง 357 กรัมต่อต้น ดัชนีพื้นที่ใบ พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีดัชนีพื้นที่ใบอยู่ระหว่าง 1.1-2.3 ตารางเซนติเมตร (Table 3) โดยเฉลี่ยมีดัชนีพื้นที่ใบ 1.6 ตารางเซนติเมตร โดยมันมือเสือ มันกล้า มันเลือด และมันข้าว เป็นพันธุ์ที่มีดัชนีพื้นที่ใบมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีดัชนีพื้นที่ใบ 2.3, 2.2, 2.2 และ 2.2 ตารางเซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์อื่น ๆ มีดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างจากพันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีดัชนีพื้นที่ใบ 1.3 ตารางเซนติเมตร ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Darkwa

et al., (2019) ที่พบว่าศักยภาพของผลผลิตและลักษณะพืชอื่น ๆ จะมีสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตหัวที่สูงกับการเจริญเติบโตของลำต้น เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ รูปร่างใบ ความหนาแน่นของปากใบ ความกว้างของพืช ความยาวเถาที่มีระดับความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต และการชะลอการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ข้ามปีสำหรับสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. จะทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสดที่มากขึ้นกว่าการเก็บเกี่ยวในฤดูเดียว (Tamiru *et al.*, 2008) ความยาวเถา พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีความยาวเถาอยู่ระหว่าง 120-480 เซนติเมตรต่อต้น (Table 3) และโดยเฉลี่ยมีความยาวเถา 344 เซนติเมตรต่อต้น โดยมันเลือดนก มันเลือด มันมือเสือ มันเจ้า มันข้าว มันชา มันแขง มันพร้าวยาว และมันพร้าวญี่ปุ่น เป็นพันธุ์ที่มีความยาวเถามากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีความยาวเถา 480, 459, 456, 447, 445, 445, 435, 433 และ 431 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์อื่น ๆ มีความยาวเถาแตกต่างจากพันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีความยาวเถา 239 เซนติเมตร จำนวนกิ่งแขนงต่อต้น พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้นอยู่ระหว่าง 1-4 กิ่งต่อต้น (Table 3) และโดยเฉลี่ยมีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้น 3 กิ่งต่อต้น โดยมันเลือด มันเหยือก มันหมี มันจาวพร้าว และมันเลือดนก เป็นพันธุ์ที่มีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้นสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้น 4 กิ่งต่อต้น ในขณะที่พันธุ์อื่น ๆ มีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้นแตกต่างจากพันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควบคุม) มีจำนวนกิ่งแขนงต่อต้น 2 กิ่งต่อต้น

Table 3 Agricultural characteristics of the 30 Local yam varieties grown in Nan province.

Local yam varieties	vine fresh weight (g/plant)	vine dry weight (g/plant)	leaf area index (sq.cm.)	Vine length (cm/plant)	number of branching/plant (branches)
1. Jao	1,930 ^k	391 ^{mn}	1.2 ^{jk}	44 ^{5a} b	2 ^c
2. Khao	2,982 ^e	441 ^{kl}	2.2 ^a	44 ^{7a} b	3 ^b
3. Luead	3,437 ^a	726 ^{ab}	2.2 ^a	456 ^{ab}	4 ^a
4. Sa	2,763 ^{gh}	551 ^{gh}	2.0 ^c	44 ^{5a} b	3 ^b
5. Yueak	3,193 ^d	657 ^c	2.1 ^b	415 ^b	4 ^a
6. Mee	2,962 ^{ef}	578 ^{ef}	1.7 ^{de}	350 ^c	4 ^a
7. Neb	3,561 ^a	716 ^b	1.1 ^l	419 ^b	3 ^b
8. Sang	422 ^p	268 ^p	1.8 ^d	43 ^{5a} b	2 ^c
9. Jaoproao	3,383 ^{bc}	660 ^c	1.2 ^{jk}	416 ^b	4 ^a
10. Aon	525 ^{op}	357 ^{no}	1.3 ^{ghij}	23 ^{9d}	2 ^c
11. Klam	3,557 ^a	762 ^a	2.2 ^a	43 ^{2a} b	2 ^c
12. Luead nok	1,072 ⁿ	188 ^q	1.2 ^{jk}	480 ^a	4 ^a
13. Ao	1,628 ^l	387 ^{mn}	1.2 ^{jk}	154 ^e	2 ^c

Table 3 Agricultural characteristics of the 30 Local yam varieties grown in Nan province. (Cont.)

Local yam varieties	vine fresh weight (g/plant)	vine dry weight (g/plant)	leaf area index (sq.cm.)	Vine length (cm/plant)	number of branching/plant (branches)
14. Pla	676 ^o	146 ^r	1.3 ^{ghi}	156 ^e	2 ^c
15. Wai	2,637 ^{hi}	482 ^{ij}	1.2 ^{kl}	360 ^c	2 ^c
16. Klab	1,349 ^m	376 ^{mn}	1.2 ^c	239 ^d	2 ^c
17. Hoo chang	1,682 ^l	467 ^{jk}	1.4 ^f	269 ^d	2 ^c
18. Praoyao	2,479 ^{ij}	519 ^{hi}	1.3 ^{ghij}	43 ^{3ab}	3 ^b
19. Mue suaee	1,100 ⁿ	133 ^r	2.3 ^a	45 ^{9ab}	3 ^b
20. Liam	2,466 ^j	414 ^{lm}	1.8 ^d	347 ^c	1 ^d
21. On	2,945 ^{ef}	517 ^{hi}	1.6 ^e	254 ^d	2 ^c
22. Koo	2,683 ^h	571 ^{fg}	1.3 ^{fg}	12 ^{0e}	2 ^c
23. Sao	2,669 ^h	538 ^{gh}	1.3 ^{ghi}	275 ^d	3 ^b
24. Plang	3,222 ^{cd}	672 ^c	1.3 ^{gh}	270 ^d	3 ^b
25. Kong kao	1,870 ^k	374 ⁿ	1.4 ^f	277 ^d	3 ^b
26. Heb	3,387 ^{bc}	719 ^b	1.2 ^{kl}	355 ^c	2 ^c
27. Kong kee	2,804 ^{gh}	572 ^{fg}	2.0 ^c	337 ^c	2 ^c
28. Hau chang	2,862 ^{efg}	617 ^{de}	2.0 ^c	356 ^c	2 ^c
29. Lueang	1,233 ^{mn}	328 ^o	1.2 ^{hijk}	238 ^d	1 ^d
30. Prao poo	2,863 ^{efg}	640 ^{cd}	1.1 ^{kl}	43 ^{1ab}	2 ^c
Mean	2,345	492	1.6	344	3
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	3.3	3.6	3.2	7.1	4.2

** = statistically significant difference ($P < 0.01$); Different letters labeled in the same column showed statistically significant differences ($P < 0.01$) using Duncan's New Multiple Range Test

ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ละอองศรี ศิริเกษร และคณะ (2561); อำนวย อรรถรังรอง และคณะ (2558); Darkwa *et al.* (2019) ที่พบว่าน้ำหนักผลผลิต หัวต่อไร่ที่สูงสหมสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนักเถาสด น้ำหนักเถาแห้ง และความยาวเถา ดังนั้นมันกล้าและมันเลือดที่มีลักษณะทางการเกษตรและการเจริญเติบโตของลำต้นที่ดีจึงเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงนั่นเอง

3. ลักษณะคุณภาพของหัวมันพื้นเมือง

ลักษณะคุณภาพภายในของหัวมันพื้นเมืองที่มีคุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามันพื้นเมือง 30 พันธุ์มีปริมาณแป้ง ปริมาณโปรตีน และปริมาณเส้นใย ที่แตกต่างกันซึ่งพันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีปริมาณแป้งอยู่ระหว่าง 47.0-69.4 กรัมต่อ 100 กรัม (Table 4) และโดยเฉลี่ยมีปริมาณแป้ง 60.5 กรัมต่อ 100 กรัม โดยมันหวาย มันมือเสือ และมันกองขี้ เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณแป้ง

69.4, 69.0 และ 68.9 กรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่พันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควม) มีปริมาณแป้ง 60.5 กรัมต่อ 100 กรัม ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tamiru *et al.* (2008) ที่ศึกษาความหลากหลาย การกระจาย และการจัดการพันธุ์มันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* spp. จากเอธิโอเปียตอนใต้ พบว่าปริมาณแป้งอยู่ระหว่าง 65.2-76.6 กรัมต่อ 100 กรัม และสอดคล้องกับ Wu *et al.* (2016) ที่พบว่าปริมาณแป้งในพันธุ์มันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* spp. จำนวน 25 ชนิด โดยมีปริมาณแป้งอยู่ระหว่าง 60.7 - 80.6 กรัมต่อ 100 กรัม และมีค่าเฉลี่ย 69.5 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งปริมาณแป้งที่พบในสายพันธุ์ *Dioscorea opposita*., *Dioscorea fordii* Prain & Burkill., *Dioscorea alata* L. และ *Dioscorea persimilis* Prain & Burkill. จะมีปริมาณแป้งที่สูงขึ้น ปริมาณโปรตีน พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 3.4-11.9 กรัม ต่อ 100 กรัม (Table 4) และโดยเฉลี่ยมีปริมาณโปรตีน 9.6 กรัม

ต่อ 100 กรัม โดยมันแกบ มันหมี มันเลือด มันจาวพร้าว มันเหน็บ มันอ่อน มันแปลง มันหัวช้าง มันชา และมันข้าว เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณโปรตีน 11.9, 11.8, 11.7, 11.6, 11.6, 11.6, 11.4, 11.4 และ 11.3 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่มันพื้นเมืองพันธุ์อื่น ๆ นั้นมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tamiru *et al.* (2008) ที่พบว่ามันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* spp. มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 6.4 -13.4 กรัม ต่อ 100 กรัม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2016) ที่รายงานเช่นเดียวกันว่าปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 6.3-12.2 กรัม ต่อ 100 กรัม ในสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. ในการศึกษาลักษณะความหลากหลายทางโภชนาการ และองค์ประกอบทางชีวภาพของเชื้อพันธุ์มันพื้นเมือง *Dioscorea* spp. ปลูกในประเทศจีน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ รงรอง หอมหวาน (2560); สมนึก พรหมแดง และคณะ (2561) ที่พบว่า เมื่อนำมันเลือดมาวิเคราะห์คุณลักษณะโภชนาการ ในตัวอย่างมันเลือด 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสาร

สีม่วงภายในหัวต่างกัน พบปริมาณโปรตีนระหว่าง 8.1 -11.4 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมันเลือดถือเป็นตัวแทนของมันพื้นเมืองที่มีประโยชน์มากชนิดหนึ่ง ปริมาณเส้นใย พันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ มีปริมาณเส้นใยอยู่ระหว่าง 1.3-4.6 กรัม ต่อ 100 กรัม (Table 4) และโดยเฉลี่ยมีปริมาณเส้นใย 3.5 กรัม ต่อ 100 กรัม โดยมันพร้าวยาว, มันอ่อน, มันจาวพร้าว, มันอ่อน, มันเลือด และมันกล้า เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณเส้นใยสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณเส้นใย 4.6, 4.6, 4.5, 4.5 และ 4.4 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์มันอ่อน (พันธุ์ควมคุม) มีปริมาณเส้นใย 3.8 กรัม ต่อ 100 กรัม จากการวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการในหัวมันพื้นเมืองจะแตกต่างกันไปตามลักษณะพันธุ์ดังปรากฏในผลการทดลองนี้และได้มีรายงานอิทธิพลของพันธุ์ที่มีผลต่อปริมาณแป้ง โปรตีน และเส้นใย ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ละอองศรี ศิริเกสร และคณะ (2561); รัชชัย คุรุบรรเจตจิต (2558); รัชชัย คุรุบรรเจตจิต และคณะ (2558); Tamiru *et al.* (2008), Wu *et al.* (2005)

Table 4 Nutritive value starch, protein and fiber content of 30 local yam varieties grown in Nan province.

Local yam varieties	starch content (%)	protein content (%)	fiber content (%)
1. Jao	67.2 ^b	9.6 ^g	3.1 ^g
2. Khao	51.6 ^o	11.3 ^{bc}	2.2 ^k
3. Luead	58.4 ⁱ	11.7 ^{ab}	4.5 ^a
4. Sa	66.4 ^c	11.3 ^{bc}	2.2 ^k
5. Yueak	52.3 ⁿ	8.29 ^k	2.1 ^k
6. Mee	47.0 ^q	11.6 ^{ab}	3.8 ^d
7. Neb	63.1 ^f	11.6 ^{ab}	3.5 ^f
8. Sang	57.1 ^{kl}	6.8 ^l	2.8 ^h
9. Jaoprao	57.0 ^{kl}	11.6 ^{ab}	4.5 ^a
10. Aon	60.5 ^h	11.6 ^{ab}	3.8 ^d
11. Klam	59.8 ⁱ	7.7 ^l	4.4 ^{ab}
12. Luead nok	66.4 ^c	9.2 ^h	2.7 ^{hi}
13. Ao	64.4 ^e	8.5 ^k	4.6 ^a
14. Pla	60.5 ^h	8. 8 ^{ij}	3.9 ^d
15. Wai	69.4 ^a	10.3 ^e	1.3 ^k
16. Klab	59.5 ⁱ	11.9 ^a	3.8 ^d
17. Hoo chang	64.2 ^e	8.9 ^{hi}	2.5 ^{ij}
18. Praoyao	65.4 ^d	8.8 ^{ij}	4.6 ^a
19. Mue suae	69.0 ^a	7.9 ^l	2.8 ^h
20. Liam	66.6 ^c	10.8 ^c	2.7 ^{hi}
21. On	57.5 ^k	7.9 ^l	4.5 ^a

Local yam varieties	starch content (%)	protein content (%)	fiber content (%)
22. Koo	48.3 ^p	10.1 ^{ef}	3.6 ^{de}
23. Sao	64.5 ^e	7.9 ^l	4.2 ^{bc}
24. Plang	56.7 ^l	11.4 ^{abc}	4.2 ^c
25. Kong kao	51.9 ^{no}	9.7 ^j	4.1 ^c
26. Heb	55.8 ^m	9.9 ^g	4.1 ^{bc}
27. Kong kee	68.9 ^a	3.4 ^o	2.7 ^l
28. Hau chang	62.8 ^g	11.4 ^{abc}	2.7 ^{hi}
29. Lueang	62.5 ^g	10.4 ^d	4.2 ^c
30. Prao poo	60.4 ^h	6.3 ⁿ	4.2 ^{bc}
Mean	60.5	9.6	3.5
F-test	**	**	**
CV (%)	3.4	4.8	2.7

** = statistically significant difference ($P < 0.01$); Different letters labeled in the same column showed statistically significant differences ($P < 0.01$) using Duncan's New Multiple Range Test.

ที่พบว่า อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม และความแตกต่างของสายพันธุ์ จะมีผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตและปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะในสายพันธุ์ *Dioscorea opposita*. และ *Dioscorea alata* L. (Wu, *et al.*, 2016) นอกจากการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์จากลักษณะปริมาณคุณค่าทางโภชนาการภายในหัวมันพื้นเมืองแล้ว ยังขึ้นกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก และปฏิกริยาร่วมระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมด้วย (พิชัย สุรพรไพบูลย์, 2544)

Table 5 Correlation between yield and composition of yield of homegrown casava varieties from 30 cultivars tested.

character-istics	number of branching /plant	vine length	fresh head weight	dried head weight
yield	0.39**	0.34**	0.99**	0.97**

Remark ** = There was a statistically significant correlation ($P < 0.01$)

Table 6 Correlation between leaf area index, vine length, vine fresh weight, vine dry weight, number of branches per plant of local yam varieties from the cultivar test in Nan province.

characteristics	fresh head weight
leaf area index	0.52**
vine length	0.36**
vine fresh weight	0.19**
vine dry weight	0.23**
number of branches per plant	0.38**

Remark ** = There was a statistically significant correlation ($P < 0.01$)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการประเมินความหลากหลายของมันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* spp. โดยใช้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในจังหวัดน่าน พบว่าพันธุ์มันพื้นเมือง 30 พันธุ์ ให้ผลผลิตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์มันพื้นเมืองมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ในทุกลักษณะที่ได้ศึกษาโดยมันกล้าและมันเลื้อยเป็นพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีปริมาณโปรตีนและปริมาณเส้นใยสูงที่สุด แสดงถึงความเหมาะสมเป็นแหล่งโปรตีนและกรดอะมิโนซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของแหล่งโปรตีนจากพืช และจากการวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต น้ำหนักหัวสดและน้ำหนักหัวแห้งสูงที่สุด

โดยมีสหสัมพันธ์ทางบวกระดับสูงกับผลผลิตต่อไร่ โดยลักษณะทางการเกษตรและการเจริญเติบโตของลำต้นมันกล้าและมันเลื้อยมีความยาวเถา น้ำหนักเถาสด และน้ำหนักเถาแห้งมาก อีกทั้งเป็นพันธุ์ที่มีจำนวนกิ่งแขนงและดัชนีพื้นที่ใบที่สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ รวมถึงปฏิกริยาร่วมระหว่างพันธุ์กับสิ่งแวดล้อมที่ดีจึงส่งผลต่อผลผลิตที่สูง มันกล้าและมันเลื้อยจึงเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับกับสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นได้ดี มีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเชิงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดน่านและพื้นที่ใกล้เคียง การต่อยอดการวิจัยสามารถนำลักษณะน้ำหนักหัวสดและน้ำหนักหัวแห้ง เป็นลักษณะใช้ในการเลือกพันธุ์มันพื้นเมืองเพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากลักษณะทั้งสองมีค่าสหสัมพันธ์กับผลผลิตสูง และการวิจัยพิสูจน์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างการจัดลำดับจีโนมและตรวจสอบสารสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้ได้พันธุ์กรรมที่เหมาะสมและพันธุ์กรรมประชากรที่แม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมันพื้นเมืองเป็นอาหารทางเลือก ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ด้วยสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างมากปัญหาการขาดแคลนน้ำมีมากขึ้น พืชสกุล *Dioscorea* spp. เป็นแหล่งอาหารที่ใช้หน้อยกว่าการปลูกข้าวมาก ดังนั้นจึงควรประชาสัมพันธ์ เผยแพร่แก่เกษตรกร เพื่อเป็นพืชอาหารอีกชนิดหนึ่งสำหรับเป็นทางเลือกกรณีพืชอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้ทุนวิจัย และขอขอบคุณ สถานีปฏิบัติการพืชสวน สาขาพืชศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- บรรจง อุปแก้ว, พิกุล สุพรไพบูลย์, อภิรยา เทพสุคนธ์, สุชาทิพย์ ไชยวงศ์, นลัทพร คูหา และสุภัควดี พิมพ์มาศ. (2564). *สำรวจเก็บรวบรวมพันธุ์กรรมมันพื้นเมืองในเขตภาคเหนือเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ ปีที่ 1*. รายงานโครงการวิจัย ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- พิชัย สุพรไพบูลย์. (2544). *เอกสารประกอบการสอนวิชาหลัก การปรับปรุงพันธุ์พืช*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลน่าน.
- รัชชัย คุรุบรรเจตจิต. (2558). *การทดสอบพันธุ์มันเทศประกอบ การรับรองพันธุ์*. รายงานโครงการวิจัย กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2558.
- รัชชัย คุรุบรรเจตจิต, ณรงค์ แดงเปี่ยม, กำพล เมืองโคมพัล, เพ็ญจันทร์ สุชานุกูล, ทศนัย เพิ่มสัจย์ และ พรรณผกา รัตนโกศล. (2558). *การปรับปรุงพันธุ์มันเทศเพื่อ การบริโภคสด*. กรมวิชาการเกษตร.
- รงรอง หอมหวล, มณฑา วงศ์มณีโรจน์, สุลักษณ์ แจ่มจำรัส, สมนึก พรหมแดง, วุฒิชัย ทองดอนแอ, ประเทือง ดอนสมไพโร, รัตนา เอกรัมย์ และสนธิชัย จันทร์เปรม. (2560). *การขยายพันธุ์มันพื้นบ้านสกุล Dioscorea เพื่อเป็นแหล่งอาหารทดแทน*. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 6(1), 127-137.
- รงรอง หอมหวล. (2560). *มันเลื้อย มันพื้นบ้าน มากประโยชน์*. *เกษตรกรรม*, 3(18), 36-38.
- ละอองศรี ศิริเกสร, สุชาดา บุญเลิศนรินทร์ และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2561). *การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันเทศ 6 พันธุ์*. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏศรีวิชัย*, 10(3), 411-423.
- สิทธิโชค ศรีโซ. (2022). *Local yam*. <https://www.greenery.org/g101-thai-dioscorea/>.
- สมนึก พรหมแดง, รงรอง หอมหวล, มณฑา วงศ์มณีโรจน์, รัตนา เอกรัมย์ และสุลักษณ์ แจ่มจำรัส. (2561). *สารสำคัญทางโภชนาการของมันเลื้อย*. *วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์*, 1(1), 19-27.
- ไอรส รักษาติ. (2548). *สมบัติเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ชจากพืชหัวในสกุล Dioscorea*. บางชนิดที่พบในประเทศไทย [ปริญาวิทยาสตรดุษฎีบัณฑิต, เทคโนโลยีชีวภาพ]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำนาจ อรรถรังรอง, สุภาวดี สมภาค, ดรุณี สมณะ และ ทิพย์ดรุณี สิทธินาม. (2558). *การเปรียบเทียบพันธุ์ มันเทศลูกผสมเนื้อสีส้ม (ชุดที่ 2)*. รายงานโครงการวิจัย กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2558.
- Anjali, K & Kathi, J. (1999). Wild Yam (*Dioscoreaceae*). *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 3(4), 77-91
- AOAC. (2000). *Official method of analysis*. The Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Darkwa, K., Olanmi, B., Asiedu, R. & Asfaw, A. (2019). Review of empirical and emerging breeding methods and tools for yam (*Dioscorea* spp.) improvement: Status and prospects. *Journal Plant Breeding*, 139 (2), 474-497.

- Gomez, K.A. & A.A. Gomez. (1984). *Statistical procedures for agricultural research*. John Wiley and Sons.
- Lazze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A. & Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human celllines. *Journal Carcinogenesis*, 25 (8), 1427-1433.
- Ngo ngwe, M. F. S., Omokolo, N. D. & Joly, S. (2015). *Evolution and phylogenetic diversity of yam species (Dioscorea spp.): implication for conservation and agricultural practices*. PLoS ONE, 10(12), e0145364.
- Tamiru, M., Becker, C. H. & Maass, L. B. (2008). Diversity, distribution and management of yam landraces (*Dioscorea* spp.) in Southern Ethiopia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(10), 1675-1685.
- Santisuk, T. & K. Larsen. (2009). *Flora of Thailand*. The Forest Herbarium, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department.
- Wilkin, P. & Thapyai, C. (2009). *Dioscoreaceae*. In Santisuk T. & Larsen K., eds. *Flora of Thailand*. Prachachon.
- Wu, W. H., Chung, C. J., Liu, L. Y., Jou, H. J. & Wang, T. A. (2005). Estrogenic effect of yam ingestion in healthy postmenopausal women. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(4), 235-243.
- Wu, G. Z., Chung, W, Nitin, M., Bao, Q. Z., Chen, L. S., & Tao, M. Z. (2016). Characterizing diversity based on nutritional and bioactive compositions of yam germplasm (*Dioscorea* spp.) commonly cultivated in China. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24 (2), 367-375.

ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

Species diversity of butterflies (Lepidoptera) in Khon Kaen University grounds

ทศพล ไชยอนันต์พร¹, สิริกมล พลายงาม², นภาพิพย์ พรรณงาม³ และ นิสารัตน์ ตั้งไฟโรจน์วงศ์^{3*}

Thotsapol Chaianunporn¹, Sirikamon Phlai-ngam², Napathip Phan-ngam³ and Nisarat Tungpairojwong^{3*}

Received: 23 May 2023; Revised: 31 July 2023; Accepted: 30 August 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ทำการสำรวจความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่นด้วยการใช้สวิงโฉบแมลง โดยวิธีการวางแปลน (Quadrat method) และวางแนวแถบสำรวจ (Strip transect) โดยทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 ในพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยขอนแก่น 3 สถานี ได้แก่ (1) สถานีพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยา (2) สถานีสวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์ และ (3) สถานีโรงไฟฟ้า ผลการศึกษาพบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 1,118 ตัว จัดจำแนกเป็น 5 วงศ์ 39 สกุล 57 ชนิด ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู (Family Nymphalidae) (23 ชนิด) รองลงมาคือ วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Family Pieridae) (12 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Family Lycaenidae) (10 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Family Papilionidae) (10 ชนิด) และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Family Hesperidae) (2 ชนิด) ตามลำดับ ผลการศึกษาจำนวนชนิดในแต่ละสถานี ดัชนีความหลากหลาย (Shannon-Wiener diversity index; H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index; E) พบว่า สถานีสวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์พบผีเสื้อกลางวันมากที่สุดคือ 47 ชนิด (H'=3.24, E=0.84) รองลงมาคือ สถานีโรงไฟฟ้าพบผีเสื้อกลางวัน 45 ชนิด (H'=3.17, E= 0.83) และ สถานีพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยาพบผีเสื้อกลางวัน 28 ชนิด (H'= 2.64, E= 0.79) ตามลำดับ ผลการศึกษาดัชนีความคล้ายคลึงกัน (Sorensen similarity index) พบว่า สถานีสวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์และโรงไฟฟ้ามีดัชนีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดคือ 0.80 จากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation coefficient - rho) พบว่าความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ (rho=0.450, S=4271.2, p-value=0.006) และอุณหภูมิอากาศ (rho=0.427, S=4454.6, p-value=0.009) และทำการศึกษาพีชบริเวณสถานีเก็บตัวอย่าง พบพืช 98 ชนิด สถานีสวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์พบจำนวนชนิดพืชมากที่สุด (81 ชนิด) สถานีโรงไฟฟ้า (75 ชนิด) และสถานีพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยา (71 ชนิด) จากการศึกษาสหสัมพันธ์พบว่า จำนวนชนิดพืชในพื้นที่ไม่มีความสัมพันธ์กับความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน (rho=0.065, S=7268.5, p-value=0.708)

คำสำคัญ: ผีเสื้อกลางวัน, ความหลากหลายทางชีวภาพ, มหาวิทยาลัย

Abstract

The diversity of butterflies (Lepidoptera) in Khon Kaen University grounds was investigated by using an insect sweep net. The butterflies were collected using a quadrat method and strip transect method between January to April 2021 from three sampling sites. - (1) Natural History Museum, (2) Romklao Kallapruek Park and (3) Power Plant. A total of 1,087 individuals were collected and classified into five families, 39 genera and 57 species, comprising, family Nymphalidae (23 species), family Pieridae (12 species), family Lycaenidae (10 species), family Papilionidae (10 species) and family Hesperidae (2 species), respectively. Romklao Kallapruek Park had highest number of

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

² ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

³ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, 40002

² Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi Province, 20131

³ Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, 40002

* Corresponding author; Nisarat Tungpairojwong, Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, 40002, Thailand. knisar@kku.ac.th

butterfly species (47 species, Shannon-Wiener diversity index (H') = 3.24, evenness index (E) = 0.84) followed by Power Plant (45 species, H' = 3.17, E = 0.83) and Natural History Museum (28 species, H' = 2.64, E = 0.79). The Sorensen similarity index was highest between Romklao Kallapruek Park and Khon Kaen University Power Plant (0.80). Relative humidity and air temperature correlated with butterfly species number (Spearman's rank correlation coefficient: $\rho=0.450$, $S=4271.2$, $p\text{-value}=0.006$ and $\rho=0.427$, $S=4454.6$, $p\text{-value}=0.009$ respectively at 0.05 significantly level). In total 98 plant species were found in all study sites where the highest number of plant species was in Romklao Kallapruek Park (81 species), followed by Power Plant (75 species) and Natural History Museum (71 species), respectively. The number of plant species was not related to the number of butterfly species ($\rho=0.065$, $S=7268.5$, $p\text{-value}=0.708$).

Keywords: Butterflies, biodiversity, university

บทนำ

ผีเสื้อกลางวันมีประโยชน์อย่างมากต่อระบบนิเวศ เนื่องจากเป็นแมลงช่วยผสมเกสรดอกไม้ให้กับพืช ให้พืชเข้าสู่กระบวนการปฏิสนธิ (Fertilization) เพื่อให้พืชชนิดนั้นมีการสืบพันธุ์เพิ่มการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมของพืชและกระจายพันธุ์ต่อไป และพืชก็เป็นแหล่งอาหารให้กับผีเสื้อในระยะที่เป็นตัวหนอนและตัวเต็มวัยในระยะหนอนผีเสื้อแต่ละชนิดจะกินใบพืชอย่างมีความจำเพาะเจาะจงส่วนตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำหวานจากพืชดอกได้หลายชนิดรวมถึงพวกซากเน่าเปื่อยต่าง ๆ ผลไม้สุกงอม แร่ธาตุในดิน รวมทั้งปัสสาวะของมนุษย์ (เกรียงไกร สุวรรณภักดิ์, 2556) จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในปี พ.ศ. 2537 - 2543 มีรายงานการพบผีเสื้อทั้งหมดทั้งหมด 5 วงศ์ 63 สกุล 123 ชนิด (ชุตินันท์ ชูสาย และคณะ, 2543, เขตไทย ภูผาสุก, 2537)

ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าการพัฒนาสภาพแวดล้อมในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น เช่น การสร้างถนน การก่อสร้างอาคารต่าง ๆ รวมถึงการก่อสร้างสิ่งก่อสร้างที่มากขึ้นในปัจจุบัน อาจส่งผลให้พื้นที่ป่าในมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีสัดส่วนที่ลดลง รวมทั้งแหล่งอาหารของผีเสื้อย่อมลดลงอย่างมาก เช่นกัน และมีผลต่อสภาวะแวดล้อมอื่นๆ เช่น ปัจจัยทางภูมิอากาศ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดกาเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวันและทำให้จำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันในพื้นที่ลดลง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รวมถึงรายงานข้อมูลชนิดพันธุ์ของผีเสื้อกลางวันที่พบในปัจจุบัน เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการศึกษาผีเสื้อกลางวันในระยะยาวต่อไป รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพที่อาจจะมีผลต่อการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพที่มีผลต่อการกระจายตัวของชนิดผีเสื้อกลางวัน

วิธีการวิจัย

สถานที่เก็บตัวอย่าง

ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 3 สถานี โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างสถานีละ 3 จุด ได้แก่ สถานีที่ 1) สถานีพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา (Natural History Museum) พื้นที่โดยรอบมีลักษณะเป็นทุ่งหญ้า และมีสวนหย่อมประกอบด้วยไม้ยืนต้นกระจายอยู่ทั่วไป สถานีที่ 2) สวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์ (Romklao Kallapruek Park) ปกคลุมด้วยป่าเบญจพรรณ และ สถานีที่ 3) โรงไฟฟ้า (Khon Kaen University Power Plant) พื้นที่โดยรอบมีป่าเต็งรังเป็นหย่อมๆ (Table 1, Figure 1)

การเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวัน

ผู้วิจัยทำการใช้สวิงโฉบแมลงเพื่อเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวัน โดยวิธีการวางแปลง (Quadrat method) ขนาดพื้นที่ 30x30 ตารางเมตร และวางแถบสำรวจ (Strip transect) ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 เดือนละ 1 ครั้ง ต่อ 1 พื้นที่ศึกษา ในแต่ละสถานีจะทำการสุ่ม 3 จุด พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลปัจจัยทางกายภาพ และชีวภาพในแปลงศึกษา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ) และอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส) และข้อมูลทางชีวภาพ คือ ชนิดพืชที่พบในบริเวณแปลงสำรวจทั้งไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และไม้ล้มลุก จำแนกชนิดพืชโดยใช้เอกสารหลักในการจำแนก คือ หนังสือศึกษาพรรณไม้สวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ประนอม จันทร์โหนด, 2553) ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ (กองกานดา

สยามฤต, 2548) วัชพืชในประเทศไทย(สุรัชย์ มัจฉาชีพ, 2538) วัชพืชสามัญภาคกลาง (สมาคมวิทยาการวิชาวัชพืชแห่งประเทศไทย, 2545) และการจำแนกวัชพืช (สันติไมตรี ก้อนคำดี, 2548) โดยใช้ลักษณะโครงสร้างทุกส่วน (รวมดอก) ประกอบการจัดจำแนกในระดับชนิด

ในแปลงสำรวจจะทำการวางแถบสำรวจจำนวน 5 เส้น แต่ละเส้นมีความยาว 30 เมตร ระยะห่างระหว่างเส้น 5 เมตร ความสูงในการโฉบไม่เกิน 2 เมตร โดยตัดแปลงมาจากวิธี Pollard (Pollard, 1997) (Figure 2) ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 09.00-12.00 น. และ 13.00-16.00 น. โดยใช้สวิงจับแมลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร โฉบผีเสื้อที่พบตามแถบสำรวจ โดยในแต่ละแปลงใช้เวลา 1 ชั่วโมง สำหรับชนิดพันธุ์ที่รู้จักแล้ว รวมถึงชนิดพันธุ์ที่หายากหรือชนิดพันธุ์ที่เป็นสัตว์ป่าคุ้มครอง จะเก็บใส่กล่องเพื่อบันทึกภาพ ชนิดและจำนวนของผีเสื้อกลางวันพบ และปล่อยคืนสู่ธรรมชาติเมื่อสำรวจเสร็จสิ้นแล้ว ส่วนชนิดพันธุ์ของผีเสื้อกลางวันที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ชัดเจน จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างกลับไปศึกษาต่อที่ห้องปฏิบัติการ โดยนำผีเสื้อกลางวันที่ได้จากการสำรวจมาจัดรูปร่างและท่าของปีกจนสามารถอยู่ในลักษณะท่ากางปีกโดยสมบูรณ์ เพื่อนำมาจำแนกวงศ์ สกุล และชนิด โดยใช้เอกสารหลักของ Jeratthitikul *et al.* (2009) และ Ek-Amnuay (2012)

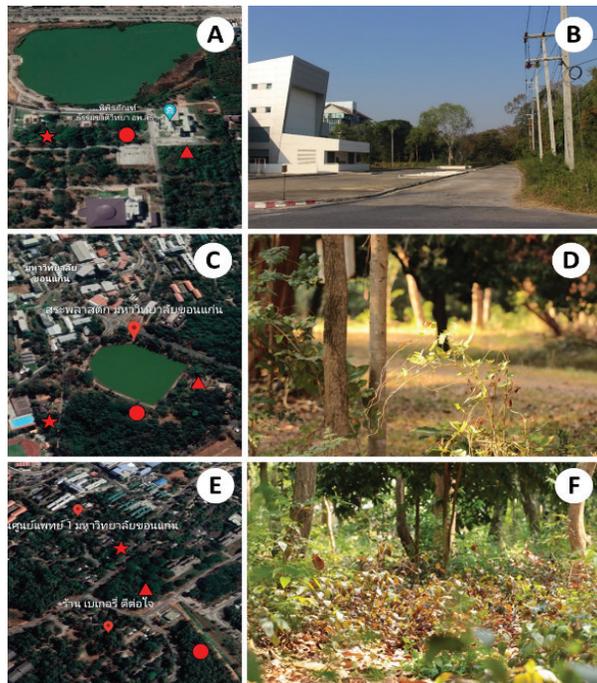


Figure 1 Location and habitat of sampling sites: (A-B) Natural History Museum; (C-D) Romklao Kallapruek Park; (E-F) Power Plant; Red triangles, red circles and red stars show sampling site 1, 2 and 3, respectively

Table 1 Locality of sampling sites

Sampling sites	Location	Altitude (m)
1) The Natural History Museum	1 16°26'47''N 102°48'39''E	167
	2 16°26'46''N 102°48'43''E	159
	3 16°26'45''N 102°48'47''E	164
2) Romklao Kallapruek Park	1 16°28'18''N 102°49'04''E	200
	2 16°28'27''N 102°49'05''E	185
	3 16°28'30''N 102°49'05''E	196
3) Khon Kaen University Power Plant	1 16°27'59''N 102°49'19''E	175
	2 16°27'52''N 102°49'19''E	185
	3 16°28'05''N 102°49'20''E	174

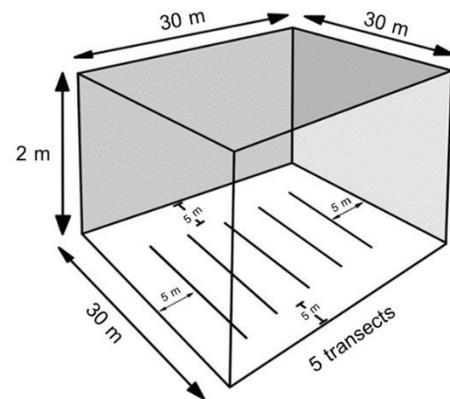


Figure 2 Strip transect of sampling method (3-dimension)

การวิเคราะห์ข้อมูล

- (1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation) ระหว่างจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันกับปัจจัยทางกายภาพ (อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์) และปัจจัยทางชีวภาพ (จำนวนชนิดของพืช) ด้วยโปรแกรมสถิติ R (version 3.5.2) (R Core Team, 2018)
- (2) คำนวณหาค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน (Diversity indices) เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละสถานี โดยใช้สูตร Shannon-Wiener diversity index (H') (Magurran, 2004)

$$H' = - \sum_{i=1}^s (pi)(\ln pi)$$

เมื่อ pi คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนชนิด i ต่อจำนวนสิ่งมีชีวิตทั้งหมด

n คือ จำนวนชนิดที่พบ 1, 2, 3, ...

(3) คำนวณหาค่าดัชนีการกระจายตัว หรือความสม่ำเสมอ (Evenness index: E) จากสูตร Shannon evenness index (E) (Magurran, 2004)

$$E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

เมื่อ E คือ การกระจายตัว หรือความสม่ำเสมอ

H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายของ

Shannon-Wiener diversity index

S คือ จำนวนชนิดของผีเสื้อทั้งหมด (Species richness)

(4) คำนวณหาค่าดัชนีความคล้ายคลึง (Similarity index) ของผีเสื้อกลางวันและผีเสื้อ เพื่อประเมินความคล้ายคลึงในแต่ละสถานี ด้วยวิธีคำนวณของ Sorensen qualitative index (Krebs, 1986) มีวิธีการดังต่อไปนี้ คำนวณหาค่าดัชนีความคล้ายคลึง (Similarity index) เพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของชนิดผีเสื้อกลางวันในพื้นที่เก็บตัวอย่างระหว่างสถานี จากสูตร

$$QS = \frac{2C}{(A+B)}$$

เมื่อ QS คือ ดัชนีความคล้ายคลึง

A คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในพื้นที่ที่ 1

B คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในพื้นที่ที่ 2

C คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบทั้งสองพื้นที่

ผลการศึกษา

ข้อมูลปัจจัยข้อมูลทางกายภาพ และชีวภาพ

ข้อมูลค่าเฉลี่ย (Mean; \bar{X}) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error; SE) ของปัจจัยทางกายภาพ (Table 2) ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ) และข้อมูลทางชีวภาพ คือ ชนิดพันธุ์พืช โดยทำการศึกษาพืชภายในพื้นที่เก็บตัวอย่าง ผลการศึกษาพบชนิดพันธุ์พืชทั้งสิ้น 98 ชนิด (Table 3) ดังนี้ สถานีสวนร่วมเกล้ากล้วยพฤษภาคม

จำนวนชนิดพันธุ์พืชมากที่สุด 81 ชนิด รองลงมาคือ สถานีโรงไฟฟ้าพบจำนวนชนิดพันธุ์พืช 75 ชนิด และสถานีพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาพบจำนวนชนิดพันธุ์พืช 71 ชนิด ตามลำดับ

Table 2 Temperature (°C) and humidity (%) in each sampling sites from January to April (2021)

Site	Month	Temperature	Humidity
1) Natural History Museum	January	25.09±0.97	61.70±2.24
	February	27.57±0.68	51.66±3.97
	March	32.60±0.19	70.61±0.93
	April	31.80±1.04	58.33±1.52
2) Romkiao Kallapruek Park	January	23.58±0.50	60.99±1.72
	February	26.84±0.69	64.00±2.99
	March	35.86±0.63	66.24±2.05
	April	34.99±0.39	74.04±3.93
3) Power Plant	January	22.16±0.84	61.49±1.80
	February	28.90±0.80	69.48±2.93
	March	34.06±0.35	60.75±2.42
	April	32.43±0.79	81.50±3.25

ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวัน 3 สถานี พบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 1,118 ตัว จำแนกออกเป็น 5 วงศ์ 39 สกุล 57 ชนิด (Table 4) จำนวนร้อยละของชนิดผีเสื้อกลางวันที่สำรวจพบทั้ง 3 สถานี พบว่า วงศ์ผีเสื้อขาหน้าผู้มีสัดส่วนมากที่สุดถึงร้อยละ 40.35 (23 ชนิด) รองลงมาคือ วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ ร้อยละ 21.05 (12 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน ร้อยละ 17.54 (10 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อหางติ่งร้อยละ 17.54 (10 ชนิด) และวงศ์ผีเสื้อที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดคือ วงศ์ผีเสื้อบินเร็ว ร้อยละ 3.51 (2 ชนิด) ตามลำดับ

ชนิดของผีเสื้อกลางวันที่พบจำนวนมากที่สุดคือ ผีเสื้อเนอธรรมดา (*Eurema hecabe hecabe*) ในวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ โดยพบ 189 ตัว (16.91% ของผีเสื้อทั้งหมด) อันดับสองคือ ผีเสื้อขาวแคระ (*Leptosia nina nina*) ในวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ จำนวน 103 ตัว (9.21%) และอันดับสามคือ ผีเสื้อจระกานอนย์โท (*Euploea core godartii*) ในวงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู จำนวน 81 ตัว (7.25%) ตัวอย่างชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่นดัง Figures 3-4

ผลการศึกษาจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันในแต่ละสถานี คือ ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon -

Wiener diversity index; H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index; E) พบว่า สถานีสวนร่วมเกล้ากล้วยพฤกษ์พบ ผีเสื้อกลางวันที่มากที่สุดคือ 47 ชนิด และมีค่าดัชนีความหลากหลายและดัชนีความสม่ำเสมอสูงที่สุด ($H'=3.24$, $E=0.84$) รองลงมาคือ สถานีโรงไฟฟ้าพบผีเสื้อกลางวันที่ 45 ชนิด ($H'=3.17$, $E=0.83$) และสถานีพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยาพบ ผีเสื้อกลางวันที่ 28 ชนิด ($H'=2.64$, $E=0.79$) ตามลำดับ (Table 5) จำนวนชนิดผีเสื้อในแต่ละเดือนแสดงดัง Figure 5 สำหรับค่าดัชนีความคล้ายคลึงกัน (Sorensen similarity index) ของผีเสื้อกลางวันที่ในแต่ละสถานี พบว่าบริเวณสถานีสวนร่วมเกล้ากล้วยพฤกษ์และโรงไฟฟ้ามีความคล้ายคลึงมากที่สุดคือ 0.80 ในขณะที่ความคล้ายคลึงกันของชนิดพันธุ์พืชบริเวณสถานีพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติและโรงไฟฟ้ามีความคล้ายคลึงมากที่สุดคือ 0.85 (Table 6)

Table 3 The list of plants observed in sampling sites during the study period

Species
1. <i>Abutilon hirtum</i> (ครอบจักรวาล)
2. <i>Achyranthes aspera</i> (พันงู)
3. <i>Ageratum conyzoides</i> (สาบแรังสาบกา)
4. <i>Albizia lebbek</i> (พฤกษ์)
5. <i>Allamanda cathartica</i> (บานบุรี)
6. <i>Alstonia scholaris</i> (ตีนเป็ด)
7. <i>Alternanthera dentate</i> (บานไม่รู้โรยฝรั่ง)
8. <i>Amaranthus viridis</i> (ผักโขม)
9. <i>Annona squamosa</i> (น้อยหน่า)
10. <i>Artocarpus lacucha</i> (มะหาด)
11. <i>Asystasia gangetica</i> (บาหยยา)
12. <i>Azadirachta indica</i> (สะเดา)
13. <i>Bambusa</i> sp. (ไผ่)
14. <i>Bauhinia purpurea</i> (ชงโค)
15. <i>Biswna piloa</i> (กันจ้ำข้าว)
16. <i>Borreria laevis</i> (กระดุมใบเล็ก)
17. <i>Borreria latifolia</i> (กระดุมใบใหญ่)
18. <i>Bougainvillea</i> sp. (เฟื่องฟ้า)
19. <i>Butea monosperma</i> (กวาว)
20. <i>Calotropis gigantea</i> (รัก)
21. <i>Caryota urens</i> (เต้าร้าง)
22. <i>Cassia bakeriana</i> (กล้วยพฤกษ์)
23. <i>Catharanthus roseus</i> (แพงพวยฝรั่ง)
24. <i>Chromolaena odorata</i> (สาบเสือ)
25. <i>Cleome rutidosperma</i> (ผักเสี้ยนขน)
26. <i>Cleome viscosa</i> (ผักเสี้ยนผี)
27. <i>Coccinia grandis</i> (ตำลึง)

Table 3 The list of plants observed in sampling sites during the study period (continued)

Species
28. <i>Cocos nucifera</i> (มะพร้าว)
29. <i>Commelina banghalensis</i> (ผักปลาใบกว้าง)
30. <i>Commelina diffusa</i> (ผักปลาใบสั้น)
31. <i>Cyperus pulcherrimus</i> (แห้วหมูนา)
32. <i>Cyanthillium cinereum</i> (หมอน้อย)
33. <i>Cyperus digitatus</i> (กกฝรั่ง)
34. <i>Cyperus iria</i> (กกทราย)
35. <i>Dactyloctenium aegyptium</i> (หญ้าปากคาว)
36. <i>Dipterocarpus alatus</i> (ยางนา)
37. <i>Eleusine indica</i> (หญ้าตีนกา)
38. <i>Euphorbia heterophylla</i> (หญ้ายาง)
39. <i>Euphorbia hirta</i> (น้านมราชสีห์)
40. <i>Ficus benjamina</i> (ไทรย้อย)
41. <i>Ficus hispida</i> (มะเดื่อปล้อง)
42. <i>Ficus religiosa</i> (โพศรีมหาโพ)
43. <i>Ficus virens</i> (เลียบ)
44. <i>Glinus oppositifolius</i> (ผักขวง)
45. <i>Gomphrena celosoides</i> (บานไม่รู้โรยป่า)
46. <i>Heliotropium indicum</i> (หญ้างวงช้าง)
47. <i>Indigofera hirsuta</i> (ครามขน)
48. <i>Ixora chinensis</i> (เข็มแดง)
49. <i>Ixora lucida</i> (เข็มขาว)
50. <i>Lagerstroemia speciosa</i> (อินทนิล)
51. <i>Lagerstroemia subangulata</i> (สมอร่อง)
52. <i>Leucaena leucocephala</i> (กระถิน)
53. <i>Lindernia dubia</i> (เงียงน้ำ)
54. <i>Mangifera indica</i> (มะม่วง)
55. <i>Melodorum fruticosum</i> (ลำตวน)
56. <i>Michelia champaca</i> (จำปา)
57. <i>Mikania cordata</i> (ขี้ไต้ย่าน)
58. <i>Millingtonia hortensis</i> (ปีบ)
59. <i>Mimosa pudica</i> (ไมยราบหนาม)
60. <i>Momordica charantia</i> (มะระขี้นก)
61. <i>Morinda tomentosa</i> (ยอป่ามีขน)
62. <i>Muntingia calabura</i> (ตะขบ)
63. <i>Musa x paradisiaca</i> (กล้วยน้ำว้า)
64. <i>Nephrolepis</i> sp. (เฟิร์น)
65. <i>Oxyceros horridus</i> (คัตเค้าเครือ)
66. <i>Panicum rapens</i> (หญ้าชันกาด)
67. <i>Paspalum conjugatum</i> (หญ้าลูกเห็บ)
68. <i>Passiflora foetida</i> (กะทกรกป่า)
69. <i>Peltophorum pterocarpum</i> (นนทรี)
70. <i>Pennisetum</i> sp. (หญ้าจรจบ)
71. <i>Pentacme siamensis</i> (วัง)
72. <i>Phaseolus atropurpureus</i> ถั่ว (ผีเสื้อ)

Table 3 The list of plants observed in sampling sites during the study period (continued)

Species
73. <i>Phyllanthus amarus</i> (ลูกใต้ใบ)
74. <i>Physalis minima</i> (โหงง)
75. <i>Pogonatherum crinitum</i> (หญ้าไผ่หยอง)
76. <i>Portulaca oleracea</i> (ผักเบี้ยใหญ่)
77. <i>Plumeria rubra</i> (ลั่นทม)
78. <i>Pterocarpus macrocarpus</i> (ประดู่ป่า)
79. <i>Raphistemma pulchelum</i> (ข้าวสารดอกใหญ่)
80. <i>Richardia scabra</i> (กระดุมใบ)
81. <i>Ruellia simplex</i> (ต้อยติ่งฝรั่ง)
82. <i>Senna siamea</i> (ซีเหล็ก)
83. <i>Sida acuta</i> (หญ้าขัดมอญ)
84. <i>Shorea obtuse</i> (เต็ง)
85. <i>Sindoria siamensis</i> (มะค่าแต้)
86. <i>Sphagneticola trilobata</i> (กระดุมทองเลื้อย)
87. <i>Spermacoce laevis</i> (หญ้าเขมร)
88. <i>Spondias pinnata</i> (มะกอก)
89. <i>Streblus asper</i> (ช่อย)
90. <i>Synedrella nodiflora</i> (ผักแครด)
91. <i>Terminalia catappa</i> (หูกวาง)
92. <i>Tridax procumbens</i> (ตีนตุ๊กแก)
93. <i>Vernonia cinerea</i> (หญ้าล่ออง)
94. <i>Wrightia arborea</i> (โมกมัน)
95. <i>Xylia xylocarpa</i> (แดง)
96. <i>Zinnia violacea</i> (บานชื่น)
97. <i>Ziziphus mauritiana</i> (พุทรา)
98. <i>Zygostelma benthami</i> (อบเชยเถา)

Table 4 The list of butterfly species found in sampling sites from Khon Kaen University

Species	Thai common name
Family Nymphalidae (วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู)	
1. <i>Ariadne ariadne palidior</i>	ผีเสื้อหนอนละหุ่งลายหยัก
2. <i>Danaus chrysippus chrysippus</i>	ผีเสื้อหนอนใบรัก
3. <i>Danaus genutia genutia</i>	ผีเสื้อหนอนข้าวสารลายเสือ
4. <i>Euploea core godartii</i>	ผีเสื้อจระกาทนร้อนยีโด
5. <i>Euploea klugii richsonii</i>	ผีเสื้อจระกาสีตาล
6. <i>Euploea mulciber mulciber</i>	ผีเสื้อจระกามีลาย
7. <i>Ideopsis vulgaris contigua</i>	ผีเสื้อลายเสือฟ้าขีดเรียว
8. <i>Tirumala limniace limniace</i>	ผีเสื้อลายเสือฟ้าแถบกว้าง
9. <i>Acraea terpsicore</i>	ผีเสื้อหนอนหนามกะทกรก

Table 4 The list of butterfly species found in sampling sites from Khon Kaen University (continued)

Species	Thai common name
10. <i>Cethosia cyane euanthes</i>	ผีเสื้อหนอนกระทกรกรมดา
11. <i>Cirrochroa surya siamensis</i>	ผีเสื้อสีอิฐเล็ก
12. <i>Phaedyma columella martabana</i>	ผีเสื้อกะลาสีเทาแถบสั้น
13. <i>Junonia almana almana</i>	ผีเสื้อแพนซีมยุรา
14. <i>Junonia lemonias lemonias</i>	ผีเสื้อแพนซีสีตาล
15. <i>Junonia atlites atlites</i>	ผีเสื้อแพนซีเทา
16. <i>Hypolimnas bolina jacintha</i>	ผีเสื้อปีกไขใหญ่
17. <i>Hypolimnas misippus</i>	ผีเสื้อปีกไขเมียเลียน
18. <i>Elymnias hypermnestra meridionalis</i>	ผีเสื้อหนอนมะพร้าวธรรมดา
19. <i>Melanitis leda leda</i>	ผีเสื้อสายัณห์สีตาลธรรมดา
20. <i>Mycalesis mineus mineus</i>	ผีเสื้อตาลพุ่มสีจืดเรียง
21. <i>Mycalesis perseus tabitha</i>	ผีเสื้อตาลพุ่มธรรมดา
22. <i>Ypthima baldus</i>	ผีเสื้อสีตาลจุดตาห้าธรรมดา
23. <i>Ypthima huebneri</i>	ผีเสื้อสีตาลจุดตาสี่ธรรมดา
Family Pieridae (วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ)	
24. <i>Catopsilia pomona</i>	ผีเสื้อหนอนกุ่มธรรมดา
25. <i>Eurema simulatrix sarinoides</i>	ผีเสื้อเนรภูเขา
26. <i>Eurema blanda silhetana</i>	ผีเสื้อเนรสามจุด
27. <i>Eurema hecabe hecabe</i>	ผีเสื้อเนรธรรมดา
28. <i>Appias albino darada</i>	ผีเสื้อหนอนใบกุ่มธรรมดา
29. <i>Appias olferna olferna</i>	ผีเสื้อหนอนใบกุ่มเส้นดำ
30. <i>Cepora nerissa dapha</i>	ผีเสื้อเหลืองสยามลายขีด
31. <i>Delias hyparete indica</i>	ผีเสื้อหนอนกาฝากธรรมดา
32. <i>Ixias pyrene verna</i>	ผีเสื้อปลายปีกส้มเล็ก
33. <i>Leptosia nina nina</i>	ผีเสื้อขาวแคะ
34. <i>Pareronia anais anais</i>	ผีเสื้อฟ้าเมียเลียนธรรมดา
35. <i>Tolbotia naganum pamsi</i>	ผีเสื้อหนอนกะหล่ำแถบดำ
Family Lyceanidae (วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน)	
36. <i>Euchrysops cnejus cnejus</i>	ผีเสื้อฟ้าหิ่งห้อยสีจาง
37. <i>Castalius rosimon rosiman</i>	ผีเสื้อหนอนพุทราธรรมดา
38. <i>Jamides celeno aelianus</i>	ผีเสื้อฟ้าวาฬสีต่างฤดู
39. <i>Lampides boeticus</i>	ผีเสื้อหนอนถั่วสีน้ำเงิน
40. <i>Zizula hylax pygmaea</i>	ผีเสื้อฟ้าจุดขอบ
41. <i>Zizina otis sangra</i>	ผีเสื้อฟ้าดอกหญ้า
42. <i>Arhopala centaurus nakula</i>	ผีเสื้อฟ้าไม้ก้อมดเล็ก

Table 4 The list of butterfly species found in sampling sites from Khon Kaen University (continued)

Species	Thai common name
43. <i>Loxura atymnus continentalis</i>	ผีเสื้อแสดหางยาว
44. <i>Rapala iarbus iarbus</i>	ผีเสื้อหนอนไม้ผลแดงธรรมชาติ
45. <i>Rapala manea schistacea</i>	ผีเสื้อหนอนไม้ผลสีขนาน
Family Papilionidae (วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง)	
46. <i>Graphium agamemnon agamemnon</i>	ผีเสื้อหนอนจำปีธรรมชาติ
47. <i>Graphium doson axion</i>	ผีเสื้อหนอนจำปีจุดแยก
48. <i>Graphium macareus indochinensis</i>	ผีเสื้อม้าลายธรรมชาติ
49. <i>Graphium nomius swinhoei</i>	ผีเสื้อหางดาบลายจุด
50. <i>Pachliopta aristolochiae goniopeltis</i>	ผีเสื้อหางตุ้มจุดชมพู
51. <i>Papilio clytia clytia</i>	ผีเสื้อเชิงลายธรรมชาติ
52. <i>Papilio demoleus malayanus</i>	ผีเสื้อหนอนมะนาว
53. <i>Papilio memnon agenor</i>	ผีเสื้อหางติ่งนางระเวง
54. <i>Papilio polytes romulus</i>	ผีเสื้อหางติ่งธรรมชาติ
55. <i>Troides aeacus malaiianus</i>	ผีเสื้อถุงทองธรรมชาติ
Family Hesperidae (วงศ์ผีเสื้อบินเร็ว)	
56. <i>Pelopidas mathias mathias</i>	ผีเสื้อหนอนม้วนใบข้าวแถบ เพศเล็ก
57. <i>Udaspes folus</i>	ผีเสื้อพญาทุ่งหญ้า

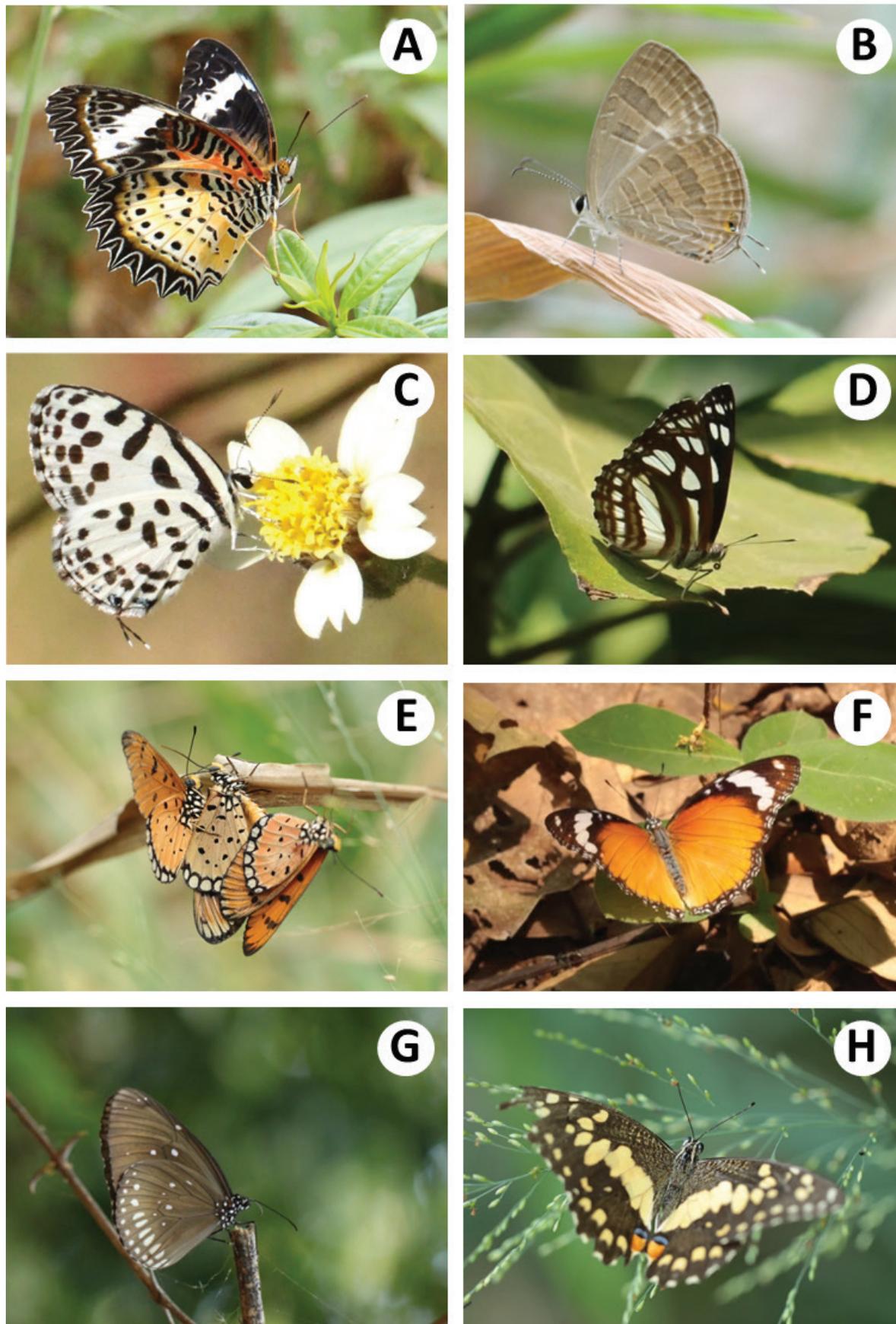


Figure 3 Butterflies in the field survey: (A) *Cethosia cyane euanthes*, (B) *Jamides celeno aelianus*, (C) *Castalius rosimon rosimon*, (D) *Phaedyra columella martabana*, (E) *Acraea terpsicore*, (F) *Hypolimnas misippus misippus*, (G) *Euploea core godartii*, (H) *Papilio demoleus malayanus*

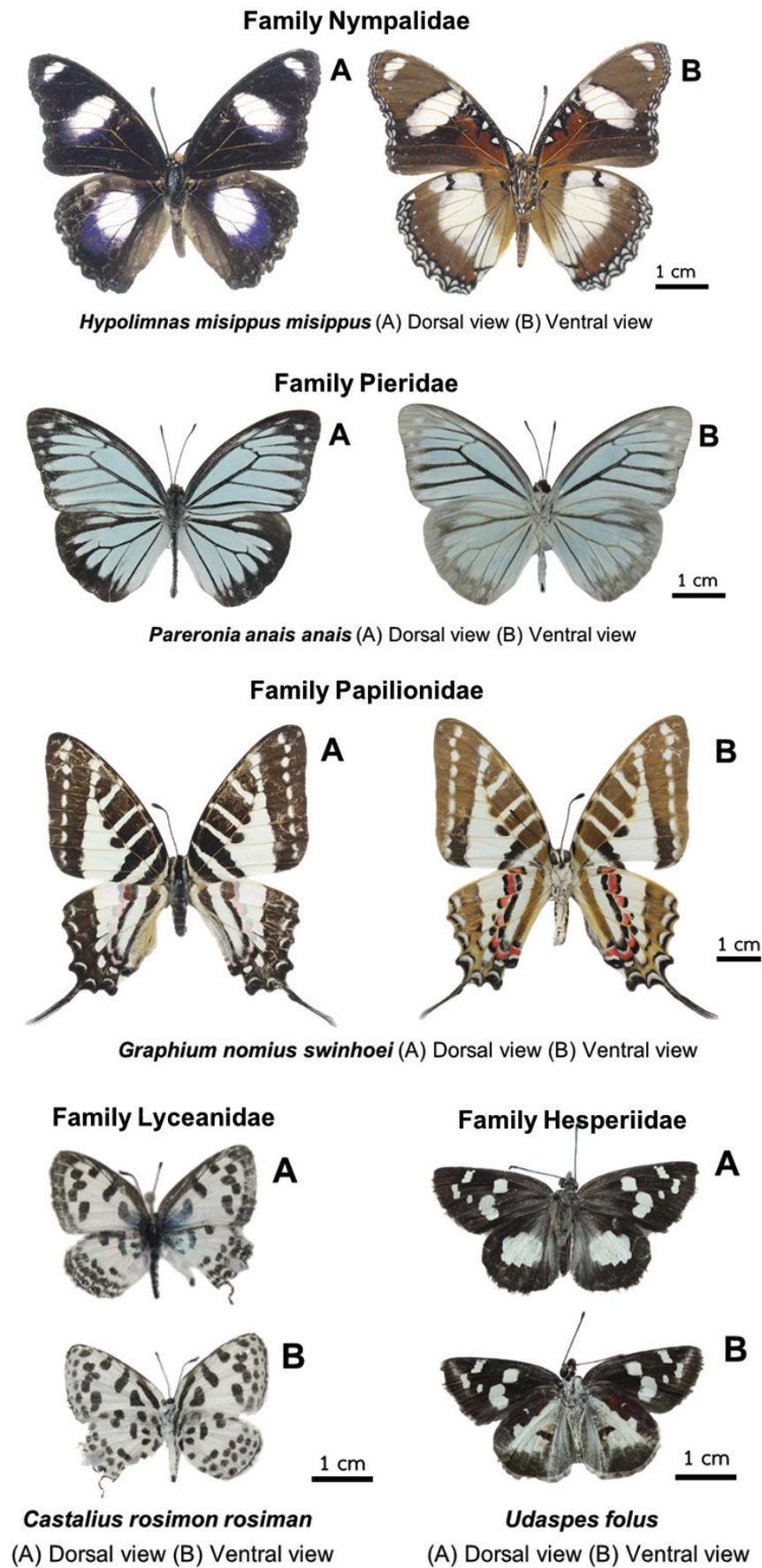


Figure 4 Butterfly specimens recorded in each family

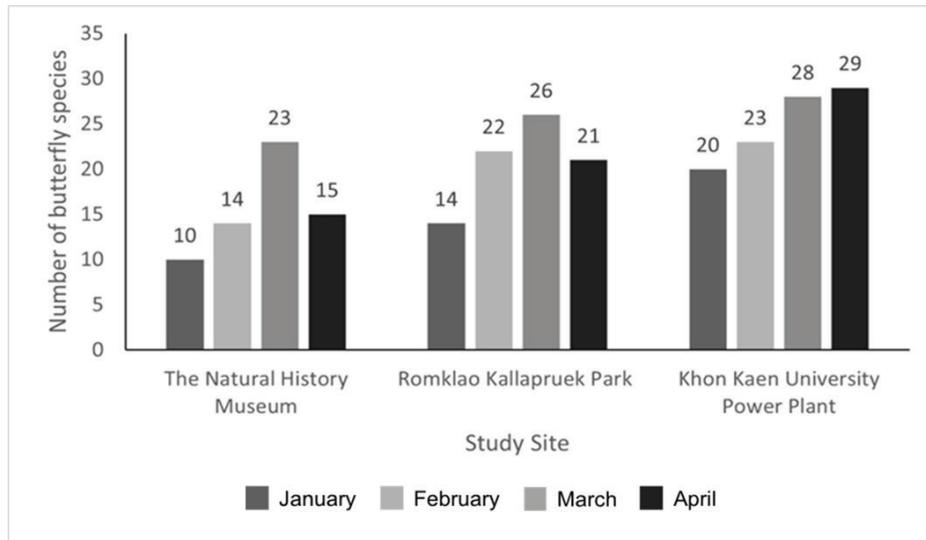


Figure 5 The number of butterfly species in the three study areas of Khon Kaen University, particularly in each month

Table 5 Number of species and individuals, Shannon-Weiner diversity index and Evenness index of butterflies with the number of plant species in Khon Kaen University between January - April 2021

Site	Number of species	Number of individuals	Shannon-Wiener diversity index	Evenness index	Number of plant species
Natural History Museum	28	345	2.65	0.79	71
Romklao Kallapruuek Park	47	372	3.24	0.84	81
Power Plant	45	370	3.17	0.83	75

Table 6 Sorensen similarity index of butterfly species and plant species recorded in the study sites

Sites	Sorensen similarity index	
	Butterfly species	Plant species
Natural History Museum and Romklao Kallapruuek Park	0.61	0.75
Natural History Museum and Power Plant	0.67	0.85
Romklao Kallapruuek Park and Power Plant	0.80	0.81

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนชนิดของพืช กับจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวัน โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation coefficient - rho) (Table 7) พบว่าความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นสัมพัทธ์ (rho=0.450, S=4271.2, p-value=0.006) และอุณหภูมิอากาศ (rho=0.427, S=4454.6, p-value=0.009) และพบว่าชนิดพืชไม่มีความสัมพันธ์กับความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน (rho=0.065, S=7268.5, p-value=0.708)

Table 7 Spearman's rank correlation coefficient (rho) between temperature, humidity and plant species with the number of butterfly species.

rho	Air temperature	Humidity	Number of plant species
Number of butterfly species	0.427*	0.450*	0.065

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่นด้วยการใช้สวิงโฉบแมลงเพื่อเก็บผีเสื้อกลางวัน โดยวิธีการวางแปลง (Quadrat method) และวางแถบสำรวจ (Strip transect) ระหว่างเดือนมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2564 ในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นจำนวน 3 สถานี ได้แก่ (1) สถานีพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา (2) สถานีสวนร่มเกล้า กัลปพฤกษ์ และ (3) สถานีโรงไฟฟ้า ผลการศึกษาพบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 1,118 ตัว จัดจำแนกเป็น 5 วงศ์ 39 สกุล 57 ชนิด โดยพบวงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู (Nymphalidae) มากที่สุด (23 ชนิด) รองลงมาคือ วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Pieridae) (12 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Lycaenidae) (10 ชนิด) วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Papilionidae) (10 ชนิด) และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Hesperiidae) (2 ชนิด) ตามลำดับ จากผลการศึกษาครั้งนี้พบผีเสื้อวงศ์ขาหน้าฟู (Nymphalidae) มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติ ดันเมืองปัก และคณะ (2560) ทำการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติภูเรือ พบวงศ์ขาหน้าฟู (Nymphalidae) มากที่สุดเมื่อเทียบกับผีเสื้อกลางวันในวงศ์อื่น อาจเนื่องมาจากผีเสื้อกลางวันในวงศ์นี้ชอบสภาพพื้นที่ป่าไม่รกทึบมากและชอบแสง ปัจจัยของสภาพแวดล้อมดังกล่าวในพื้นที่ศึกษาจึงเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผีเสื้อกลางวันในวงศ์นี้ นอกจากนี้ยังพบว่าผีเสื้อวงศ์ขาหน้าฟูมีเขตการแพร่กระจายพบเห็นได้ทุกสภาพป่า (Tiple *et al.*, 2007) ในขณะที่ผีเสื้อบินเร็วหลายชนิดจะหากินในเวลาเข้ามืดหรือใกล้ค่ำ (Jeratthitikul *et al.*, 2009) ซึ่งไม่ใช่ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้ในการศึกษานี้มีการพบจำนวนชนิดของผีเสื้อบินเร็วในสัดส่วนที่น้อยที่สุด (2 ชนิด) สอดคล้องกับการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตสวนรุกขชาติเขาพุทธทอง และเขตสวนป่านาปอ อำเภอนาแห้ว จังหวัดเลย ที่สำรวจพบผีเสื้อวงศ์ขาหน้าฟูมีจำนวนชนิดมากกว่าผีเสื้อกลางวันในวงศ์อื่น (โอฬาร ฤกษ์รุจิพิมล, 2551, กิตติ ดันเมืองปัก และ ศิริภรณ์ ศรีโพธิ์, 2559).

เมื่อเปรียบเทียบชนิดพันธุ์ของผีเสื้อกลางวันในอดีต (เขตไทย ภูผาสุก, 2537) กับปัจจุบัน พบชนิดพันธุ์ของผีเสื้อกลางวันเหมือนกัน 25 ชนิด มีเพียง 9 ชนิด ที่ไม่พบในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ผีเสื้อกะลาสีธรรมดา (*Neptis hylas*) ผีเสื้อหนอนมะพร้าวลายเสือ (*Elymnias nesaea timandra*) ผีเสื้อเชิงลายธรรมดา (*Chilasa clytis clytia*) ผีเสื้อหนอนคูนเหลือง (*Catopsilia scylla*) ผีเสื้อหนอนกาฝากโตปีกแดง (*Delias posithoe thyra*) ผีเสื้อปลายปีกส้มใหญ่ (*Hebomoia glaucippe glaucippe*) ผีเสื้อฟ้าเซลจุดสีคล้ำ (*Zizeeria karsandra*) ผีเสื้อหนอนมะพร้าวโตจุดธรรมดา (*Suastus gremius gremius*)

และผีเสื้อหน้าเข้มสยาม (*Hasora proxissima siamica*) เนื่องจากพื้นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาพื้นที่บางหย่อมป่าภายในมหาวิทยาลัย ส่วนการศึกษาก่อนหน้ามีการศึกษาในเขตป่าเพียงสองแห่งคือ ป่าบริเวณตรงข้ามสำนักงานอธิการบดี และบริเวณแปลงเพาะปลูกพืชคณะเกษตรศาสตร์ ซึ่งพื้นที่ป่าทั้งสองในช่วงปี พ.ศ. 2537 ค่อนข้างเป็นป่าเปิดโล่ง นอกจากนั้นยังศึกษาในบริเวณอาคารต่าง ๆ ได้แก่ บริเวณหอพักชายที่ 5 และบริเวณสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยสวนขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่า ทำให้การศึกษานี้มีความแตกต่างกับการศึกษาของเขตไทย ภูผาสุก (2537) ทั้งในลักษณะพื้นที่เก็บตัวอย่าง ลักษณะหย่อมป่า และพืชอาหาร รวมถึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นที่รวมถึงพืชต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปถึงประมาณ 30 ปี

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ชุตินันท์ ชูสาย และคณะ (2543) พบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 123 ชนิด ถึงแม้ว่าในการศึกษานี้จะพบจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันน้อยกว่า (57 ชนิด) แต่ในการศึกษานี้มีการรายงานผีเสื้อกลางวันที่ไม่ได้มีการรายงานในการศึกษาของ ชุตินันท์ ชูสาย และคณะ (2543) ถึง 16 ชนิด ได้แก่ ผีเสื้อลายเสือฟ้าแถบกว้าง (*Tirumala limniace limniace*) ผีเสื้อสีอิฐเล็ก (*Criochroa surya siamensis*) ผีเสื้อเงรสามจุด (*Eurema blanda silhetana*) ผีเสื้อหนอนใบกุ่มเส้นดำ (*Appias olferna olferna*) ผีเสื้อเหลืองสยามลายขีด (*Cepora nerissa dapha*) ผีเสื้อขาวแคะ (*Leptosia nina nina*) ผีเสื้อหนอนกะหล่ำแถบดำ (*Tolbotia naganum pamsi*) ผีเสื้อฟ้าหิ่งห้อยสีจาง (*Euchrysops cnejus cnejus*) ผีเสื้อฟ้าวาฬสีต่างฤดู (*Jamides celeno aelianus*) ผีเสื้อหนอนถั่วสีน้ำเงิน (*Lampides boeticus*) ผีเสื้อฟ้าจุดขอบ (*Zizula hylax pygmaea*) ผีเสื้อฟ้าดอกหญ้า (*Zizina otis sangra*) ผีเสื้อฟ้าไม้ก่อมดเลี้ยง (*Arhopala centaurus nakula*) ผีเสื้อแสดงหางยาว (*Loxura atymnus continentalis*) ผีเสื้อหนอนไม้ผลแดงธรรมดา (*Rapala iarbus iarbus*) ผีเสื้อพญาทุ่งหญ้า (*Udaspes folus*) อาจเกิดจากการเลือกพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พบผีเสื้อต่างชนิดกัน หรืออาจจะเกิดจากการอพยพมาตั้งถิ่นฐานใหม่ (Colonization) ในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา และยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบชนิดของผีเสื้อกลางวันที่เราสำรวจพบในการศึกษานี้กับการศึกษาผีเสื้อกลางวันภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในช่วงปีใกล้เคียงกันโดยณัฐพงศ์ ขาววิสุทธิ์ (2563) ซึ่งสำรวจพบผีเสื้อกลางวันภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นจำนวน 29 ชนิด¹⁹ กลับพบชนิดที่มีความแตกต่างกันน้อยกว่า โดยการศึกษาไม่พบชนิดที่รายงานโดยณัฐพงศ์ ขาววิสุทธิ์

(2563) เพียง 7 ชนิด ได้แก่ ผีเสื้อกะลาสีธรรมดา (Neptis hylas) ผีเสื้อหนอนคูนเหลือง (Catopsilia scylla) ผีเสื้อหนอนจำปีจุดขอบ (Graphium chironides chironides) ผีเสื้อหน้าเข็มสีตาล (Badamia exclamationis) ผีเสื้อหนอนข้าว (Borco cinnara) ผีเสื้อหนอนหญ้าจุดแยก (Potanthus trachala) และ ผีเสื้อฟ้าหิ่งห้อยสีคล้ำ (Chilades pandava pandava) แต่พบว่าในการศึกษานี้มีจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันมากกว่าถึง 36 ชนิด ถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่การเก็บตัวอย่างเดียวกันทั้งสามสถานี ได้แก่ สถานีพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา สวนร่มเกล้า กัลปพฤกษ์ และโรงไฟฟ้า โดยการศึกษาของ ญัฐพงศ์ ขาววิสุทธิ (2563) มีสถานีศึกษาเพิ่มต่างจากการศึกษานี้เพียง 1 สถานี ได้แก่ บริเวณป่าเต็งรัง พบผีเสื้อกลางวัน 12 ชนิด ความแตกต่างของจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบแม้ในสถานีศึกษาเดียวกันนี้ อาจเนื่องมาจากจำนวนแถบสำรวจที่แตกต่างกัน รวมถึงจำนวนครั้งของการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน เพราะการศึกษานี้มีการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันและจำนวนแถบสำรวจที่มากกว่า

โดยเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่นกับการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตมหาวิทยาลัยอื่นๆ ได้แก่ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเวียงชัย มีรายงานการพบผีเสื้อกลางวัน 68 ชนิด ซึ่งมีจำนวนชนิดมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ แต่การศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างเพียง 4 เดือนเท่านั้น (พบผีเสื้อกลางวัน 57 ชนิด) ส่วนการเก็บตัวอย่างในการศึกษาข้างต้นมีการสำรวจผีเสื้อกลางวันเป็นเวลา 1 ปี (สุทธิ มลิทอง, ม.ป.ป.) หรือเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาผีเสื้อกลางวันในเขตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2550 ถึงเดือนมีนาคม 2551 พบว่ามีผีเสื้อกลางวันทั้งหมด 33 ชนิด เท่านั้น (อลงกรณ์ ผาผง, 2551) จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นยังเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันสูง และอาจยังคงมีผีเสื้อกลางวันหลายชนิดที่อาศัยในมหาวิทยาลัยขอนแก่น แต่ยังไม่มีการรายงานการค้นพบก็เป็นได้

ชนิดผีเสื้อกลางวันที่สำรวจพบในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยส่วนมากมักจัดเป็นชนิดที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป (Common) นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังพบผีเสื้อกลางวันบางชนิดที่ไม่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป (Uncommon) (Ek-Amnuay, 2012) ได้แก่ ผีเสื้อหนอนมะพร้าวธรรมดา (Elymnas hypernstra meridionalis) ผีเสื้อเณรภูเขา (Eurema simularix sarinoides) และผีเสื้อหนอนผลไม้สีขนวน (Rapala manea schistacea) ผีเสื้อชนิดดังกล่าวยังไม่เคยมีรายงานการพบในมหาวิทยาลัยขอนแก่นมาก่อน

Table 8 Number of butterfly species present study and the previous study Nattapong Kawwisut (2020) (Eonnell, 1978)

Site	Nattapong Kawwisut's Study (2020)	Present Study (2021)
Natural History Museum	16	28
Romklao Kallapruak Park	18	47
Power Plant	11	45

ผลการศึกษาจำนวนชนิดในแต่ละสถานี ดัชนีความหลากหลาย (Shannon - Wiener diversity index; H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index; E) พบว่าสถานีสวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์พบผีเสื้อกลางวันมากที่สุดคือ 47 ชนิด (H'=3.24, E=0.84) รองลงมาคือ สถานีโรงไฟฟ้าพบผีเสื้อกลางวัน 45 ชนิด (H'=3.17, E= 0.83) และสถานีพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาพบผีเสื้อกลางวัน 28 ชนิด (H'= 2.64, E= 0.79) ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ญัฐพงศ์ ขาววิสุทธิ (2563) รายงานว่า สวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์มีจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวัน ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และดัชนีความสม่ำเสมอมากที่สุด

นอกจากนั้นป่าส่วนใหญ่ที่เหลืออยู่ในมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีการถูกแบ่งออกเป็นหย่อมป่าขนาดที่แตกต่างกัน และขนาดหย่อมป่ามีผลต่อจำนวนและชนิดของผีเสื้อกลางวัน สวนร่มเกล้ากัลปพฤกษ์เป็นป่าเบญจพรรณที่มีพื้นที่ขนาดกลาง (ประมาณ 9.39 เฮกเตอร์) 1 หย่อมป่า ในขณะที่ป่าเต็งรังในบริเวณโรงไฟฟ้าเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก 3 หย่อมป่า (ประมาณ 2-3 เฮกเตอร์ ต่อหย่อมป่า) อาจส่งผลต่อความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันชนิดที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ป่าได้ โดยการแก่งแย่งแข่งขันของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ขนาดเล็กย่อมสูงกว่าพื้นที่ขนาดใหญ่ เนื่องจากทรัพยากรในพื้นที่ขนาดเล็กมีน้อยกว่า และหากพื้นที่ขนาดเล็กถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การก่อสร้าง การตัดไม้ทำลายป่า พื้นที่ขนาดเล็กมักจะได้รับผลกระทบมากกว่าพื้นที่ขนาดกลางถึงใหญ่ ทำให้ชนิดพืชที่เป็นแหล่งอาหาร หรือแหล่งที่อยู่อาศัยที่สำคัญของผีเสื้อกลางวันลดน้อยลงอย่างมาก ปัจจัยเหล่านี้มักส่งผลให้ผีเสื้อกลางวันในหย่อมป่าขนาดเล็กนั้นมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์สูง และส่งผลให้พื้นที่หย่อมป่าที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีผีเสื้อที่มีความหลากหลายชนิดน้อยกว่าพื้นที่หย่อมป่าขนาดใหญ่กว่า (Moilanen & Hanski, 1998, Stillely & Gabler, 2021, Chaianunporn & Hovestadt, 2022)

ผลการศึกษาค่าดัชนีความคล้ายคลึงกัน (Sorensen similarity index) ของผีเสื้อกลางวันที่พบพบว่า สถานีสวนร่วมเกล้ากล้วยพฤกษ์และสถานีโรงไฟฟ้ามีความคล้ายคลึงมากที่สุดถึงร้อยละ 80 อาจเนื่องมาจากการพบชนิดพืชและลักษณะของป่าที่เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัยของผีเสื้อกลางวันคล้ายคลึงกัน (Chaianunporn & Chaianunporn, 2019, สิริกมล พลางาม และ นิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์, 2564, Chaianunporn & Chaianunporn, 2022) โดยทั้งสองสถานีมีลักษณะเป็นป่าโปร่งและมีแสงส่องถึงพื้นล่าง สลับกับพื้นที่โล่งที่แสงแดดส่องถึงตลอดเวลา เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลักต่อพฤติกรรมการเกี่ยวพาราสิ พฤติกรรมการออกหากิน และพฤติกรรมการวางไข่ของผีเสื้อกลางวัน (Ratiwiriyaopong, 2004) และพื้นที่ป่ายังเป็นแหล่งอาศัย และแหล่งหลบภัยของผีเสื้อกลางวัน(เกรียงไกร สุวรรณภักดี, 2556) พื้นที่ดังกล่าวมีสภาพแวดล้อมแตกต่างจากพื้นที่บริเวณพิพิธภัณฑสถานชาติวิทยากล่าวคือ มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งและมีสวนหย่อมบางบริเวณ อาจส่งผลให้การพบผีเสื้อกลางวันส่วนใหญ่เป็นชนิดที่ปรับตัวให้เข้ากับพื้นที่เปิดโล่งได้มากกว่าผีเสื้อที่มีความจำเพาะเจาะจงกับพื้นที่ป่า (Chaianunporn & Chaianunporn, 2019, Chaianunporn & Chaianunporn, 2022)

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) พบว่า ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ ในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นจะส่งผลให้ชนิดผีเสื้อกลางวันสูงขึ้นเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของสุรัชย์ ชลดำรงกุล และ ชลธร ชำนาญคิด (2541) ที่ศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวที่พบว่าในอากาศที่มีความชื้นสูงส่งผลให้พบจำนวนตัวและจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงเก็บตัวอย่างของการศึกษาครั้งนี้เป็นฤดูแล้งถึงต้นฤดูฝน ในช่วงฤดูแล้งจะเป็นช่วงที่พบจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันน้อยที่สุดในทุกสถานี (Figure 5) เมื่อมีฝนตกทำให้ความชื้นสูงขึ้นก็จะเอื้อต่อการออกหากินและการวางไข่ของผีเสื้อกลางวันมากขึ้น เนื่องจากมีการแตกใบอ่อนและการออกดอกของพืชที่เป็นอาหารของผีเสื้อกลางวันมากขึ้นทำให้ในเดือนต่อๆ มา ในช่วงทำการศึกษาริมมีฝนตก ส่งผลให้มีจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าบริเวณที่มีพื้นที่ชื้นแฉะมาก จะพบผีเสื้อกลางวันมากกว่าบริเวณอื่นๆ นอกจากนี้ผีเสื้อกลางวันจะกินพืช และน้ำหวานจากพืชแล้ว ยังพบว่าผีเสื้อกลางวันกินแร่ธาตุอาหารที่อยู่ในดิน หากดินมีความชื้นสูงจะง่ายต่อการกินแร่ธาตุอาหารในดิน เนื่องจากปากของผีเสื้อกลางวันมีลักษณะเป็นปากแบบดูดกิน (Proboscis) (เกรียงไกร สุวรรณภักดี, 2556)

ชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ทั้งจำนวนชนิดและจำนวนตัวของผีเสื้อกลางวันสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pollard *et al.* (1993) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการพัฒนาของระยะตัวหนอน และดักแด้ โดยในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ตัวหนอนของผีเสื้อกลางวันพัฒนาเข้าสู่ระยะดักแด้เร็วขึ้น และอุณหภูมิมีผลต่อพฤติกรรมการหาอาหาร และการออกหากิน เนื่องจากผีเสื้อเป็นสัตว์เลือดเย็น (Ectotherm) อุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงทำให้สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้มีการทำงานของเมตาบอลิซึมของร่างกายที่มากขึ้น ส่งผลให้สัตว์มีกิจกรรมสูงขึ้นด้วย (Chaianunporn & Khoo-sakunrat, 2018) นอกจากนี้อุณหภูมียังสัมพันธ์กับแสงอาทิตย์ กล่าวคือแสงเป็นปัจจัยหลักของการออกหากินของผีเสื้อกลางวัน (Ratiwiriyaopong, 2004, Smallidge *et al.*, 1996)

การศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันกับจำนวนชนิดพืชในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวัน ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนชนิดพืช อย่างไรก็ตามงานวิจัยก่อนหน้ามีการรายงานว่า ความหลากหลายชนิดของพืชมีผลต่อการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวัน (Chaianunporn & Hovestadt, 2022) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างเฉพาะจำนวนชนิดของพืชในแต่ละแปลงเท่านั้น แต่ไม่ได้เก็บข้อมูลความถี่และการกระจายตัวของพืชที่อาจมีผลต่อความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนดังกล่าวในการศึกษาครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามจำนวนของผีเสื้อกลางวันที่พบมีความสอดคล้องกันกับจำนวนชนิดพืชของพืชที่พบในแหล่งอาศัยนั้นด้วย กล่าวคือ ในสถานีที่มีพบจำนวนชนิดของผีเสื้อสูงที่สุด ได้แก่ สถานีสวนร่วมเกล้ากล้วยพฤกษ์ก็พบจำนวนชนิดของพืชมากที่สุด (81 ชนิด) ด้วย และรองลงมาคือ สถานีโรงไฟฟ้าก็พบจำนวนชนิดของพืชเป็นอันดับสอง คือ 75 ชนิด และสถานีพิพิธภัณฑสถานชาติวิทยาที่พบจำนวนชนิดของผีเสื้อน้อยที่สุด ก็มีจำนวนชนิดของพืชน้อยที่สุด คือ 71 ชนิด เนื่องจากในตัวอ่อนของผีเสื้อกลางวันมักกินพืชเป็นอาหาร ส่วนตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำหวานจากดอกไม้ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอ่อนมักมีการกินพืชเป็นอาหารอย่างเฉพาะเจาะจงกับชนิดพันธุ์พืช (Connell, 1978, Honda & Kato, 2005) การที่พบพืชที่มีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้ผีเสื้อตัวอ่อนและตัวเต็มวัยมีโอกาสที่จะพบอาหารที่เหมาะสมได้มากขึ้นย่อมส่งผลให้มีความหลากหลายของผีเสื้อเพิ่มขึ้นด้วย

มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่า 5,600 ไร่ (896 เฮกเตอร์) พื้นที่บางส่วนยังคงเป็นพื้นที่ป่า ส่งผลให้มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง ถือเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของ

พืชและสัตว์หลากหลายชนิด ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำผีเสื้อกลางวันมาใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตในมหาวิทยาลัยขอนแก่น และพบผีเสื้อกลางวันมากกว่า 50 ชนิด และยังมีผีเสื้อกลางวันที่ยังไม่มีรายงานในการศึกษาก่อนหน้านี้ (กิตติ ดันเมืองปัก และคณะ (2560)) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในระดับพื้นที่ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น หรือการเปลี่ยนแปลงการแพร่กระจายของผีเสื้อที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลก ดังนั้นพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นจึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันในระยะยาวต่อไปในอนาคต รวมถึงการจัดการพื้นที่เพื่ออนุรักษ์พื้นที่ป่าไว้ให้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งหลบภัย และแหล่งอาหารของสัตว์นานาชนิด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศกุลตลา นิลแก้ว สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการตรวจสอบและยืนยันชนิดพืช และขอขอบคุณสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กิตติ ดันเมืองปัก และศิริภรณ์ ศรีโพธิ์. (2559). ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน ในเขตสวนป่านาบ่อ อำเภอนาหว้า จังหวัดเลย. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 3 (น. 366-371). สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

กิตติ ดันเมืองปัก, ศิริภรณ์ ศรีโพธิ์ และพิสุทธิ์ เอกอำนวยการ. (2560). ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอกุเรือ จังหวัดเลย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 37(1), 65-78.

ก่องกานดา สยามฤต. (2548). *ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้*. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

เกรียงไกร สุวรรณภักดิ์. (2556). *Thailand Butterfly Guide*. สารคดี.

เขตไทย ภูผาสุก. (2537). *การสำรวจผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. โครงการวิจัย. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชุตินันท์ ชูสาย, หิรัญ แสงแก้ว และ พัชรินทร์ ฤชวารักษ์. (2543). *โครงการจัดสร้างฐานข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพของผีเสื้อในมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. สถาบันวิจัย

และพัฒนามหาวิทยาลัยขอนแก่น: ฝ่ายข้อมูลข่าวสารการพัฒนาศาสนา วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐพงศ์ ขาววิสุทธิ. (2563). *ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน (Superfamily Papilionoidea) ในห้วยป่าในมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. โครงการวิจัย. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประนอม จันทรโณทัย. (2553). *ศึกษาพรรณไม้สวนร่วมเกล้า กัลปพฤกษ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

สุทธิ มลิตทอง. (ม.ป.ป.). *ผีเสื้อกลางวันในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). บริษัท เชียงใหม่ ดอควิเมนทารี ดีไซน์ จำกัด.

สันติไมตรี ก้อนคำดี. (2548). *การจำแนกวัชพืช*. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมาคมวิชาการวิชาพืชแห่งประเทศไทย. (2545). *วัชพืชสามัญภาคกลาง*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้พับบลิชชิง.

สิริกมล พลางาม และนิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์. (2564). ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันบริเวณห้วยหญ้าไคร้และห้วยพรมแล้งในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2(3), 79-94.

สุรัชย์ มัจฉาชีพ. (2538). *วัชพืชในประเทศไทย*. สำนักพิมพ์แพร่วิทยา.

สุรัชย์ ชลดำรงกุล และชลธร ชำนาญคิด. (2541). การใช้ผีเสื้อกลางวันเป็นตัวชี้ความหลากหลายทางชีวภาพของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. *วารสารเทคโนโลยีสุรนารี*, 5, 147-161.

อลงกรณ์ ผาผิง. (2551). *ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม*. รายงานวิจัย. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

โอฬาร ฤกษ์จุฬิมล. (2551). *ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในสวนรุกขชาติเขาพุทธรอง*. งานวิจัย. สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 4 กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

Chaianunporn, T. & Khoosakunrat, S. (2018). Relationship between lemon emigrant butterfly *Catopsilia pomona* (Lepidoptera: Pieridae) population dynamics and weather conditions in Khon Kaen Province, Thailand. *Tropical Natural History*, 18(2), 97-111.

- Chaianunporn, K. & Chaianunporn, T. (2019). Effects of habitat types on butterfly communities (Lepidoptera, Papilionoidea) in Chulabhorn Dam, Chaiyaphum Province, Thailand. *Tropical Natural History*, 19(2), 70-87.
- Chaianunporn, K. & Chaianunporn, T. (2022). Comparison of butterfly communities between agroecosystems and dipterocarp forest in Khon Kaen Province, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 56(5), 925-934.
- Chaianunporn, T. & Hovestadt, T. (2022). Emergence of spatially structured populations by area-concentrated search. *Evolutionary Ecology*, 12, e9528. <https://doi.org/10.1002/ece3.9528>
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, 4335(199), 1302-1309.
- Ek-Amnuay, P. (2012). *Butterflies of Thailand*. (2nd ed). Ammarin Printing and Publishing.
- Honda, K. & Kato, Y. (2005). *Butterfly Biology*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Jeratthitikul, E., Lewvanich, A., Butcher, B. A. & Lekprayoon, C. (2009). A Taxonomic Study of the Genus *Eurema* Hübner, [1819] (Lepidoptera: Pieridae) in Thailand. *Tropical Natural History*, 9, 1-20.
- Krebs, C. J. (1986). *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Molilanen, A., & Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics: Effects of habitat quality and landscape structure. *Ecology*, 79, 2503-2515. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079)
- Pollard, E. (1997). A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biological Conservation*, 12(2), 115-134.
- Pollard, E., Van-Swaay, C. A. M. & Yates, T. J. (1993). Changes in butterfly numbers in Britain and the Netherlands. *Ecological Entomology*, 18, 93-94.
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>. Campus. *Nota Lepidopterologica*, 30(1), 179-88.
- Ratiwiryapong, P. (2004). *Diversity of butterfly populations at Pha Kluai Mai-Haew Suwat waterfall trail, Khao Yai National Park, Thailand*. Thesis. Mahidol University.
- Smallidge, J. P., Leopold, J. D. & Allen, M. C. (1996). Community characteristics and vegetation management of Karner blue butterfly (*Lycaeides melissa samuelis*) habitats on rights-of-way in East-Central New York, USA. *Journal of Applied Ecology*, 33(6), 1405-1419.
- Stilley, J. A. & Gabler, C. A. (2021). Effects of patch size, fragmentation, and invasive species on plant and lepidoptera communities in Southern Texas. *Insects*, 12(9), 777. <https://doi.org/10.3390/insects12090777>
- Tiple A. D., Khurad, A. M. & Dennis, R. H. L. (2007). Butterfly diversity in relation to a human-impact gradient on an Indian University. *Nota Lepidopterologica*, 30(1)m 179-188

การพัฒนาาระบบตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

Development of oil palm tree's quality estimation by using image processing techniques from an unmanned aerial vehicle

ชลธิศา รัตนชู¹, ยรรยง สุรัตน์¹, พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์², ฮาบีบ บินอะหมัด¹ และ ฮัสซัน ดาโอ๊ะ^{1*}
Chonthisa Rattanachu¹, Yanyong Surat¹, Phanpen Thavornprasit², Habib Bin-ahmad¹
and Hassan Dao^{1*}

Received: 2 May 2023; Revised: 17 July 2023; Accepted: 23 August 2023

บทคัดย่อ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากผลผลิตจากปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ จึงทำให้เกษตรกรนิยมปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น เนื่องจากเป็นพืชที่เหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น ให้ผลผลิตที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี สร้างรายได้เป็นจำนวนมากให้กับเกษตรกรและมีทุนสนับสนุนจากภาครัฐ แต่ในขณะเดียวกันการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มในพื้นที่หลายไร่ อาจสร้างความลำบากให้กับเกษตรกร งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างระบบตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มภายในสวนปาล์ม เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถดูแลต้นปาล์มได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น ระบบใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับถ่ายภาพต้นปาล์มที่มีปริมาณมากจากมุมมองภาพด้านบน จากนั้นนำภาพไปใช้ในการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของต้นปาล์ม ด้วยการประยุกต์ใช้ดัชนี VARI (Visual Atmospheric Resistance Index) โดยข้อมูลภาพเหล่านั้นจะถูกประมวลผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล และทำการคำนวณดัชนี VARI จากภาพ ระบบสามารถแยกคุณภาพของต้นปาล์มได้สี่ระดับ เพื่อให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบต้นปาล์มที่มีความเสียหายภายในสวนปาล์ม ที่อาจจะเกิดจากปัญหาสภาพอากาศและสารอาหารเป็นต้น จากผลการทดสอบพบว่าระบบตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มมีความถูกต้อง 91.18%

คำสำคัญ: ต้นปาล์ม, การตรวจสอบคุณภาพ, ดัชนี VARI, การประมวลผลภาพดิจิทัล

Abstract

Oil palm is an important crop in Thailand, valuable particularly in industry. Oil palm is an important component in various manufacturing industries. As a result, farmers are producing increasing amounts of palm oil. The palm oil plant suitable is suitable for hot and humid climates and the product can be harvested throughout the year. It is a plant that generates a lot of income for farmers and the government has funds to support cultivation. However, monitoring the health of palm trees over large areas can be difficult for farmers. This research aims to create a monitoring system for the health of palm trees within the palm plantation and to help farmers to monitor palm trees more conveniently. The system used unmanned aerial vehicles to capture a large area of palm trees from above. The images were then used to analyze the health of palm trees with index VARI (Visual Atmospheric Resistance Index). The images were subjected to digital image processing technique and then the VARI index was calculated. The system could be distin-

¹ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000

² สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand, 96000

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand, 96000

* Corresponding author: hassan@pnu.ac.th

guish four levels of palm quality used to inspect damaged palm trees within the palm plantation. The damage may have been caused by weather and nutrient problems, etc. The experimental results showed that the palm oil monitoring system had an accuracy about 91.18%.

Keywords: Oil palm trees, quality analysis, VARI index, digital image processing

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในยุคนี้ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในธุรกิจน้ำมันพืชเพื่อการบริโภคในครัวเรือน และยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายอุตสาหกรรม เช่น สบู่ นมข้นหวาน เนยเทียม ระเบิดกึ่งสำเร็จรูป เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลซึ่งใช้ผลปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน พื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีสภาพอากาศที่เหมาะสมเพื่อการปลูกปาล์มน้ำมันเพราะเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุก

ในจังหวัดนราธิวาสมีพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญอยู่ 4 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ยางพารา ข้าว ปาล์มน้ำมัน และ มะพร้าว ซึ่งเกษตรกรในจังหวัดนราธิวาส ก็หันมาปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตทั้งปี และเมื่อปลูกแล้วจะได้รับผลผลิตตั้งแต่ปีที่ 3 ของการปลูก เป็นต้นไป จนถึงอายุ 20 ปี (กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564) เนื่องจากการปลูกปาล์มน้ำมัน มักจะปลูกพื้นที่ที่มีหลายไร่ เพื่อสามารถปลูกได้หลายๆ ต้นเพื่อการันตีผลผลิตและคุ้มทุน จึงทำให้การตรวจความสมบูรณ์ของต้นปาล์มแต่ละต้นนั้นค่อนข้างลำบากและเสียเวลาเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกษตรกรจำเป็นต้องเดินตรวจที่ละต้นเพื่อตรวจความผิดปกติที่เกิดขึ้น ปัจจุบันมีการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพืชต่าง ๆ ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ คำนวณด้วยโปรแกรมประเภทจัดการข้อมูล GIS (geographic information system) (สุจิตรา, 2561) ซึ่งการใช้โปรแกรมดังกล่าว เหมาะสมกับการพื้นที่การเกษตรที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ เช่น ระดับภาค หรือประเทศ และภาพที่ได้จากดาวเทียมมีความละเอียดน้อย แต่ด้วยการตรวจสอบสุขภาพของต้นปาล์มในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก และวิเคราะห์เป็นรายต้นเท่านั้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มรายต้น ที่สามารถแบ่งได้ 4 ระดับ จึงเหมาะสำหรับการนำภาพถ่ายมุมสูงที่ถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle) ที่มีข้อดี คือ ภาพมีความละเอียดสูง เป็นภาพแบบเรียลไทม์ สามารถบินไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ และไม่มีเมฆปรากฏบนภาพ ผู้วิจัยจะนำภาพมาประมวลผลด้วยอัลกอริทึมที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นมา ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (image processing) ด้วยไลบรารี OpenCV มาประยุกต์ในการตรวจความสมบูรณ์ของต้นปาล์มในสวนปาล์ม

พื้นที่สวนปาล์มสำหรับการศึกษาการตรวจความสมบูรณ์ของต้นปาล์มของงานวิจัยนี้ จะใช้บริเวณสวนปาล์มของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ตั้งตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส เนื่องจากเป็นพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย ดังแสดงเป็นภาพมุมสูง ดัง Figure 1 (A) ซึ่งต้นปาล์มในพื้นที่ศึกษาจะมีอายุประมาณ 10 ปี ดัง Figure 1 (B) ลักษณะของต้นปาล์มที่มีความสมบูรณ์ ลักษณะทั่วไปจะเป็นไม้ยืนต้น มีลำต้นและใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีสีเขียวทั้งต้น เมื่อมองจากมุมสูง ดัง Figure 2 ซึ่ง Figure 2 (A) แสดงถึงความสมบูรณ์และไม่มีโรค ผู้วิจัยทำการตรวจจับลักษณะของต้นปาล์มแล้วนำมาวิเคราะห์ความสมบูรณ์ แบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับต้นปาล์มที่มีความสมบูรณ์ดี ลักษณะปรากฏดัง Figure 2 (A) ระดับความสมบูรณ์ปานกลางที่มีลักษณะดัง Figure 2 (B) ระดับต้นปาล์มที่มีความทรุดโทรมดัง Figure 2 (C) และระดับต้นปาล์มที่มีแย่ดัง Figure 2 (D) โดยใช้ภาพถ่ายมุมสูงมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งภาพต้นปาล์มน้ำมันที่ไม่มีมีความสมบูรณ์ ใบจะมีสีน้ำตาล เพื่อให้เกษตรกรแก้ปัญหาของโรคนั้นได้ต่อไป ซึ่งโรคที่ปาล์มน้ำมันที่พบ เช่น โรคใบไหม้ โรคลำต้นเน่า หนอนหน้าแมว และปัญหาด้านวัชพืช เมื่อเกษตรกรพบเจอต้นที่เป็นโรคใบไหม้ จำเป็นต้องนำต้นดังกล่าวมาแยกออกจากต้นอื่น ๆ และเผาทำลาย (นพพร ชูทอง และคณะ, 2558)



(A)



(B)

Figure 1 The palm plantation area that will be used for testing from Google Maps.



Figure 3 A bird's-eye view of a multi-level palm grove at 30 – 70 meters from the ground when taken with an unmanned aerial vehicle.

การทดลอง

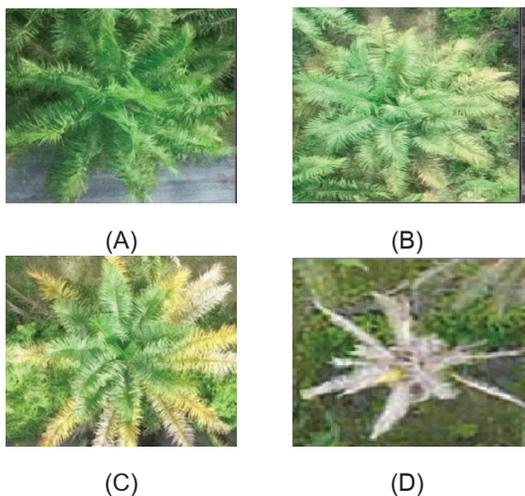
อุปกรณ์การทดลอง

ผู้วิจัยใช้ภาพในมุมมองสูงของสวนปาล์มที่ถ่ายโดยอากาศยานไร้คนขับที่บินอยู่ที่ความสูง ตั้งแต่ 30 - 70 เมตรจากระดับพื้นดินในพื้นที่สวนปาล์มที่มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ดัง Figure 3 การถ่ายภาพใช้กล้องที่ติดอยู่ดั้งเดิมกับอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom Pro 4 V2 ซึ่งเป็นกล้องย่าน RGB นำภาพที่ถ่ายมานำไปประมวลผลในโปรแกรมภาษาซีพลัสพลัสด้วยโปรแกรม Visual Studio Code 2020 ที่มีไลบรารี OpenCV 4.2.0

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของพืชพรรณ

การประเมินความสมบูรณ์ของต้นปาล์ม โดยใช้ภาพถ่ายสามารถทำได้โดย การตรวจหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI (normalized difference vegetation index) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้กันมากในปัจจุบัน มีหลักการคือ ใช้ค่าการสะท้อนในช่วงแบนด์สีแดงหรือช่วงที่ตามองเห็นแสงสีแดง และการสะท้อนในช่วงอินฟราเรดใกล้ Near Infrared NIR มาคำนวณตามสมการที่ (1) โดยปกติพืชที่มีความสมบูรณ์ (ใบสีเขียวสด) จะมีค่า NIR สูงกว่าค่า Red มาก และพืชที่ไม่มีความสมบูรณ์ (ใบสีน้ำตาล) จะมีค่า NIR ที่มีค่าใกล้เคียงกับ Red

ปัจจุบันได้มีการนำค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI มาใช้กันอย่างหลากหลาย เช่น งานวิจัย ได้วิเคราะห์สุขภาพของต้นปาล์มด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ NDVI กับธาตุอาหารในดินของสวนปาล์ม ได้แก่ ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยใช้ภาพถ่ายเทียมในการวิจัยโดยสร้างแบบจำลองการถดถอยระหว่างสภาพต้นปาล์มน้ำมันและธาตุอาหารในดินเพื่อกำหนดความสมบูรณ์



(A)

(B)

(C)

(D)

Figure 2 Image of palm health at different levels.

ของต้นปาล์ม (Faradina et al., 2020)

งานวิจัยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อตรวจสอบความเขียวขจีหรือความสมบูรณ์ของพืชพรรณ โดยพิจารณาค่าอินฟราเรดใกล้ (NIR) จากสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ร่วมกับค่า PH และธาตุอาหารในดินได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มาสร้างความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้รับระยะไกล (Faradina et al., 2016)

งานวิจัยตรวจสอบพื้นที่เพาะปลูกต้นปาล์มจากภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยการใช้ดัชนี NDVI และ SAVI เพื่อวิเคราะห์สุขภาพของต้นปาล์ม โดยใช้ความสัมพันธ์สมการการถดถอยระหว่างค่าความสมบูรณ์ของพืชพรรณจากค่าดัชนี NDVI ค่าปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ค่าดัชนี SAVI และค่าอุณหภูมิ เพื่อให้เกษตรกรรายย่อย ในการติดตามสถานะสุขภาพของต้นปาล์ม (Andrew et al., 2019)

งานวิจัยตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นปาล์มเพื่อหาบริเวณที่ไม่มีการเจริญเติบโต หรือเติบโตน้อยกว่าบริเวณอื่นโดยใช้ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้ค่าดัชนี NDVI และดัชนี NDRE ที่จะต้องใช้ค่าสีในย่านสีแดง (red) สีเขียว (green) สีน้ำเงิน (blue) อินฟราเรด (NIR) และของสีแดง (REDGE) เพื่อวิเคราะห์ภาพให้ได้บริเวณที่มีคลอโรฟิลล์ต่ำ ซึ่งจะหมายถึงปริมาณไนโตรเจนต่ำ ความสมบูรณ์ของพืชต่ำ และได้ทำการเปรียบเทียบค่าดัชนี NDVI และดัชนี NDRE พบว่า ดัชนี NDRE มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบพื้นที่ที่มีพืชพันธ์ที่เติบโตได้ไม่เต็มที่ ที่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา (Boris & Hideo, 2019)

ซึ่งค่าดัชนี NDVI สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

เมื่อ NDVI คือ ดัชนีพืชพรรณโดยวิธี Normalized Difference Vegetation Index

NIR คือ ช่วงคลื่นสีแดงใกล้หรืออินฟราเรดใกล้

RED คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นแสงสีแดง

จากสมการ (1) จะได้ผลลัพธ์ที่มีค่า ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งเป็นช่วงที่แสดงถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณที่มีคุณภาพ แยกที่สุดถึงช่วงที่ดีที่สุด สามารถแปลผลได้ว่า ค่า -1 ถึง 0 คือไม่มีพืชพรรณใบเขียวในพื้นที่ที่พิจารณา อาจเป็นพื้นผิวน้ำ หิน เป็นต้น ค่า 0.1 ถึง 0.2 หมายถึงเป็นที่ดินเปล่าไร้สิ่งปกคลุม ค่า 0.2 ถึง 1 เป็นพื้นที่ของพืชปกคลุม ซึ่งค่า 0.8 ถึง 1 หมายถึงพืชพรรณใบเขียวมีความหนาแน่นในพื้นที่ เป็นต้น หรือแบ่งช่วงความหมายตามพื้นที่วิจัย

แต่เนื่องจากการใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ที่จำเป็นต้องนำค่า NIR มาคำนวณ จำเป็นต้องใช้กล้องอินฟราเรดที่มี

ราคาสูง ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้ค่าดัชนี VARI (visible atmospherically resistant index) ซึ่งคำนวณค่าสีในช่วงคลื่นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน (RGB) ที่ได้จากกล้องอากาศยานไร้คนขับทั่วไปหรือกล้องจากอากาศยานไร้คนขับที่มีราคาถูกกว่ากล้องอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น และการใช้กล้องอากาศยานไร้คนขับจะมีความสะดวกในการถ่ายภาพสวนปาล์มจากมุมสูง ซึ่งเป็นการเก็บรายละเอียดได้ในบริเวณกว้าง ซึ่งค่า VARI เป็นการประยุกต์ใช้มาจากค่าดัชนีพืชพรรณ ที่มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าดัชนี NDVI (Tom & Paul, 2017) ซึ่งในงานวิจัยก็ใช้ค่าดัชนี VARI ในการประเมินความสมบูรณ์ของพืช แต่จะใช้คาดการณ์ในบางกรณีเท่านั้น

งานวิจัย (Medina et al., 2020) ได้พัฒนาแผนที่สุขภาพของต้นปาล์มน้ำมันโดยใช้ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ โดยสร้างจุดคลาวด์บนแผนที่ต้นปาล์มด้วยโมเดล DSM (digital surface model) และใช้ภาพแบบออร์โธโพรเจกต์ คือภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากการเอียง ของกล้องถ่ายภาพอากาศและความแตกต่างของความสูง หรือเรียกว่าภาพถ่ายแนวตั้งจริง ที่มีต้นปาล์มเพื่อสร้างจุดเป็นแบบเวกเตอร์ และคำนวณค่า VARI ให้กับแต่ละพิกเซลเพื่อเป็นการตรวจสอบสุขภาพของต้นปาล์ม ได้ 4 สถานะ ได้แก่ ต้องตรวจสอบ สุขภาพกำลังแย่ สุขภาพปานกลาง และสุขภาพดี

ซึ่งค่าดัชนี VARI สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$VARI = (G - R) / (G + R - B) \quad (2)$$

เมื่อ G คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียว

R คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง

B คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

การระบุคุณภาพของต้นปาล์มด้วยค่าดัชนี VARI นั้นจะแยกเป็นช่วงคุณภาพนั้นก็คือ ต้นปาล์มที่มีคุณภาพที่แย่มากที่สุดจนถึงค่าที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 เช่นเดียวกับผลลัพธ์การคำนวณของค่าดัชนี NDVI

วิธีดำเนินการวิจัย สามารถนำเสนอขั้นตอนได้ตามแผนภาพดัง Figure 4 โดยผู้วิจัยจะใช้ภาพในมุมสูงของสวนปาล์มที่ถ่ายโดยอากาศยานไร้คนขับที่บินอยู่ที่ความสูง ตั้งแต่ 30 - 70 เมตรจากระดับพื้นดินในพื้นที่สวนปาล์มที่มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ การถ่ายภาพใช้กล้องที่ติดอยู่ดั้งเดิมกับอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom Pro 4 V2 ซึ่งเป็นกล้องย่าน RGB ที่ตั้งค่าความละเอียดของภาพ 1,280 x 720 พิกเซล นำภาพที่ถ่ายมานำไปประมวลผลในโปรแกรมภาษาซีพลัสพลัส ด้วยโปรแกรม Visual Studio Code 2020 ที่มีไลบรารี OpenCV 4.2.0 สำหรับงานประมวลผลภาพซึ่งพัฒนาโดย

บริษัทอินเทล โดยมาการโหลดภาพเข้ามาในโปรแกรม เข้าสู่กระบวนการ Pre-Processing การเลือกต้นปาล์มที่ต้องการตรวจสอบ การแยกช่องสี RGB การตัดพื้นหลัง การคำนวณดรชนี้พีชพรรณ VARI และการหาค่าเฉลี่ยของ VARI

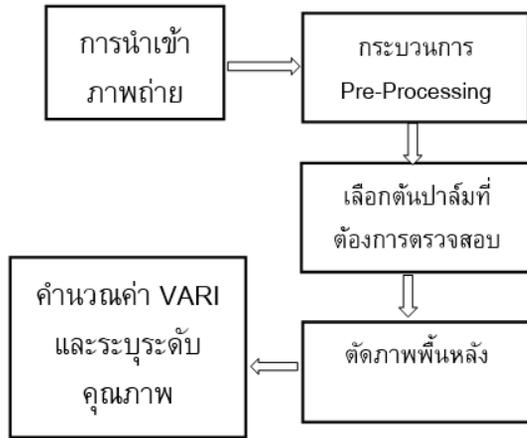


Figure 4 The diagram showing research methodology.

จาก Figure 4 กระบวนการเริ่มต้นจะต้องนำเข้าถ่ายภาพสวนต้นปาล์มในมุมมองสูงในโปรแกรม จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ(pre-processing) เบื้องต้นเพื่อลดสัญญาณรบกวน จากนั้นทำการเลือกต้นปาล์มที่จะนำไปตรวจสอบ ซึ่งจะต้องทำด้วยวิธี Region of Interest โดยที่จะต้องครอบคลุมทั้งต้นปาล์มและให้พอดีกับปลายก้านใบของปาล์ม หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการตัดภาพอัตโนมัติเพื่อนำภาพนั้นไปประมวลผล ดัง Figure 5 จากนั้นโปรแกรมจะตัดพื้นหลังโดยการกำหนดส่วนที่เป็นเฉพาะบริเวณต้นปาล์มเพื่อไปคำนวณค่าเฉลี่ย VARI

จากนั้นภาพต้นปาล์มที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้ จะถูกนำมาแยกช่องสี เนื่องจากเดิมนั้นเป็นภาพ RGB เมื่อแยกช่องสีจะได้ทั้งหมดสามช่องสีนั่นก็คือ ช่องสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน นำไปคำนวณค่าดัชนี VARI ของแต่ละจุดสี ตามสมการที่ 2



Figure 5 Choosing the palm oil tree to examine.

จากนั้น การคำนวณค่าเฉลี่ย VARI เพื่อนำค่าเฉลี่ยนี้ไปใช้ในการแยกคุณภาพของต้นปาล์ม โดยการคำนวณจะใช้สูตรหาค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 3

$$VARI_{avg} = \frac{\text{sum of VARI values}}{\text{Total number of pixel}} \quad (3)$$

โดยที่ $VARI_{avg}$ คือ ค่า VARI เฉลี่ย, sum of VARI values คือผลรวมของค่า VARI แต่ละพิกเซลในภาพต้นปาล์มที่เลือกทั้งหมด และ Total number of pixel คือจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพต้นปาล์มที่เลือก

และขั้นตอนสุดท้ายจะต้องการระบุคุณภาพของต้นปาล์มนั้นจะแยกเป็น 4 ระดับ นั่นก็คือ ต้นปาล์มที่มีคุณภาพดี ปานกลาง ทрудโทรม และแย่ โดยที่สามารถจำแนกคุณภาพของต้นปาล์มได้จาก

- 1) ต้นปาล์มที่มีคุณภาพดี คือค่าดัชนี VARI ที่มากกว่า 0.268167
- 2) ต้นปาล์มที่มีคุณภาพปานกลาง คือ ค่าดัชนี VARI ที่มีค่าระหว่าง 0.268167 และ 0.15065
- 3) ต้นปาล์มที่มีคุณภาพทรุดโทรม คือ ค่าดัชนี VARI ที่มีค่าระหว่าง 0.15065 และ 0.069949
- 4) ต้นปาล์มที่มีคุณภาพแย่ คือ ค่าดัชนี VARI ที่มีค่าน้อยกว่า 0.069949 เช่นเดียวกับงานวิจัย (Medina et al., 2020)

Figure 6 แสดงตัวอย่างการรันโปรแกรม โดยรูปที่ 6 (A) แสดงตัวอย่างการเขียนโค้ดโปรแกรม และรูป Figure 6 (B) แสดงผลการรันโปรแกรมที่ประกอบด้วย ภาพนำเข้า กระบวนการเลือกต้นปาล์มที่ต้องการตรวจสอบ ภาพ VARI ค่าเฉลี่ยดัชนี VARI และผลการแปลข้อมูล จำแนกคุณภาพต้นปาล์มที่มีคุณภาพแย่และมีสีแดงแจ้งเตือนผู้ใช้งาน

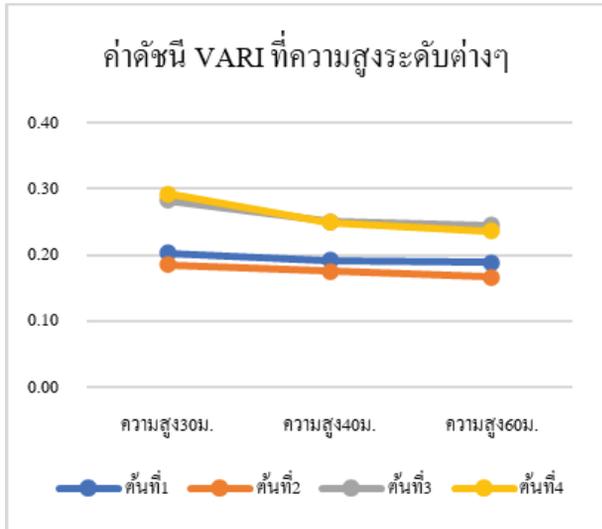


Figure 7 The graphs show the relationship between a height of camera and VARI of palm trees.

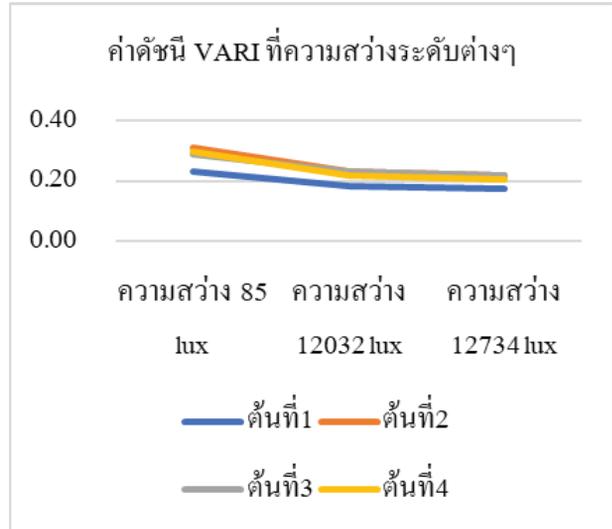


Figure 8 The graphs show the relationship between a brightness and VARI of palm trees.

Table 1 The examples of palm oil tree's quality from using the VARI index application.

Input image	Input image	Selected tree	VARI	Quality	VARI Average	Correctness
1				Poor	0.06188	✓
2				Poor	0.05874	✓
3				Dilapidated	0.14536	✓
4				Intermediate	0.209475	✓
5				Intermediate	0.184105	✓

Table 1 The examples of palm oil tree's quality from using the VARI index application. (Continue)

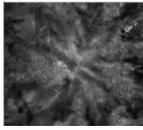
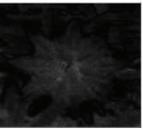
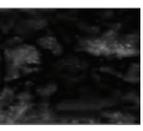
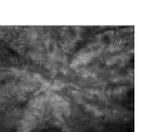
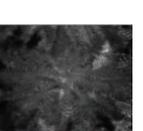
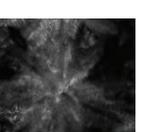
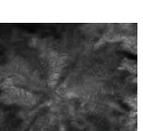
Palm tree	Input image	Selected tree	VARI	Quality	VARI Average	Correctness
6				Good	0.288817	√
7				Poor	0.0526196	√
8				Poor	0.0466304	√
9				Good	0.3233	√
10				Intermediate	0.225365	√
11				Intermediate	0.197352	√
12				Intermediate	0.248375	√

Table 2 The examples of palm oil health from using the VARI index application at difference level of height above ground.

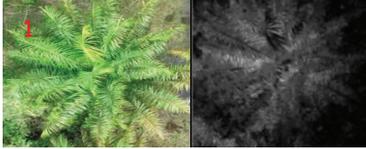
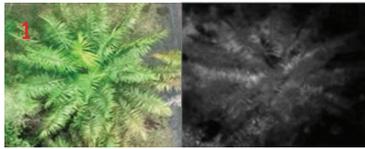
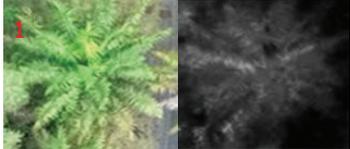
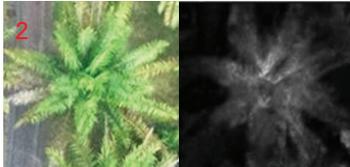
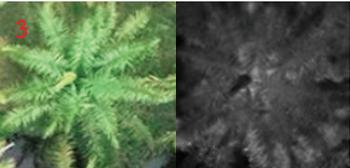
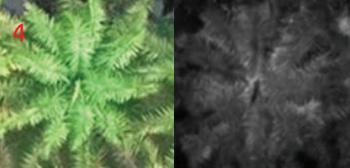
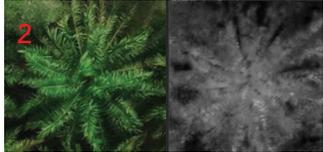
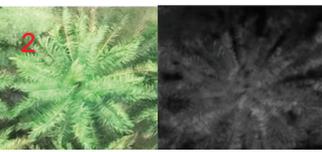
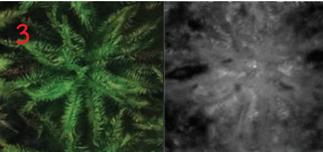
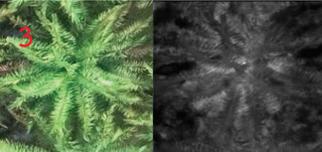
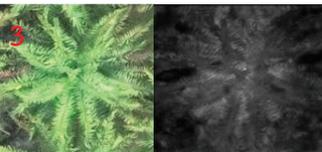
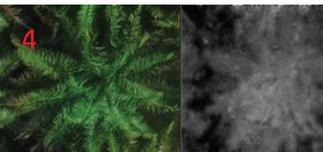
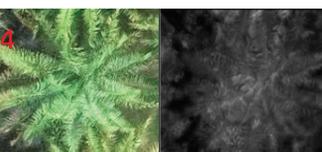
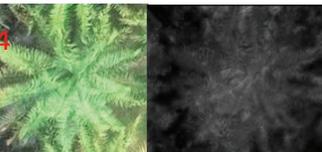
Height 30 meters	Height 40 meters	Height 60 meters
		
 <p>VARI=0.202544 Correct</p>	 <p>VARI=0.191861 Correct</p>	 <p>VARI=0.18872 Correct</p>
 <p>VARI=0.184669 Correct</p>	 <p>VARI=0.175068 Correct</p>	 <p>VARI=0.16576 Correct</p>
 <p>VARI=0.28248 Correct</p>	 <p>VARI=0.250019 Incorrect</p>	 <p>VARI=0.244466 Incorrect</p>
 <p>VARI=0.291983 Correct</p>	 <p>VARI=0.249136 Incorrect</p>	 <p>VARI=0.23551 Incorrect</p>

Table 3 The examples of palm oil health from using the VARI index application at difference brightness level.

Brightness of 85 lux	Brightness of 12032 lux	Brightness of 12734 lux
		
 VARI=0.232832 Correct	 VARI=0.182372 Correct	 VARI=0.172104 Correct
 VARI=0.311393 Incorrect	 VARI=0.231212 Correct	 VARI=0.218147 Correct
 VARI=0.287523 Incorrect	 VARI=0.232111 Correct	 VARI=0.216175 Correct
 VARI=0.2971 Incorrect	 VARI=0.216961 Correct	 VARI=0.204409 Correct

นอกจากนี้ แสดงตัวอย่างผลการทดสอบความสมบูรณ์ของต้นปาล์มด้วยการประยุกต์ใช้ดัชนีพีชพรรณ ที่ระดับความเข้มของแสงสว่าง (Illuminance) หรือลักซ์ ที่ระดับต่างๆ และต้นปาล์มต้นเดียวกัน ว่ามีผลต่อค่าดัชนี VARI หรือไม่ ตาม Table 3 ได้ทำการทดสอบในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ที่มีความสว่างน้อยในช่วงเวลาเช้ามีดหรือก่อนค่ำ ที่ความสว่าง 85 ลักซ์ ความสว่างปานกลาง ช่วงสายของวัน ที่ค่าความสว่าง 12032 ลักซ์ และทดสอบที่ความสว่างมาก เช่น ในช่วงเที่ยงที่ความสว่าง 12734 ลักซ์ จากตัวอย่างต้นปาล์มที่เลือกเป็นต้นเดียวกัน ค่าดัชนี VARI ที่คำนวณได้จากโปรแกรมต้นที่ 1 พบว่า ที่ความสว่างน้อย มีค่าดัชนี VARI 0.2328 ที่ความสว่างปานกลาง มีค่าดัชนี VARI 0.1823 และที่ความสว่างน้อยมีค่าดัชนี VARI 0.1721 และเมื่อสังเกตค่าดัชนี VARI ต้นปาล์มต้นที่ 2 ความสว่างน้อย มีค่าดัชนี VARI 0.3113 ที่ความสว่างปานกลาง มีค่าดัชนี VARI 0.2312 และที่ความสว่างน้อยมีค่าดัชนี VARI 0.2181 จะเห็นได้ว่าค่าความสว่างมากขึ้น จะทำให้ค่าดัชนี VARI ลดลง ทั้ง 4 ตัวอย่างต้นปาล์ม เนื่องจากภาพที่มีความสว่างมากขึ้น ความคมชัดของภาพจะน้อยลง ดัง Figure 8 และเมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องของการแปลผลค่า VARI ซึ่งต้นปาล์มทั้ง 4 ต้นมีสุขภาพปานกลาง พบว่า ต้นที่ 1 มีความถูกต้องที่ความสว่างทุกระดับ แต่ต้นที่ 2-4 ที่ค่าความสว่าง 85 ลักซ์ มีค่าไม่ถูกต้อง แต่ค่าความสว่าง 12032 และ 12734 ลักซ์ มีความถูกต้อง

สรุป

งานวิจัยการประยุกต์ดัชนีพีชพรรณเพื่อการวิเคราะห์สวนปาล์มโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ได้สร้างโปรแกรม เพื่อทำการวิเคราะห์สวนปาล์มให้ได้ทราบถึงคุณภาพของต้นปาล์มนั้นๆ จะใช้ชุดข้อมูลจากภาพที่ถ่ายจริงจากสวนปาล์มคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จำนวนต้นปาล์มที่ทำการศึกษา 34 ต้น ทดสอบความแม่นยำของระบบที่ความสูง 40 เมตร และค่าความสว่างที่แตกต่างกัน ทำการทดสอบ พบว่าระบบมีความแม่นยำ 91.18% และทดสอบที่ระดับความสูงของอากาศยานไว้คนขับที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าค่าดัชนี VARI ต้นปาล์มจะมีค่าน้อยลงเมื่อเมื่อมุมมองของกล้องมีระยะสูงขึ้น และเมื่อทดสอบที่ความสว่างแตกต่างกัน สรุปได้ว่าค่าความสว่างมากขึ้น จะทำให้ค่าดัชนี VARI ลดลง อาจทำให้การแปลผลผิดพลาดได้ และที่ความสว่างน้อย จะทำให้ค่าดัชนี VARI เพิ่มขึ้น อาจจะทำให้การแปลผลเกิดความผิดพลาดได้เช่นกัน ดังนั้นควรตั้งค่าตำแหน่งความสูงของอากาศยานไว้คนขับและความสว่างให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจน ดังนั้น

ระบบสามารถใช้เทคนิคการประมวลผลจากค่า VARI เพื่อตรวจสอบว่าต้นปาล์มนั้นมีคุณภาพที่ดีหรือไม่ โดยเกษตรกรสามารถนำไปใช้เพื่อเก็บข้อมูลเชิงสถิติคุณภาพต้นปาล์มเบื้องต้นภายในสวนปาล์ม และสามารถนำไปประกอบการดูแลสวนปาล์มเพื่อเพิ่มผลผลิตจากปาล์มมากขึ้นได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และงบประมาณ สำหรับการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในการวิจัยที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). *แนวทางการส่งเสริมการเกษตรที่เหมาะสมตามฐานข้อมูลแผนที่เกษตรเชิงรุก AGRI-MAP จังหวัดนราธิวาส*. <https://www.idd.go.th/Agri-Map/Data/S/nwt.pdf>
- นพพร ชูบทอง, สุวิสา พัฒนเกียรติ, พัฒนา สุขประเสริฐ, รุจีพัชร บุญจริง. (2558). การยอมรับเทคโนโลยีการปลูกปาล์มน้ำมันของเกษตรกร อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 10(3), 53-63.
- สุจิตรา เจริญหิรัญยิ่งยศ. (2561). ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างดัชนีพีชพรรณกับผลผลิตปาล์มน้ำมัน จากทะเลสาบผลสดด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท 8. *วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 21, 235-247.
- Andrew, F.W., & S.A.A. S. (2019). Oil palm plantation from satellite image. *IOP conference series earth and environmental science*.
- Boris, B., & Hideo, H. (2019). Comparison of NDVI and NDRE indices to detect differences in vegetation and chlorophyll content. *International Conference on Applied Science, Technology and Engineering* (pp. 20-29).
- Faradina, M., Aina, L.E., & Sharifah, N.B. (2016). Detecting nutrients deficiencies of oil palm trees using remotely sensed data, *IOP conference series earth and environmental science*.

- Faradina, M., Nur, N.R., & Rosnan, Md, A.M. (2020), Healthiness of oil palm plantation towards sustainability of environment. *Malaysian Journal of Sustainable Environment*, 7(1), 21-36.
- Tom, M., & Paul, H. (2017). Comparing RGB-Based vegetation indices with NDVI For drone based agricultural sensing. *Agrobotix*, 8(4), 2592-2601.

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองโดยการใช้กฎความสัมพันธ์

Factors analysis affecting stroke disease revealed using association rules

อาทิตยาพร โรจรัตน์¹, ธนโชติ จันทมา², วิลไพร ศรีรัตน์², ณัฐวานี มุขภักดี², กรกฎ คำวิไส² และ โอพาริก สุรินตะ^{1*}
Artitayaporn Rojarath¹, Thanachote Jantama², Wilaiporn Srirat², Nattawanee Mookpakdee², Kohrakod khumwiso² and Olarik Surinta^{1*}

บทคัดย่อ

จากการสำรวจของสมาคม World Stroke Organization พบว่าในปัจจุบันผู้คนจำนวน 20 ล้านคนต่อปีไม่ว่าจะเป็นวัยทำงานหรือวัยของผู้สูงอายุกำลังประสบปัญหาโรคหลอดเลือดสมอง ซึ่งสาเหตุของการเกิดโรคหลอดเลือดสมองเกิดจากการใช้ชีวิตในสังคมและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ คนในครอบครัวมีประวัติการเป็นโรคหลอดเลือดสมอง ความเครียดจากการทำงาน พฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวัน และการรับประทานอาหาร ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น อาการตาพร่ามัว อาการชาครึ่งซีก อาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ และใบหน้าเบี้ยว ดังนั้น การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคจึงมีความสำคัญต่อการช่วยเหลือบุคคลในการหลีกเลี่ยงพฤติกรรมเสี่ยงที่จะทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่อาจนำไปสู่โอกาสของการเกิดโรคหลอดเลือดสมองด้วยการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ขั้นตอนวิธี Apriori ซึ่งการวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดให้มีค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.27 และ 0.25 ตามลำดับ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากที่สุด จากการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดโรคหลอดเลือดสมองประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย คือ ดัชนีมวลกาย สถานภาพการแต่งงาน ประเภทของงาน โรคหัวใจ และอายุ นอกจากนี้ ยังทำการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยวิธี Gain Ratio กำหนดค่า Gain Ratio ที่ 0.05 จากการทดลองพบว่าวิธี Gain Ratio คัดเลือกปัจจัยหลักจำนวน 5 ปัจจัย โดยเรียงตามลำดับ ดังนี้ อายุ ดัชนีมวลกาย สถานภาพการแต่งงาน โรคความดันโลหิต และโรคหัวใจ ทั้งนี้พบว่าปัจจัยที่เลือกด้วยวิธี Gain Ratio นั้นส่วนใหญ่ตรงกับปัจจัยที่ได้จากวิธีการหากฎความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Apriori จึงสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่คัดเลือกมาทั้ง 5 ปัจจัยส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง

คำสำคัญ: โรคหลอดเลือดสมอง, กฎความสัมพันธ์, ขั้นตอนวิธี Apriori, การคัดเลือกคุณลักษณะ, วิธี Gain Ratio

Abstract

The World Stroke Organization (WSO) survey found 20 million people working age and elderly annually were at risk of stroke. Several factors can affect the risk of stroke, including family history, work stress, lifestyle, and diet. These factors can be intensified by living in an ever-changing society and environment. When the symptoms of a stroke (such as blurred vision, hemiplegia, myasthenia gravis, and Bell's palsy) significantly impact daily life it is crucial to get medical attention. So, it is essential to analyze relevant factors to assist individuals to avoid behaviors that may contribute to the risk of a stroke. This research aims to analyze the risk factors that may yield an opportunity for stroke

¹ อาจารย์ หน่วยวิจัยห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนต์ ระบบอัจฉริยะ และการจำลองสถานการณ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150 ประเทศไทย

² นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150 ประเทศไทย

¹ Lecturer, Multi-agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL) Research Unit, Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand

² Bachelor Student, Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand

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

with association mining rules using the Apriori algorithm. For the experiment, the Apriori algorithm was used to compute and determine the support and confidence values as 0.27 and 0.25, respectively. This research identified the top five factors contributing to stroke: body mass index (BMI), ever-married, work type, heart disease, and age. We then used the gain ratio technique to select features with a gain value of 0.05. The gain ratio algorithm selected the following significant factors: age, body mass index (BMI), ever-married, hypertension, and heart disease, respectively. The experimental results showed that the factors selected using the Gain ratio method were the same as the factors chosen by the Apriori algorithm. Consequently, the five chosen factors significantly impact the cause of stroke.

Keywords: Stroke disease, association rules, Apriori algorithm, feature selection, gain ratio technique

บทนำ

องค์การหลอดเลือดสมองโลก (World Stroke Organization, 2020) ได้ประกาศว่าโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) ที่สมองขาดเลือดทำให้มีเลือดออกในสมองจากการที่หลอดเลือดสมองตีบเมื่อหลอดเลือดสมองตีบส่งผลโดยตรงทำให้เกิดจากการอุดตันในเส้นเลือดและไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังสมองได้ส่งผลให้เซลล์สมองขาดออกซิเจน จึงเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตในที่สุด โรคหลอดเลือดสมองยังเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะทุพพลภาพที่สำคัญเป็นอันดับต้น ๆ (กิตติศักดิ์ ขำจิตร และคณะ, 2565; ขวัญชนก เทพปิ่นและปัทมา สุพรรณกุล, 2563; อุดม สุทธิพนไพศาล, 2563) ทั้งนี้ โอบาส การย์กวิพงษ์ (2564) ได้ระบุว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองทั่วโลกมีจำนวนมากถึง 13.7 ล้านคนต่อปี โดยจำนวน 1 ใน 4 มีอายุ 25 ปีขึ้นไป และในจำนวนนี้มีผู้พิการถาวรมากถึง 5 ล้านคน โดยในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมา มีจำนวนผู้เสียชีวิตประมาณ 5.5 ล้านคนที่เสียชีวิตด้วยโรคนี้ ซึ่งพบว่าสาเหตุการเสียชีวิตอันดับสองของประชากรกลุ่มอายุมากกว่า 60 ปีทั่วโลกเกิดจากโรคหลอดเลือดสมอง คาดการณ์ว่าในอนาคตปริมาณผู้ป่วยที่เสียชีวิตด้วยโรคหลอดเลือดสมองจะมากขึ้นถึง 2 เท่าเมื่อเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2553-2563 สถานการณ์โรคหลอดเลือดสมองในประเทศไทย จากรายงานสถิติสาธารณสุขกระทรวงพบว่า อัตราผู้ป่วยด้วยโรคหลอดเลือดสมองต่อประชากรแสนคน ปี 2559-2561 เท่ากับ 451.39, 476.46 และ 506.20 ตามลำดับ และที่สำคัญอัตราตายจากโรคหลอดเลือดสมองต่อประชากรแสนคน ปี 2559-2561 เท่ากับ 48.13, 47.81 และ 47.15 ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (สมาคมโรคหลอดเลือดสมองไทย, 2562)

อาการของโรคหลอดเลือดสมองจะแสดงออกมาแตกต่างกันในแต่ละบุคคลขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสมองที่ได้รับ ความเสียหาย ผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการผิดปกติชั่วขณะหนึ่งแล้วดีขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง โดยปัจจัยเสี่ยงที่จะมีโอกาสทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง มี โรคอ้วน การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา

การใช้สารเสพติด และโรคประจำตัว เป็นต้น ทั้งนี้ ผู้สูงอายุวัย 55 ปีหรือมากกว่า และกลุ่มคนชาวอเมริกาเชื้อสายแอฟริกา มีความเสี่ยงสูงที่จะเป็นโรคหลอดเลือดสมอง จากการศึกษายังระบุว่าจะพบโรคหลอดเลือดสมองในเพศชายมากกว่าเพศหญิง (ณัฐกร นิลเนตร, 2562) นอกจากนี้ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น การใช้ยาคุมกำเนิด หรือการใช้ฮอร์โมน ซึ่งโรคหลอดเลือดสมองสามารถส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนแก่ผู้ป่วย ซึ่งอาจเป็นภาวะที่เกิดขึ้นชั่วคราว หรือหากในกรณีที่ร้ายแรงอาจส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดความพิการถาวร ดังนั้น ความรุนแรงของภาวะแทรกซ้อนจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สมองขาดเลือด และขึ้นอยู่กับบริเวณสมองที่ได้รับผลกระทบ (กันต์ ดวงประเสริฐ และ ดิลก ดันทองทิพย์, 2565) แต่เนื่องจากอาการเบื้องต้นของโรคหลอดเลือดสมองนั้นมักไม่ค่อยแสดงอาการหรือมีอาการแสดงออกที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้การสังเกตลักษณะอาการจึงเป็นเรื่องสำคัญเพราะอาจเป็นสัญญาณของการเกิดโรคหลอดเลือดสมองได้ (ขวัญชนก เทพปิ่นและปัทมา สุพรรณกุล, 2563) จากที่กล่าวมาข้างต้น การรักษาสุขภาพ การตรวจสุขภาพ และการสังเกตอาการจึงมีความสำคัญที่จะช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความอันตรายของโรคหลอดเลือดสมองที่คร่าชีวิตผู้คนมากกว่าล้านคนต่อปี จึงทำให้มีความสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองด้วยการสร้างกฎเหมือนความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล สามารถนำมาใช้ร่วมกับทางด้านทางการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพื่อเป็นแนวทางการฟื้นฟูและดูแลร่างกาย วิเคราะห์ความสัมพันธ์สำหรับเป็นคำแนะนำเบื้องต้นในการหลีกเลี่ยงการเกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค โดยเทคนิคการหากฎความสัมพันธ์เป็นเทคนิคที่ต้องพิจารณาปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขร่วมกัน ซึ่งจะอธิบายให้ปรากฏในรูปแบบที่เข้าใจง่าย (วิชญ์พงศ์ บุบผาทาเต และจารี ทองคำ, 2563) ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองจากชุดข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองที่เป็น

ชุดข้อมูลแบบสาธารณะที่สามารถเข้าถึงได้ สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของ Kaggle ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่อาจมีความสัมพันธ์กัน และเป็นสาเหตุของการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ได้แก่ เพศ (Gender) อายุ (Age) ประเภทที่อยู่อาศัย (Residence Type) ประเภทของงาน (Work Type) การสูบบุหรี่ (Smoking Status) ดัชนีมวลกาย (BMI) ระดับความดันเลือด (Hypertension) ระดับน้ำตาลในเลือด (Average Glucose Level) และภาวะโรคหัวใจ (Heart Disease) เพื่อนำมาสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ขั้นตอนวิธี Apriori (อนันต์ ปินะเต, 2565) และยังรวมไปถึงการวิเคราะห์หาปัจจัยที่สำคัญจากปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสร้างตัวแบบ (Model) สำหรับการพยากรณ์โอกาสการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ทั้งนี้ ยังได้ศึกษาถึงวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษ (Feature Selection) ด้วยวิธี Gain Ratio เพื่อคัดเลือกปัจจัยสำคัญ และนำปัจจัยสำคัญที่ถูกพิจารณาจากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นมีความสอดคล้องกัน (Pasha & Mohamed, 2022; กรสิริณัฐโรจนวรรณ และวิชุดา เพชรจิรโชติกุล, 2564)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองและนำปัจจัยสำคัญเหล่านั้นมาสร้างเป็นตัวแบบเพื่อใช้สำหรับการพยากรณ์การเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ทั้งนี้ ยังสามารถนำปัจจัยสำคัญเหล่านั้นมาช่วยในการสังเกตอาการเบื้องต้นของบุคคลหรือผู้ป่วยที่อาจต้องการตรวจวินิจฉัยการเป็นโรคหลอดเลือดสมอง หรือเป็นแนวทางในการหลีกเลี่ยงปัจจัยที่เกิดเป็นกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อลดโอกาสเสี่ยงของการเกิดโรคและลดการเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนที่อาจทำให้พิการ หรือเสียชีวิต

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับธุรกิจประเภทร้านอาหาร เช่นในงานวิจัยของ (นัฐพงษ์ ประทีป ณ ถลาง และคณะ, 2563) ได้วิจัยเกี่ยวกับการใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์รายการอาหารจากร้านอาหารประเภทยำ โดยพิจารณาจากรายการสั่งซื้อของลูกค้า โดยกฎความสัมพันธ์ที่ได้จะถูกนำมาประกอบการตัดสินใจ เช่น การบริหารจัดการวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบอาหาร เพื่อให้มีวัตถุดิบเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน โดยการทดลองนั้นได้เก็บข้อมูลจากรายการสั่งซื้ออาหารจำนวนทั้งสิ้น 1,574 รายการ โดยแบ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลออกเป็น การสั่งอาหารทานที่ร้าน

และสั่งอาหารกลับบ้าน โดยใช้ระยะเวลาสำหรับจัดเก็บข้อมูล 4 เดือน ในการทดลองมีการเตรียมข้อมูล การแปลงข้อมูล และการคัดเลือกรายการข้อมูลการสั่งซื้ออาหาร โดยเป็นไปตามรูปแบบการสร้างเหมืองข้อมูลด้วยกระบวนการ CRISP-DM ในงานวิจัยนี้ได้สร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Apriori เพื่อหารูปแบบของการสั่งซื้ออาหารที่เกิดขึ้นร่วมกันบ่อย ๆ และนำกฎความสัมพันธ์ของรายการอาหารที่ได้มาวิเคราะห์โดยพิจารณาจากค่าความเชื่อมั่นและค่าสนับสนุนที่ 0.4 และ 0.01 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ว่า ข้าวเป็นรายการที่เกิดขึ้นในทุกกฎความสัมพันธ์ เช่น หากซื้อยำรวมมิตรและต้มยำกุ้งจะต้องซื้อข้าว หากซื้อยำเล็บมือและยำรวมมิตรจะต้องซื้อข้าว และเมื่อพิจารณาจาก ค่าความเชื่อมั่นและค่าสนับสนุนที่ 0.35 และ 0.01 พบว่ารายการข้าวยังสอดคล้องกับทุกกฎความสัมพันธ์ของข้อมูล ได้แก่ หากซื้อยำหอยแครงจะต้องซื้อข้าว และหากซื้อยำหอยแครงลวกจะต้องซื้อข้าว ส่งผลให้เจ้าของร้านอาหารสามารถกำหนดปริมาณการหุงข้าวให้เพียงพอต่อการสั่งซื้อของลูกค้าในแต่ละวัน

กฎความสัมพันธ์ของข้อมูลบางครั้งอาจจะมีค่าความเชื่อมั่นสูงแต่เมื่อวิเคราะห์แล้วก็ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ได้แก่ หากซื้อชามะนาวจะต้องซื้อข้าว เมื่อวิเคราะห์ตามพฤติกรรมจริงของการสั่งอาหารของลูกค้า ลูกค้าไม่ได้ต้องการมาร้านยาเพื่อซื้อชามะนาวแต่มาเพื่อการสั่งซื้ออาหารประเภทอื่น ๆ และการสั่งซื้อชามะนาวนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลที่หลังไม่ใช่เป็นเหตุผลหลักในการสั่งซื้ออาหาร

สำหรับการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์นั้น สามารถนำไปช่วยวินิจฉัยโรคเบาหวาน (Huang et al., 2020) และสร้างกฎความสัมพันธ์ของการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง (Butryn et al., 2021) โดย Huang et al. (2020) ทำวิจัยเกี่ยวกับการวินิจฉัยโรคเบาหวาน เนื่องจากการได้มาซึ่งคุณลักษณะพิเศษของข้อมูล (Feature Extraction) ไม่เหมาะสมต่อการวินิจฉัยโรคโดยเป็นปัญหาทางด้านมิติข้อมูล (Curse of Dimension) เนื่องจากคุณลักษณะพิเศษ (Feature Vector) ที่นำมาวินิจฉัยนั้นมีจำนวนมากและข้อมูลมีลักษณะที่กระจัดกระจาย และข้อมูลบางตัวไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ และที่สำคัญข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองนั้นเป็นข้อมูลทางการแพทย์ที่ไม่สมดุล (Imbalanced Data) ดังนั้น จึงนำวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษที่เหมาะสม (Feature Selection) ด้วยวิธีหาความสัมพันธ์ (Association Rules) และการรวมกันของตัวแบบการจำแนกประเภทด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ Equilibrium (Random Equilibrium Sampling)

ซึ่งการทดลองในส่วนของการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษของข้อมูลนั้นได้เปรียบเทียบผลการทดลองกับอัลกอริทึม (Algorithm) CART, Relief และ FRE-SVM โดยพบว่าวิธี Random Equilibrium Sampling เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษของข้อมูลโรคเบาหวานสำหรับการจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุลได้ทดสอบกับอัลกอริทึมจำนวนทั้งสิ้น 3 อัลกอริทึม ประกอบด้วย RSBBagging, SMOTE-Boost และ SMOTE-RF ซึ่งการทดลองพบว่าวิธี RSBBagging สามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมดุลได้ดีที่สุด

Butryn *et al.* (2021) วิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองเพื่อหาความเสี่ยง โดยการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลและการวิเคราะห์คุณลักษณะเป้าหมายที่ได้ถูกเลือก โดยจุดมุ่งหมายหลักคือการเสนอวิธีการระบุความเสี่ยง ดังนั้นจะต้องเตรียมข้อมูลผู้ป่วยด้วยการทำ Interventions เพื่อการศึกษาผู้ป่วยเป็นรายบุคคล จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธี Apriori ในการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลและนำไปหาคุณลักษณะของข้อมูลที่เกิดขึ้นร่วมกันบ่อยครั้งที่จะส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์จึงใช้ค่าความเชื่อมั่น ค่าสนับสนุน และค่าลิฟท์ (Lift) ในการพิจารณาการเกิดรูปแบบของกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งแบบ LHS และ RHS โดยกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีค่าลิฟท์สูงจะใช้เพื่อระบุเป็นกลุ่มเสี่ยงที่จะเกิดโรคหลอดเลือดสมอง และกลุ่มที่มีค่าลิฟท์ต่ำจะใช้เพื่อระบุกลุ่มที่ปลอดภัยต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง

2. โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke Disease)

โรคหลอดเลือดสมองเป็นภาวะสมองขาดเลือดที่เกิดจากหลอดเลือดสมองตีบหรืออุดตัน มีเลือดออกในสมอง อาการเส้นเลือดในสมองตีบ ทำให้เลือดไม่สามารถไปเลี้ยงสมองได้ ทำให้เซลล์สมองขาดออกซิเจนส่งผลให้สมองตาย มีภาวะแทรกซ้อนและยังทำให้เกิดความเสี่ยงความพิการและทุพพลภาพที่จะเกิดขึ้น (ปิยะนุช จิตตานุรักษ์ และคณะ, 2564) เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เชื้อชาติ เพศ และฮอโมนเอสโตรเจน ซึ่งทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองและภาวะแทรกซ้อน (Khumros & Ekpreechakul, 2019) โดยภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจากโรคหลอดเลือดสมองจะทำให้ผู้ป่วยมีปัญหาในการพูด การกลืน การรับประทานอาหาร และยังมีปัญหาในด้านภาษาอีกด้วย ผู้ป่วยจะรู้สึกปวดและขาตามร่างกาย สูญเสียความรู้สึก อาจมีปัญหาในการจัดการกับอารมณ์ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลง และมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดภาวะซึมเศร้า (ณิรนุช วรไชสง และคณะ, 2565) นอกจากนี้ โรคหลอดเลือดสมองอาจส่งผล

ให้ผู้ป่วยมีอาการแยกตัวจากสังคมเนื่องจากภาวะของอารมณ์ที่เปลี่ยนแปลง อาการเหล่านี้เกิดจากภาวะแทรกซ้อนของโรค อาจเกิดขึ้นชั่วคราวหรืออาจเป็นความพิการถาวรขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สมองขาดเลือด ดังนั้น ผู้ป่วยอาจต้องได้รับการช่วยเหลือในการดูแลตัวเองและการทำกิจวัตรประจำวัน (อุดมสุทธิพนไพศาล, 2563)

สำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ได้รับการรักษาที่ทันท่วงทีจะทำให้ผู้ป่วยมีโอกาสฟื้นตัวจากการรักษาได้อย่างรวดเร็ว การดูแลรักษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองจึงมีระบบการดูแลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะเฉียบพลัน (Stroke Fast Track) ที่มีประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันวิธีการรักษามีการพัฒนาการรักษาโดยการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำ (Intravenous Thrombolysis) ทั้งนี้ เนื่องจากการให้ยาละลายลิ่มเลือดจำเป็นต้องให้ผู้ป่วยโรคทางเส้นเลือดภายในเวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมงหลังเกิดอาการก่อนที่สมองจะเสียหายจากการขาดเลือด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องจัดระบบการดูแลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะเฉียบพลันด้วยระบบที่มีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนและรวดเร็ว เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงการรักษาได้ทันภายในเวลาที่กำหนด (จารุณี สุธีร์, 2564; ณัฐกรนิลเนตร, 2562) หลังการรักษาผู้ป่วยต้องได้รับการดูแลและฟื้นฟูที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อน แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ 1. ระยะเฉียบพลัน (Acute Phase) คือการป้องกันภาวะแทรกซ้อน 2. ระยะฟื้นฟูสภาพ (Rehabilitation Phase) คือการให้ผู้ป่วยปฏิบัติตามคำสั่งและฝึกการนั่งทรงตัวเป็นต้น โดยเป้าหมายพื้นฐานของการฟื้นฟูผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง คือการทำให้ผู้ป่วยสามารถช่วยเหลือตนเองให้ได้มากที่สุด เป็นภาวะต่อญาติหรือผู้ดูแลน้อยที่สุด (Kleindorfer *et al.*, 2021; ภัทรา วัฒนพันธุ์, 2561)

3. กฎความสัมพันธ์ (Association Rule)

กฎความสัมพันธ์ เป็นวิธีการหนึ่งของเหมืองข้อมูล (Data Mining) การหากฎความสัมพันธ์นั้นเป็นวิธีการในการค้นหากลุ่มข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ค้นพบและอธิบายออกมาในรูปแบบของข้อมูลที่เกิดขึ้นร่วมกันที่พบได้บ่อย (Frequency Pattern) งานของกฎความสัมพันธ์ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลและการเกิดขึ้นร่วมกันของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (Frequency Item) เพื่อพยากรณ์โอกาสและความเป็นไปได้จากกฎความสัมพันธ์นั้น ผลลัพธ์ที่ได้ของกฎความสัมพันธ์สามารถเขียนได้ในรูปแบบของเซตรายการ แบ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็น 2 รูปแบบ คือ LHS (Left Hand Side) และ RHS (Right Hand Side) โดยที่ LHS แสดงรูปแบบของข้อมูล

ด้านซ้ายของกฎความสัมพันธ์แทนคุณลักษณะที่เป็นเหตุ และ RHS แสดงรูปแบบของข้อมูลด้านขวาของกฎความสัมพันธ์แทนคุณลักษณะที่เป็นเป้าหมาย (Ampornphan, 2021; อนันต์ ปินะเต, 2565) รูปแบบกฎความสัมพันธ์แสดงได้ดังนี้

$$X \rightarrow Y \quad (1)$$

โดยที่ X คือเงื่อนไข และ Y คือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบ ถ้า...แล้ว (IF ... THEN ...) (Kittiphattanabawon, 2022) โดยวิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน 1. การหารูปแบบข้อมูลที่เกิดร่วมกันบ่อย (Frequent Itemset) และ 2. การสร้างกฎความสัมพันธ์จาก Frequent Itemset ทั้งนี้ กฎความสัมพันธ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาจะถูกยอมรับก็ต่อเมื่อกฎนี้มีค่าความเชื่อมั่น (Confidence Value) มากกว่าหรือเท่ากับค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำ (Minimum Confidence Value)

การประเมินค่าของกฎความสัมพันธ์สามารถคำนวณได้จากค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่น (Mohammed, 2023; ประมูล สุขสกาฟ่อง และพยุ่ง มีสัจ, 2562) ดังนี้

ค่าสนับสนุนใช้สำหรับวัดความน่าจะเป็นของจำนวนรายการของข้อมูลที่เกิดร่วมกัน (σ) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับจำนวนรายการทั้งหมด (N) แสดงดัง สมการ (2)

$$\text{support}(X \rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{N} \quad (2)$$

ค่าความเชื่อมั่นใช้วัดความน่าจะเป็นของการเกิดความสัมพันธ์ของชุดรายการข้อมูล เมื่อเกิดเหตุการณ์หนึ่ง (X) แล้วจะเกิดอีกเหตุการณ์หนึ่งตามมา (Y) แสดงดังสมการ (3)

$$\text{confidence}(X \rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{\sigma(X)} \quad (3)$$

4. ขั้นตอนวิธี Apriori (Apriori Algorithm)

ขั้นตอนวิธี Apriori เป็นกระบวนการสำหรับการหาความสัมพันธ์ที่น่าเสนอโดย (Agrawal & Srikant, 1994) วิธีการนี้จะไม่ได้ค้นหาจากทุกกฎความสัมพันธ์ที่มีโอกาสเป็นไปได้ แต่จะค้นหาโดยใช้เซตที่มีความถี่มากกว่าค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (Minimum Support Value) ทำให้สามารถตัดเซตรายการที่มีความถี่ต่ำในการเกิดร่วมกันออก (ประมูล สุขสกาฟ่อง และพยุ่ง มีสัจ, 2562; สลานนท์ ไทยเขียว และภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ, 2564) (ประมูล สุขสกาฟ่อง และพยุ่ง มีสัจ, 2562) จากนั้นเซตที่ถูกเลือกจะถูกนำไปใช้เพื่อสร้างรูปแบบของ

ข้อมูลในลำดับถัดไป โดยทำการค้นหารูปแบบของข้อมูลไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่สามารถค้นหารูปแบบของข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ได้อีก จากนั้นจึงจะนำรูปแบบของข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ค่าสนับสนุนทั้งหมดมาสร้างเป็นกฎความสัมพันธ์ โดยใช้เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าความเชื่อมั่น (Wang et al., 2018)

จุดเด่นของขั้นตอนวิธี Apriori คือความเร็วของการค้นหาแบบข้อมูลที่เกิดร่วมกันบ่อย เหมาะสำหรับชุดข้อมูลที่มีที่มีจำนวนชุดข้อมูลและรายการข้อมูลจำนวนมาก โดยจะไม่พิจารณาแบบข้อมูลที่ซ้ำที่มีความถี่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ปฏิพัทธ์ ปฤชานนท์ และวงศ ศรีอุไร, 2561)

5. วิธี FP-Growth (Frequent-Pattern Growth)

วิธี FP-Growth เป็นหนึ่งในวิธีการของการค้นหาแบบข้อมูลที่เกิดร่วมกันบ่อยที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด หลักการของวิธี FP-Growth คือจะไม่มีการสร้าง Candidate Items และอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลเพียง 2 ครั้ง เป็นโครงสร้างการอ่านข้อมูลที่เรียกว่า FP-Tree วิธีนี้จึงเป็นการแก้ปัญหาจากวิธี Apriori ในแง่ของการอ่านข้อมูลหลายครั้งจากฐานข้อมูลทำให้ใช้เวลานานในการประมวลผลเพื่อให้ได้กฎความสัมพันธ์ โครงสร้างแบบ Tree Structure ช่วยให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง Itemsets ชุดข้อมูลจะแยก Items ออกเป็น 1 ส่วนที่เกิดขึ้น โดยเรียกว่า 1 รายการที่เกิดขึ้นบ่อย หรือ One Frequent Itemset (Shabtay et al., 2020) กระบวนการทำงานของวิธี FP-Growth จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 จะทำการสร้าง FP-tree โดยจะทำการคำนวณค่า Support ของรูปแบบตัวแปรหรือปัจจัยที่เกิดขึ้นและนำมาจัดเรียงข้อมูลตามค่าสนับสนุนจากค่ามากไปค่าน้อยเรียกว่า Tree Phase และขั้นตอนที่ 2 จะสร้างรูปแบบของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันจาก FP-tree ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนแรกเรียกขั้นตอนนี้ว่า Growth Phase โดยรวมแล้ววิธี FP-Growth จะใช้เวลาน้อยกว่าในการหา Frequent Items แต่มักจะเกิดปัญหากับชุดข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลมาก ซึ่งจะค้นพบ Frequent Items ได้ยากขึ้น (Bagui et al., 2020; ณิชานภาพร จงกะสิกิจ, 2561)

6. วิธีการ Eclat (Equivalence Class Clustering and Bottom-up Lattice Traversal Algorithm)

วิธีการ Eclat เป็นอัลกอริทึมสำหรับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งเป็นการค้นหาเพื่อจัดกลุ่มของ Frequent Itemset ใหม่ ซึ่งอัลกอริทึม Eclat ไม่ได้เป็นอัลกอริทึมแรกๆ สำหรับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล อัลกอริทึมพื้นฐานหลักคือวิธี Apriori Algorithm โดยอัลกอริทึม Eclat

ปรับปรุงมาจากวิธีการ Apriori ได้ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการคำนวณให้เร็วขึ้น

อัลกอริทึม Eclat จะไม่มีการกำหนดค่า Confidence และค่า Lift ที่อาจมีความจำเป็นสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในทางกลับกันเมื่อไม่ต้องมีการ tuning พารามิเตอร์ต่างๆ ก็จะเป็นสิ่งที่ทำให้ตัวแบบสำหรับการหาความสัมพันธ์นั้นเร็วขึ้น เป็นทางเลือกให้ผู้ใช้ระหว่างความเร็วในการหาความสัมพันธ์ หรือมีการกำหนดเมตริกซ์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสมของการได้มาซึ่งกฎความสัมพันธ์สำหรับนำไปวิเคราะห์ สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับอัลกอริทึมคือ มีขั้นตอนการ Intersection ระหว่าง transaction ID set ของ Items ขั้นตอนนี้ทำให้วิธีการ Eclat แตกต่างกับวิธี Apriori จึงทำให้วิธี Eclat เร็วกว่าเพราะการกำหนดจุดที่ Intersect กันของชุด Transactions IDs ทำให้เป็นกระบวนการที่ง่ายกว่าการหาที่ละ Transection เพื่อจับคู่ Items (เหมือนวิธี Apriori)

วิธีการหาความสัมพันธ์ทั้งวิธี Apriori ซึ่งเป็นวิธีต้นแบบและวิธี Eclat ถูกนำมาใช้เกี่ยวกับเครื่องมือสำหรับแนะนำ เช่น กรณีของการขายสินค้าแบบออนไลน์ จะมีการแนะนำสินค้าที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่เราสนใจ (Online Shopping) หรือเป็นเครื่องมือสำหรับการปรับปรุงการวางขายสินค้าในการซื้อขายจากหน้าร้าน (Store Shopping) เป็นต้น (Das *et al.*, 2018)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยด้วยการสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจากกฎที่สร้างขึ้นด้วย 2 วิธีการ ได้แก่ ขั้นตอนวิธี Apriori และวิธี FP-Growth จากนั้นจะนำปัจจัยที่เกิดจากทั้ง 2 วิธีการมาเปรียบเทียบกับปัจจัยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Gain Ratio ซึ่งเป็นวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะหรือปัจจัยที่เหมาะสม โดยการทดสอบจะใช้ชุดข้อมูลมาตรฐาน (Benchmark Dataset) เดียวกัน

ในงานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการสร้างเหมืองข้อมูล (CRISP-DM Process) (Plotnikova *et al.*, 2022; กิตติศักดิ์ ขำจิตร และคณะ, 2565; สุวิมล สิทธิชาติ, 2560) มาทั้งสิ้น 5 ขั้นตอนมาใช้เป็นกรอบของการดำเนินการวิจัย ดังนี้ 1) การทำความเข้าใจปัญหาและการทำความเข้าใจข้อมูล 2) การเตรียมข้อมูล 3) การจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุล 4) การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูล และ 5) การวัดประสิทธิภาพมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การทำความเข้าใจปัญหา และการทำความเข้าใจข้อมูล (Understanding the Problem and Data)

จากการสำรวจของสมาคม World Stroke Organization พบว่าผู้คนจำนวนมากประสบปัญหาโรคหลอดเลือดสมอง ทำให้นักวิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นจำนวนมากมาเพื่อใช้สำหรับการรักษา จึงเกิดชุดข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองที่เผยแพร่ในเว็บไซต์ Kaggle และนักวิจัยใช้เป็นชุดข้อมูลมาตรฐานที่จะนำมาทำวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดโรค และการพยากรณ์การเกิดโรค เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นในการวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง โดยพิจารณาจากข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 4,982 รายการ (Record) โดยข้อมูลแต่ละรายการประกอบด้วย ปัจจัย (Factor) ทั้งหมด 10 ปัจจัย ประกอบด้วย เพศ อายุ สถานะการแต่งงาน ประเภทที่อยู่อาศัย ประเภทของงาน การสูบบุหรี่ ดัชนีมวลกาย ระดับความดันเลือด ระดับน้ำตาลในเลือด ภาวะโรคหัวใจ โดยผลลัพธ์ (Output) ของข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (Class) คือ เป็นโรคหลอดเลือดสมอง และไม่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง

2. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเป็นการจัดเตรียมชุดข้อมูลประกอบไปด้วยปัจจัยหรือเรียกว่าแอททริบิวต์ (Attribute) ที่ส่งผลต่อโอกาสการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่ถูกแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ ดังนั้น ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การแปลงค่าข้อมูล (Data Transformation)

ขั้นตอนการแปลงค่าข้อมูล เป็นการปรับรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่จัดเก็บ เช่น ปัจจัยอายุ (Age) ข้อมูลอายุที่เป็นตัวเลข จะถูกแปลงค่าให้เป็นช่วงของวัย ได้แก่ Old-age, Adulthood และ Teenage ปัจจัยโรคความดันโลหิต (Hypertension) และโรคหัวใจ (Heart Disease) จะถูกแปลงค่าเป็น 0 = No และ 1 = Yes ปัจจัยเพศ (Gender) จะแปลงค่า 1 = Female และ 0 = Male เป็นต้น ผลลัพธ์จากการแปลงค่าข้อมูลแสดงดัง Table 1 นอกจากนี้มีการแปลงข้อมูลให้เป็นแบบไบนารี (Normal-ToBinary) หรือการแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ 2 ค่าข้อมูลของแต่ละปัจจัย

2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

เมื่อแปลงค่าให้กับข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองเป็นที่เรียบร้อยแล้ว กระบวนการถัดไปคือการทำความสะอาดข้อมูล ด้วยวิธีการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของข้อมูล

(Data Redundancy) และข้อมูลที่เป็นค่าว่าง (Missing Value) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดข้อมูลทั้งสองส่วนออกไป งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาการจัดการค่าว่างด้วยการลบข้อมูลแถวที่มีค่าว่างออก (Deleting Missing Values) เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งสิ้น 4,982 รายการพบว่ามีข้อมูลมากถึง 59.88% ที่เป็นข้อมูลที่เป็นค่าว่าง ดังนั้น เมื่อลบข้อมูลที่เป็นค่าว่างออกทำให้เหลือข้อมูลที่จะนำไปสร้างกฎความสัมพันธ์เพียง 1,999 รายการ

Table 1 Illustration of the outputs of the data transformation.

Stroke Factors	Outputs
Gender	- Female - Male
Age	- Adulthood - Old Age - Teenager
Hypertension	- Yes - No
Heart Disease	- Yes - No
Ever Married	- Yes - No
Work Type	- Children - Government Jobs - Never Worked - Private - Self-employed
Residence Type	- Rural - Urban
Average Glucose Level	- Diabetes - Normal - Risk of Diabetes
Body Mass Index (BMI)	- Normal - Obesity - Underrated
Smoking Status	- Formerly Smoked - Never Smoked - Smoke

3. การจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุล (Imbalanced Data)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด 1,999 รายการพบว่าจำนวนของข้อมูลในแต่ละคลาสผลลัพธ์ของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการนำมาสร้างกฎความสัมพันธ์นั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สมดุล (วิทยา ปัญญา และวฤชาย รมสหายหยุด, 2566) เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลของกลุ่มโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = Yes)

จำนวน 180 รายการ และมีจำนวนข้อมูลของกลุ่มที่ไม่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = No) ถึง 1,819 รายการ ซึ่งอาจส่งผลต่อการสร้างกฎความสัมพันธ์และการวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญของการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เทคนิค Synthetic Minority Oversampling หรือเรียกว่าเทคนิค SMOTE (พุทธิพร ธนธรรมเมธี และ ยาวเรศ ศิริสถิตกุล, 2562) เพื่อคำนวณปรับเพิ่มรายการของกลุ่มโรคหลอดเลือดสมองที่มีเพียง 180 รายการ ทำให้จำนวนข้อมูลของกลุ่มโรคหลอดเลือดสมองเพิ่มขึ้นเป็น 1,746 รายการ ให้ใกล้เคียงกับกลุ่มที่ไม่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง สุดท้ายแล้วทำให้ได้ข้อมูลที่ใช้สำหรับนำไปสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 3,565 รายการ

ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นถึงภาพของการกระจายตัวของข้อมูลเมื่อมีการปรับข้อมูลให้สมดุล ผู้วิจัยได้นำเสนอด้วยกราฟสรุปภาพรวมของปริมาณการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งจากชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบประกอบไปด้วยปัจจัยทั้งสิ้น 10 ปัจจัย และผลลัพธ์อีก 1 ปัจจัย (Stroke: Yes, No) จากกราฟสีแดงคือปัจจัย Stroke ที่มีคำตอบคือ No และสีน้ำเงินคือคำตอบที่เป็น Yes

โดย Figure 1(a) แสดงให้เห็นถึงกราฟจำนวนทั้งสิ้น 11 กราฟ ซึ่งเป็นกราฟก่อนการปรับข้อมูลให้สมดุล และ Figure 1(b) เป็นกราฟหลังจากปรับข้อมูลให้สมดุลด้วยวิธี SMOTE ซึ่งแสดงผลเป็นการสรุปค่า Descriptive Statistics ของแต่ละปัจจัย และแสดงเป็นลักษณะกราฟแบบ Histogram ส่งผลทำให้เห็นถึงการกระจายตัวและความผันแปรของข้อมูลในแต่ละคลาสทั้งก่อนและหลังจากการปรับสมดุลของข้อมูล

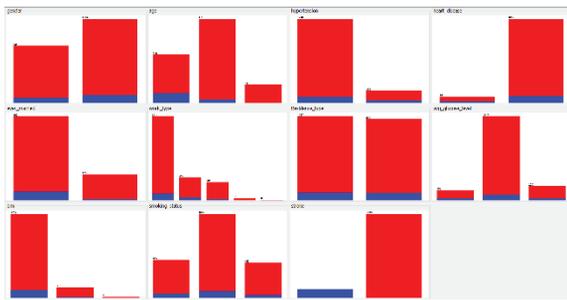
4. การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูล (Building an Association Model)

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูลได้มีการทดสอบด้วย 2 วิธีการ ได้แก่ วิธี Apriori และวิธี FP-Growth โดยการพิจารณากฎความสัมพันธ์จะพิจารณาข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จากกลุ่มที่แสดงว่าเป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = Yes) แบบ RHS เป็นหลัก ซึ่งเป็นรูปแบบของ Itemset ที่ฝั่งด้านขวาของกฎความสัมพันธ์ เนื่องจากข้อมูลชุดเดิมมีจำนวนเพียง 180 รายการ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำไปสร้างกฎความสัมพันธ์ ทั้งนี้ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE ทำให้มีข้อมูลเพียงพอต่อการนำไปสร้างกฎความสัมพันธ์ โดยมีการกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นเมื่อนำเข้าทดสอบกับทั้ง 2 วิธีการแสดงดัง Table 2 และ Table 3 ตามลำดับ

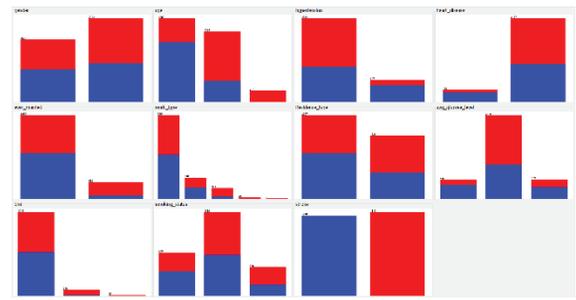
Table 2 เป็นการทดลองด้วยวิธี Apriori แสดงให้เห็นถึงการกำหนดค่าสนับสนุน (Support Value) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence Value) ที่แตกต่างกันจำนวน 11 ครั้ง (Time) จะเห็นได้ว่าการกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นที่มีค่าสูงส่งผลให้ไม่เกิดกฎความสัมพันธ์จำนวนน้อย (ครั้งที่ 5-6) (โดยพิจารณาจากคอลัมน์ Number of Association Rules) ทำให้ไม่มีกลุ่มข้อมูลที่ต้องการสำหรับนำไปวิเคราะห์หากฎความสัมพันธ์ (โดยพิจารณาจากคอลัมน์ Number of Rules Cause Stroke: Stroke = Yes)

ดังนั้นจากกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นผู้วิจัยเลือกการกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.27 และ 0.25 ทำให้เกิดกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลมากถึง 2,706 กฎ โดยที่มีกฎความสัมพันธ์ของกลุ่มที่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = Yes) จำนวน 178 กฎ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง

Table 3 แสดงผลการทดลองด้วยวิธี FP-Growth โดยกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นที่มีค่าเท่ากันกับการทดสอบด้วยวิธี Apriori จากตารางแสดงให้เห็นว่าไม่มีกฎความสัมพันธ์ที่ Stroke=Yes เกิดขึ้นเลย ถึงแม้จะมีการกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นที่ต่ำแล้ว



(a) Data distribution of imbalanced data (Before adjusting the data)



(b) Data distribution of balanced data (After adjusting the data)

Figure 1 The histogram for an overview of the aggregate descriptive statistics factors

Table 2 Illustration of the support and confidence values generated the association rules that impact the stroke (Apriori algorithm)

Times	Support Values	Confidence Values	Number of Association Rules	Number of Rules Cause Stroke (Stroke = Yes)
#1	0.9	0.9	0	0
#2	0.9	0.85	0	0
#3	0.85	0.8	0	0
#4	0.85	0.75	0	0
#5	0.8	0.7	2	0
#6	0.75	0.6	4	0
#7	0.5	0.3	114	0
#8	0.4	0.3	414	10
#9	0.3	0.25	1756	130
#10	0.27	0.25	2706	178
#11	0.2	0.1	>5000	>550

Table 3 Illustration of the support and confidence values generated the association rules that impact the stroke (FP-Growth algorithm)

Times	Support Values	Confidence Values	Number of Association Rules	Number of Rules Cause Stroke (Stroke = Yes)
#1	0.9	0.9	0	0
#2	0.9	0.85	0	0
#3	0.85	0.8	2	0
#4	0.85	0.75	2	0
#5	0.8	0.7	8	0
#6	0.75	0.6	18	0
#7	0.5	0.3	432	0
#8	0.4	0.3	1496	0
#9	0.3	0.25	>3000	0
#10	0.27	0.25	>5000	0
#11	0.2	0.1	>10000	0

(ครั้งที่ 10-11) ซึ่งผลการทดลองออกกฎมากกว่า 10,000 กฎ แต่ก็ไม่มีกฎที่เกิดความสัมพันธ์กับปัจจัยผลลัพธ์ Stroke=Yes จึงไม่สามารถนำกฎความสัมพันธ์ที่ได้จากวิธี FP-Growth ไปหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นบ่อยจากชุดข้อมูลที่นำเข้ามาทดลองได้ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้กฎความสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากวิธี Apriori เท่านั้นและทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกิดขึ้นบ่อยเรียงลำดับตามจำนวนการเกิดความสัมพันธ์ (แสดงดัง Table 4) เพื่อดูอิทธิพลของการพยากรณ์ตามกลุ่มที่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = Yes) ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้คือปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง

5. การวัดประสิทธิภาพ (Evaluation)

การวัดประสิทธิภาพของการเกิดกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองจากขั้นตอนวิธี Apriori นั้นได้นำชุดข้อมูลหลอดเลือดสมองมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกิดขึ้นบ่อย (Frequent Pattern) และคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการพยากรณ์การเกิดโรคหลอดเลือดสมองที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดการพิจารณาปัจจัยที่อาจไม่เกี่ยวข้องต่อความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดการพยากรณ์โรคหลอดเลือดสมองซึ่ง

ใช้ค่านับสนุน และค่าความเชื่อมั่นที่ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพการหาความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังนี้

5.1 ค่านับสนุน (Support Value)

ค่านับสนุนเป็นค่าวัดประสิทธิภาพสำหรับแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรค (Frequent Itemset) โดยแสดงสัดส่วนของปัจจัยที่เกิดความสัมพันธ์และปัจจัยที่มีทั้งหมด โดยค่านับสนุนใช้เป็นค่าวัดประสิทธิภาพในขั้นตอนแรกของการหาความสัมพันธ์เพื่อช่วยสำหรับการคัดกรองกฎความสัมพันธ์ ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะกฎที่มีค่านับสนุนมากกว่าค่านับสนุนขั้นต่ำสุด (Minimum Support Threshold) ที่ได้กำหนดไว้ (Wang & Gao, 2021; Hassan et al., 2023)

5.2 ค่าความเชื่อมั่น (Confidence Value)

ค่าความเชื่อมั่นเป็นค่าวัดประสิทธิภาพสำหรับกฎความสัมพันธ์ที่สร้างมาจากความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยของการเกิดโรคที่มีจำนวนตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป และอยู่ในรูปแบบ LHS ==> RHS ซึ่งเป็นค่าแสดงการพยากรณ์การเกิดปัจจัยเป้าหมาย (แบบ RHS) โดยเป็นกระบวนการต่อเนื่องมาจากการวัดประสิทธิภาพจากค่านับสนุนที่มีความสำคัญต่อการคัดเลือกกฎความสัมพันธ์ โดยจะคัดเลือกเฉพาะกฎที่มีค่าความเชื่อมั่นมากกว่าค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำสุด (Minimum Confidence Threshold) ที่ได้กำหนดไว้ (Papi et al., 2022; พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ และยวดี กล่อมวิเศษ, 2562)

Table 4 Examples of association rules generated using the Apriori algorithm

Rule No.	Association Rules	Confidence Values
1	Age=old age BMI=Obesity ==> Stroke = Yes	0.73
2	Age=old age Ever married=Yes BMI=Obesity ==> Stroke = Yes	0.73
3	Age=old age ==> Stroke = Yes	0.72
4	Age=old age Ever married=Yes ==> stroke = Yes	0.71
5	Age=old age Ever married=Yes ==> BMI=Obesity stroke=Yes	0.61
6	Ever married=Yes work_type=Private BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.60
7	Ever married=Yes Residence_type=Urban BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.59
8	Ever married=Yes work_type=Private ==> stroke=Yes	0.58
9	Ever married=Yes Residence_type=Urban ==> BMI=Obesity stroke=Yes	0.56
10	Ever married=Yes BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.54
11	Residence type=Urban ==> BMI=Obesity stroke=Yes	0.52
12	Heart disease=No Ever married=Yes BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.52
13	BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.51
14	Hypertension=No Ever married=Yes BMI=Obesity ==> stroke=Yes	0.50
15	Heart disease =No Ever married=Yes ==> BMI=Obesity stroke=Yes	0.50

ผลการวิจัย (Experimental Results)

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วน 1) การสร้างแบบจำลองเพื่อสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Apriori เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลหลอดเลือดสมอง 2) การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจากกฎความสัมพันธ์ และ 3) การคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษจากข้อมูลหลอดเลือดสมองด้วยวิธี Gain Ratio ผลการวิจัยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Apriori (Finding Association Rules with the Apriori Algorithm)

สำหรับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Apriori การสร้างกฎความสัมพันธ์จะสนใจเลือกเฉพาะกฎความสัมพันธ์ที่มีค่าความเชื่อมั่นตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปมาพิจารณา ทำให้ได้กฎความสัมพันธ์จำนวนทั้งสิ้น 32 กฎ ซึ่งจะยกตัวอย่างกฎความสัมพันธ์มา 15 กฎดังแสดงใน Table 4 โดยเป็นกฎความสัมพันธ์ที่จะถูกนำมาคัดเลือกเพื่อหาปัจจัยที่มีค่าความถี่มากที่สุด (Frequent Itemset) Table 4 แสดงให้เห็นถึงกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองที่เกิดขึ้นด้วยการคำนวณตามขั้นตอนวิธี Apriori ยกตัวอย่างมาจำนวน 15 กฎ โดยเรียงลำดับตามค่าความเชื่อมั่นที่สูงที่สุด

จากการวิจัยพบว่า กฎความสัมพันธ์ที่มีค่าความเชื่อมั่นสูงที่สุด คือ กฎข้อที่ 1 (Age = Old age, BMI = Obe-

sity ==> Stroke = Yes) สามารถแปลผลได้ว่าบุคคลที่อยู่ในช่วงวัยผู้สูงอายุ (Age = Old age) ที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) แปลผลออกมาว่าเป็นโรคอ้วน (Obesity) จะมีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) โดยมีค่าความเชื่อมั่นของกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นที่ 0.73

นอกจากนี้ยังมีกฎความสัมพันธ์ที่น่าสนใจซึ่งเป็นปัจจัยที่แสดงค่าข้อมูลเป็น No ที่ไม่ได้หมายถึงปัจจัยนั้นไม่เกี่ยวข้องแต่จะตีความว่าปัจจัยนั้นไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นก็สามารถเป็นโรคหลอดเลือดสมองได้ ตัวอย่างเช่น กฎความสัมพันธ์ที่มีปัจจัยโรคหัวใจ (Heart Disease) เกิดขึ้น ปัจจัยนี้มีค่าข้อมูลเป็น No ดังแสดงในกฎข้อที่ 12 (Heart Disease=No, Ever Married=Yes, BMI=Obesity ==> Stroke=Yes) สามารถแปลผลได้ว่าบุคคลที่เคยแต่งงานแล้ว (Ever Married=Yes) ที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) แปลผลออกมาว่าเป็นโรคอ้วน (Obesity) และไม่เป็นโรคหัวใจจะมีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมองได้ เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดขึ้นของกฎความสัมพันธ์นี้จะเห็นได้ว่า Heart Disease=No ไม่ได้มีความหมายว่าการเป็นโรคหัวใจไม่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรคหลอดเลือดสมอง แต่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าบุคคลที่ไม่ได้เป็นโรคหัวใจก็มีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมองได้ถ้าบุคคลนั้นมีค่า BMI ที่ระบุว่าเป็นโรคอ้วนด้วยที่ค่าความเชื่อมั่น 0.52

จากกฎข้อที่ 14 ก็เช่นเดียวกัน (Hypertension =No, Ever Married=Yes, BMI=Obesity ==> stroke=Yes)

แสดงผลลัพธ์ได้ว่าบุคคลที่ไม่เป็นโรคความดันแต่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) แปลผลออกมาว่าเป็นโรคอ้วน (Obesity) และแต่งงานแล้วจะมีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมองด้วยค่าความเชื่อมั่น 0.50 จะเห็นได้ว่าเกิดกรณีที่ปัจจัยมีค่าข้อมูลเป็น No ซึ่งก็คือโรคความดันโลหิต (Hypertension=No) หมายถึงบุคคลที่ไม่เป็นโรคความดัน ไม่ใช่หมายถึงโรคความดันไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง จากกฎความสัมพันธ์ทั้ง 15 กฎที่ยกตัวอย่างมาจะเห็นได้ว่าปัจจัยด้านอายุและค่าดัชนีมวลกายเกิดความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองด้วยค่าความเชื่อมั่นที่สูง ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าบุคคลที่อยู่ในช่วงสูงอายุและมีค่าดัชนีมวลกายที่อยู่ในเกณฑ์ของการเป็นโรคอ้วนจะมีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมองมากที่สุด

2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจากกฎความสัมพันธ์ (Stroke Factors Analysis using Association Rules)

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองได้พิจารณาจากตัวอย่างกฎความสัมพันธ์ทั้งสิ้น 15 กฎ (แสดงใน Table 4) ที่ได้มาจากการคำนวณด้วยขั้นตอนวิธี Apriori จากนั้นจึงพิจารณาปัจจัยจากกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นที่มีค่าความถี่สูงสุดหรือเรียกได้ว่าเป็นการหากฎความสัมพันธ์ที่มีปัจจัยที่เกิดขึ้นร่วมกันบ่อยที่สุด โดยปัจจัยที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดแสดงดัง Table 5

จาก Table 5 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคหลอดเลือดสมองทั้งหมด 10 ปัจจัย จากการวิเคราะห์พบว่าค่าดัชนีมวลกายที่แปลผลว่าเป็นโรคอ้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีโอกาสทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมองมากที่สุด โดยเกิดขึ้นมากถึง 65 กฎความสัมพันธ์นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่น่าสนใจคือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแต่งงาน (Ever Married) ผลการวิจัยพบว่าผู้ใหญ่วัยที่ยังไม่ผลการวิจัยพบว่าผู้ใหญ่วัยที่ยังไม่แต่งงานมีความเสี่ยงที่จะเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมองสูงกว่าผู้ใหญ่ที่แต่งงานแล้ว (ชุดข้อมูลในงานวิจัยคลาสข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น “แต่งงานแล้ว (Yes)” และ “ยังไม่เคยแต่งงาน (No)”) สูงถึง 71% อาจเนื่องมาจากมีพฤติกรรมที่ไม่ดีต่อสุขภาพมากกว่าทำให้ผลลัพธ์ด้านสุขภาพแยกว่าผู้ที่แต่งงานแล้ว และรวมถึงปัจจัยทางด้านทรัพย์สินด้วย (Dupre & Lopes, 2023) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากกฎความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแต่งงานมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหลอดเลือดสมองสูงเป็นอันดับ 2 ที่ความถี่ 54 กฎ และยังมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาเนื่องจากเมื่อหาความสัมพันธ์ของการเกิดโรคหลอดเลือดสมองแล้วปัจจัยเหล่านั้นไม่เกิด

ความสัมพันธ์ขึ้น ดังเช่นเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านเพศ (Gender) ซึ่งถูกระบุว่าเป็นเพศหญิง (Female) และปัจจัยด้านการสูบบุหรี่ (Smoking Status) สำหรับคนที่ไม่สูบบุหรี่ (Never Smoked) ไม่อาจจะระบุได้ว่าจะไม่มีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดสมอง ที่ไม่เกิดความสัมพันธ์ขึ้นเลยอาจเป็นเพราะการเก็บข้อมูลที่ไม่เพียงพอ

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการเลือก Frequent Itemsจากการทดลองด้วยขั้นตอนวิธี Apriori พบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ประกอบด้วย 5 ปัจจัยคือ ค่าดัชนีมวลกาย สถานภาพการแต่งงาน ประเภทของงาน ภาวะโรคหัวใจ และอายุ เนื่องจากมีโอกาสเกิดขึ้นสูงและมีกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นมากกว่า 20 กฎที่เกี่ยวข้อง

Table 5 Factors causing stroke are computed by the Apriori algorithm

Stroke Factors	Number of Frequency Factors
BMI = Obesity	65
Ever Married = Yes	54
Work Type = Private	24
Heart Disease = No	24
Age = Old age	14
Hypertension = No	14
Residence Type = Urban	14
Average Glucose Level = Normal	4
Smoking Status = Never smoked	0
Gender = Female	0

3. การคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษจากข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองด้วยวิธี Gain Ratio (Feature Selection from Stroke Data using Gain Ratio Method)

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองนอกจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแล้วยังสามารถใช้วิธี Gain Ratio เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษจากข้อมูลได้เช่นเดียวกัน โดยวิธี Gain Ratio หรือค่าอัตราส่วนเกนเป็นวิธีการคัดเลือกปัจจัยด้วยการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลย่อยเพื่อลดความเอนเอียงของข้อมูลด้วยการใช้ค่า Split Information ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณข้อมูลที่ถูกรวบรวมออกเป็นชุดข้อมูลย่อยตามค่าปัจจัยต่างๆ ปัจจัยที่มี (Pasha & Mohamed, 2022) ผลลัพธ์จากการ

คำนวณหาค่าน้ำหนักของข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองด้วยวิธี Gain Ratio แสดงดัง Table 6

Table 6 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดโรคหลอดเลือดสมองโดยเรียงลำดับความสำคัญมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดโดยวัดจากอัตราส่วนเกณฑ์ว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดเรียงตามลำดับจากค่าเกณฑ์มากที่สุดคืออายุ (Age) ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) โรคความดันโลหิต (Hypertension) และโรคหัวใจ (Heart Disease) ซึ่งมีอัตราส่วนเกณฑ์มากกว่า 0.05 ดังนั้น การพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองที่คำนวณได้จากขั้นตอนวิธี Apriori โดยการนำกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นไปหาปัจจัยที่ทำให้เกิดกฎความสัมพันธ์ที่มีค่าความถี่สูงสุด และการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี Gain Ratio จะเปรียบเทียบและอธิบายในส่วนของผลการอภิปรายผลการวิจัย

Table 6 Factors causing stroke are computed by the gain ratio technique.

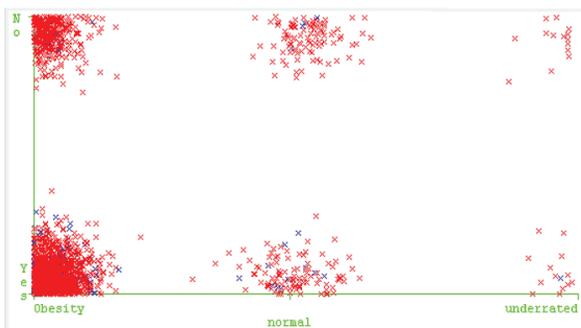
Factors of Stroke	Gain Ratio Values
Age	0.14838
BMI	0.10122
Ever Married	0.06952
Hypertension	0.06845
Heart Disease	0.05936
Average Glucose Level	0.03737
Work Type	0.0342
Residence Type	0.01166
Smoking Status	0.00799
Gender	0.00209

อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

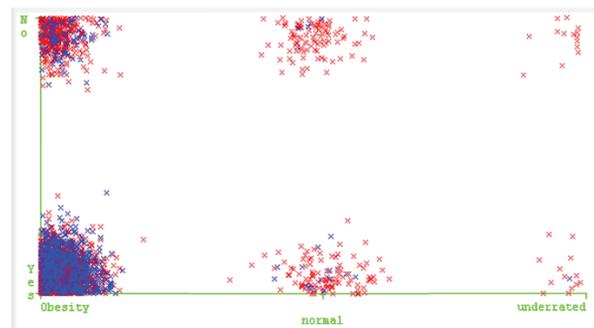
งานวิจัยฉบับนี้ได้ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ซึ่งได้พิจารณาเฉพาะกฎความสัมพันธ์ที่มีผลลัพธ์แบบ Right Hand Side (RHS) ผลลัพธ์ที่เกิดทางฝั่งขวา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง การคัดเลือกปัจจัยจะใช้ 2 วิธีการเพื่อนำมาเปรียบเทียบลำดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคโดยการคัดเลือกปัจจัยจากกฎความสัมพันธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธี Apriori และวิธี Gain Ratio

ก่อนการนำเข้าทดสอบชุดข้อมูลได้มีการจัดการในส่วนของการปรับสมดุลของชุดข้อมูลด้วยวิธีการ SMOTE ซึ่งวิธีการนี้เป็นการปรับชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยการเพิ่มรายการข้อมูลของคลาสจำนวนน้อยด้วยการเพิ่มแบบสุ่มรายการเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในงานวิจัยจึงได้มีขั้นตอนของการทำ Data Validation เพื่อตรวจสอบการกระจายของข้อมูลว่ามีตำแหน่งของข้อมูลอยู่นอกเหนือจากกลุ่มที่ควรจะเป็นหรือไม่ก่อนการสร้างกฎความสัมพันธ์ โดยแสดงการกระจายข้อมูลผ่านแผนภาพ Scatter Plot แสดงดัง Figure 2

จาก Scatter Plot ของความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยที่เกิดความสัมพันธ์กับปัจจัยผลลัพธ์ Stroke แบ่งออกเป็นแกน X และแกน Y แต่ละจุดใน Scatter Plot คือ ค่าข้อมูลของปัจจัยผลลัพธ์ที่เกิดความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ๆ ประกอบไปด้วยคลาสผลลัพธ์ที่เป็น No เป็นการพล็อตจุดสีแดงและคลาสผลลัพธ์ที่เป็น Yes พล็อตด้วยจุดสีน้ำเงิน



(a) Data variation of imbalanced data



(b) Data variation of balanced data

Figure 2 The scatter plot of factors association for observing data variation

จากการแสดงรูปแบบการกระจายของข้อมูล Figure 2(a) และ Figure 2(b) แสดงให้เห็นการผันแปรของข้อมูลเมื่อมีการปรับสมดุลของข้อมูลแล้วไม่ได้ทำให้การกระจายของข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปมากจนกลายเป็นข้อมูลที่มีความผิดปกติไปจากกลุ่มข้อมูลชุดเดิม จากตัวอย่าง Scatter Plot เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือปัจจัยการแต่งงานและแกน Y คือปัจจัย BMI จะเห็นว่าจุดที่ทำการพล็อตจะเกิดขึ้นหนาแน่นระหว่างความสัมพันธ์ของปัจจัยการแต่งงานที่เคยแต่งงานแล้ว (Yes) ซึ่งอยู่ในแกน X และปัจจัย BMI ที่เป็นโรคอ้วน (Obesity) ที่เป็นแกน Y โดยส่วนใหญ่แล้วจะเกิดความสัมพันธ์กับปัจจัยผลลัพธ์ stroke ที่เป็น No

Scatter Plot ของ Figure 2(a) ทำให้เห็นจำนวนของคลาสที่มีความแตกต่างกันมาก หากนำมาทดสอบโดยยังไม่ทำการปรับสมดุลอาจทำให้กฎความสัมพันธ์ที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง และจาก Figure 2(b) จะเห็นได้ว่าเมื่อชุดข้อมูลมีการปรับสมดุลด้วยวิธี SMOTE โดยการเพิ่มค่าข้อมูลของคลาสจำนวนน้อยให้ใกล้เคียงกับคลาสจำนวนมากแล้ว การกระจายของข้อมูลยังอยู่ในกลุ่มของชุดข้อมูลเดิม ไม่ได้มีข้อมูลที่เพิ่มขึ้นผิดปกติจากการปรับสมดุลของชุดข้อมูลด้วยวิธีการ SMOTE และเมื่อจัดการข้อมูลให้สมดุลแล้ว จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากฎความสัมพันธ์ที่ได้เกิดความสัมพันธ์กับปัจจัยผลลัพธ์ที่เป็น Stroke=Yes ตรงกับเป้าหมายในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง

หลังจากการทำ Validation กับชุดข้อมูลแล้วจะเป็นการนำเข้าสู่ชุดข้อมูลเพื่อทดสอบด้วยวิธีการ Apriori และ Gain Ratio การทดลองเริ่มต้นจากการกำหนดค่าตัววัดประสิทธิภาพที่มีค่าค่อนข้างต่ำ คือกำหนดให้ค่าสนับสนุน (Support Value) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence Value) มีค่าเป็น 0.27 และ 0.25 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อมีการทดลองด้วยการกำหนดค่าสนับสนุนและค่าความเชื่อมั่นที่สูงผลลัพธ์ที่ได้ คือไม่พบจำนวนของกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น จึงมีการทดลองลดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ลงในแต่ละครั้งเพื่อให้ได้จำนวนของกฎความสัมพันธ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องของปัจจัย จากการทดลองจำนวนของกฎความสัมพันธ์ที่เหมาะสมอยู่ที่ครั้งที่ 10 ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 178 กฎที่เกิดขึ้น จากกฎความสัมพันธ์ที่ได้พบว่ามีเพียง 5 ปัจจัยที่ให้ค่าความถี่ค่อนข้างสูง ได้แก่ ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) สถานภาพการแต่งงาน (Ever Married) ประเภทของงาน (Work Type) โรคหัวใจ (Heart Disease) และอายุ (Age) ดังแสดงใน Table 7

นอกจากนี้เมื่อใช้วิธี Gain Ratio ในการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การคำนวณค่าน้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยที่ทำให้เกิดค่าข้อมูลของทุกคลาสผลลัพธ์จากทั้งหมด 10 ปัจจัย โดยคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าอัตราส่วนเกินที่มากกว่า 0.05 พบว่ามี 5 ปัจจัยที่ผ่านค่าขั้นต่ำนี้ได้แก่ อายุ (Age) ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) สถานภาพการแต่งงาน (Ever Married) โรคความดันโลหิต (Hypertension) และโรคหัวใจ (Heart Disease) ดังแสดงใน Table 8

Table 7 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากที่สุดตามจำนวนปัจจัยที่เกิดขึ้นที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจากขั้นตอนวิธี Apriori และ Table 8 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่คัดเลือกโดยวิธี Gain Ratio พบว่าทั้งสองวิธีได้คัดเลือกปัจจัยที่เหมือนกันจำนวน 4 ปัจจัย

Table 7 Illustrated the factors causing stroke are computed using the Apriori algorithm.

Factors Causing Stroke Compute using Apriori Algorithm
BMI = Obesity
Ever Married = Yes
Work Type = Private
Heart Disease = No
Age = Old age

Table 8 Illustrated the stroke factors causing stroke are computed using the gain ratio technique.

Stroke Factors Causing Stroke Compute using Gain Ratio Technique
Age
BMI
Ever Married
Hypertension
Heart Disease

ประกอบด้วย ดัชนีมวลกาย (BMI) สถานภาพการแต่งงาน (Ever Married) โรคหัวใจ (Heart Disease) และอายุ (Age) ทั้งนี้ มีอีก 2 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกมาจากทั้งสองวิธี ประกอบด้วย ระดับความดันเลือด (Hypertension) และประเภทของงาน (Work Type) ดังนั้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจึงมีทั้งสิ้น 6 ปัจจัย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่คัดเลือกจากทั้ง 2 วิธี มี บางปัจจัยที่แตกต่างกันเป็นเพราะขั้นตอนวิธี Apriori สามารถเลือกการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยของแต่ละคลาสผลลัพธ์ที่สนใจได้จึงสามารถระบุคลาสข้อมูลของแต่ละปัจจัยที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงใน Table 7 และในงานวิจัยมีการเลือกพิจารณากฎความสัมพันธ์ที่ได้เฉพาะปัจจัยการเกิดโรคหลอดเลือดสมองที่เป็น Yes เท่านั้น จากปัจจัยที่เกิดขึ้นยกตัวอย่างจากปัจจัย BMI จะเห็นว่าสามารถระบุได้ว่าปัจจัยที่เป็นค่า BMI ที่ระบุว่าเป็น Obesity หรือโรคอ้วนจะส่งผลทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง เป็นต้น และจะนำกฎความสัมพันธ์ที่ได้ไปคัดเลือกปัจจัยจากการหา Frequent Items ต่อไป ส่วนการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธี Gain Ratio จะคัดเลือกจากทุกๆ คลาสผลลัพธ์ทั้งหมดที่มี ไม่สามารถเลือกวิเคราะห์เฉพาะคลาสผลลัพธ์ที่สนใจได้ เช่น ปัจจัย BMI ก็จะสามารถค่านำหนักของทุกค่าข้อมูลที่มีจึงมีส่วนทำให้ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน จากจุดมุ่งหมายของงานวิจัยหลังจากการคัดเลือกปัจจัยแล้วอันดับที่เกิดขึ้นอาจไม่มีผลมากนักต่อการนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดโรค และปัจจัยที่เกิดขึ้นก็เป็นปัจจัยเดียวกันเกือบทั้งหมดสามารถนำปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยนี้ไปใช้สำหรับการสังเกตอาการของบุคคลที่มีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดสมองเบื้องต้นได้

นอกจากนี้ในงานวิจัยได้กล่าวถึงเหตุผลของการเลือกใช้วิธี Apriori ในการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ซึ่งวิธี Apriori เป็นวิธีการที่ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่มากกว่าวิธี FP-Growth แต่งานวิจัยนี้ยังเลือกใช้วิธี Apriori เนื่องจากเมื่อใช้วิธี FP-Growth ในการหาความสัมพันธ์ สิ่งที่เกิดขึ้นคือไม่มีกฎความสัมพันธ์ใด ๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ทำให้ได้คำตอบ Stroke=Yes ทั้งนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการกระจายของค่าข้อมูลจำนวนมาก และข้อมูลที่นำมาสร้างกฎมีจำนวนไม่มากพอ

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

เนื่องด้วยสภาพแวดล้อมและการใช้ชีวิตของผู้คนในสังคมปัจจุบันส่งผลให้มีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้มีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดสมองจากชุดข้อมูลโรคหลอดเลือดสมองที่ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ Kaggle ที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 10 ปัจจัย ประกอบด้วย เพศ อายุ สถานะการแต่งงาน ประเภทที่อยู่อาศัย ประเภทของงาน การสูบบุหรี่ ดัชนีมวลกาย ระดับความดันเลือด ระดับน้ำตาลในเลือด และภาวะโรคหัวใจ โดยใช้กระบวนการสร้างเหมืองข้อมูล (CRISP-DM) เพื่อทำความเข้าใจข้อมูล วิเคราะห์และจัดเตรียมข้อมูล และสร้างแบบจำลองเพื่อสร้างกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี

Apriori และวิธี FP-Growth โดยการสร้างแบบจำลองได้กำหนดค่าสนับสนุน (Support Value) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence Value) ของทั้ง 2 วิธีการเท่ากัน ที่ 0.27 และ 0.25 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าขั้นต่ำของเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทำให้ได้กฎความสัมพันธ์ถึง 2,706 กฎ จากนั้นพิจารณาเฉพาะกฎที่ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke = Yes) ซึ่งทำให้กฎความสัมพันธ์ลดลงเหลือ 178 กฎ และคัดเลือกเฉพาะกฎที่มีค่าความเชื่อมั่นของกฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 จากนั้นนำกฎความสัมพันธ์ที่ได้มาจำแนกออกทีละปัจจัยเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าความถี่มากที่สุด (Frequent Items)

จากผลการหาความสัมพันธ์ทำให้ค้นพบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง โดยเรียงลำดับตามความถี่ที่เกิดขึ้นของแต่ละปัจจัย จำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่ ค่าดัชนีมวลกาย สถานะการแต่งงาน ประเภทของงาน โรคหัวใจ และอายุ ในงานวิจัยนี้ยังได้ใช้วิธีการคัดเลือกคุณลักษณะพิเศษ (Feature Selection) เพื่อเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองด้วยวิธี Gain Ratio ที่ผ่านค่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ 0.05 จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีค่าอัตราส่วนเกินสูงที่สุด 5 ปัจจัย เรียงตามลำดับดังนี้ อายุ ค่าดัชนีมวลกาย สถานะการแต่งงาน โรคความดันโลหิต และโรคหัวใจ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดปัจจัยของทั้ง 2 วิธีแล้วสามารถคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการพิจารณาการเกิดโรคหลอดเลือดสมองจำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ ค่าดัชนีมวลกาย ช่วงอายุ สถานะการแต่งงาน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิต และประเภทของงาน ที่สามารถคัดเลือกเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การเกิดโรคหลอดเลือดสมองในอนาคต

งานวิจัยในอนาคต: ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองพบว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สมดุล (Imbalance Data) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิค SMOTE เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้มีความสมดุล โดยเพิ่มข้อมูลในส่วนของคลาสที่มีจำนวนน้อย (Minor Class) เพื่อปรับให้มีจำนวนมากขึ้นให้ใกล้เคียงกับข้อมูลในส่วนของคลาสที่มีจำนวนมาก (Major Class) โดยมีจุดประสงค์ที่จะนำข้อมูลทั้งหมดไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตสามารถที่จะทดสอบวิธีการปรับปรุงชุดข้อมูลให้มีความสมดุลที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ได้แก่ Resampling, Ensemble resampling technique และ Near-Miss (Tanimoto *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2021)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคามประจำปีงบประมาณ 2567

เอกสารอ้างอิง

- การสิริณัฐ ไรจนวรรณ และวิชุดา เพชรจิระโชติกุล. (2564). การเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการแทนค่าข้อมูลสูญหาย ของข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 13(2), 326–341.
- กิตติศักดิ์ ขำจิตร, ดารภา ใจคุ้มเก่า, วัชรพงษ์ ภูมิวัง, อาทิตยา สัตนาโค และอนุพงศ์ สุขประเสริฐ. (2565). ประสิทธิภาพของเทคนิคเหมืองข้อมูลสำหรับการพยากรณ์การเกิดโรคหลอดเลือดในสมอง. *วารสารวิทยาการสารสนเทศและเทคโนโลยีประยุกต์*, 4(2), 87–98.
- กันต์ ดวงประเสริฐ และดิลก ต้นทองทิพย์. (2565). การรักษาโรคหลอดเลือดสมองตีบในปัจจุบัน. *วารสารสมาคมโรคหลอดเลือดสมองไทย*, 21(1), 26–42.
- ขวัญชนก เทพปิ่น และปัทมา สุพรรณกุล. (2563). เครื่องข่ายสังคมออนไลน์และโมบายแอปพลิเคชันกับการป้องกันโรคหลอดเลือดสมอง. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี*, 31(1), 198-204.
- จารุณี สุธีร์. (2564). การพัฒนาระบบการคัดแยกผู้ป่วย Stroke Fast Track ของศูนย์รับแจ้งเหตุและสั่งการ โรงพยาบาลโยธธ. *วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน*, 7(1), 158-172.
- ชัชฌ์พงศ์ บุปผาทาเต และจารี ทองคำ. (2563). กฎความสัมพันธ์เพื่อการรักษาผู้ป่วยความดันโลหิตสูง. *วารสารวิชาการนวัตกรรมการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 7(1), 20–28.
- ณัฐกร นิลเนตร. (2562). ปัจจัยเสี่ยงและการป้องกันโรคหลอดเลือดสมอง ในกลุ่มผู้ป่วยความดันโลหิตสูง. *วารสารพยาบาลทหารบก*, 20(2), 51–57.
- ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ. (2561). การประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลาปาง. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลาปาง*, 11(2), 29–39.
- ณิรนุช วรไชยสง, อนุวัฒน์ สุรินราช, จิราภรณ์ จำปาจันทร์, ศิริลักษณ์ วงศ์เครือสอน, ลัดดาวรรณ บุระเนตร, ดวงกมล พลวงศ์ษา และลัดดาวรรณ เคี่ยมก้อม. (2565). ผลของ

โปรแกรมป้องกันความเสี่ยงโรคหลอดเลือดสมองในผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยงที่อาศัยอยู่ในชุมชน. *วารสารวิชาการสุขภาพและสิ่งแวดล้อม*, 1(1), 1-13.

- นัฐพงษ์ ประทีป ณ ถลาง, พลเทพ เกษกุล, วิภาวรรณ บัวทอง และสมใจ จิตคำนึ่งสุข. (2563). เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลแบบการสร้างกฎความสัมพันธ์ในการจัดการร้านอาหาร. *วารสารวิชาการชาชนนเทค มรภ.ภูเก็ต*, 4(1), 1–12.
- ปฏิพัทธ์ ปถุชานนท์ และวงกต ศรีอุไร. (2561). การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงการออกกลางคัน ของนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีศึกษา*, 1(2), 123–133.
- ประมุล สุขสกาบ่มอง และพยุ่ง มีสัง. (2562). การค้นหาความสัมพันธ์ด้วยการนับความถี่ของเส้นเชื่อมกราฟแบบเพิ่มเติมได้และสร้างกฎความสัมพันธ์แบบพลวัตสำหรับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 21(3), 127–139.
- ปิยะนุช จิตตนนท์, อภรณ์ทิพย์ บัวเพ็ชร, พิมพิศา ศักดิ์สองเมือง, วิชัย อารับ, สุวินิตย์ วงศ์ยงค์ศิลป์, และณัท ทอลเตอร์. (2564). ความรู้โรคหลอดเลือดสมองและพฤติกรรมป้องกัน ของกลุ่มเสี่ยงโรคหลอดเลือดสมอง: กรณีศึกษาตำบลห้วยนาง จังหวัดตรัง. *วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์*, 41(2), 13–25.
- พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล. (2562). เทคนิคการจำแนกข้อมูลที่พัฒนาสำหรับ ชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลของภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(6), 1164–1178.
- พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ และยุวดี กล่อมวิเศษ. (2562). การพัฒนากฎการทำนายผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล. *วารสารวิจัยรามคำแหง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 23(1), 17-25.
- ภัทรา วัฒนพันธ์. (2561). การฟื้นฟูสภาพผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและการป้องกันภาวะแทรกซ้อน. *วารสารประสาทวิทยาศาสตร์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, 12(1), 31-43.
- วิทยา ปัญญา และ วุฒิชัย ร่มสายหยุด. (2566). วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมการผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล จากชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 42(2), 47–57.
- สมาคมโรคหลอดเลือดสมองไทย. (2562). *สถานการณ์โรคหลอดเลือดสมองในประเทศไทย. Thai Stroke Society.*

- <https://thaistrokesociety.org/>
- สกลานนท์ ไทยเขียว และภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ. (2564). การพัฒนาตัวแบบสืบค้นพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษา โดยใช้อัลกอริทึมเอโพรออริ. *วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ*, 15(1), 31–44.
- อุดม สุทธิพนไพศาล. (2563). โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke). *MedPark Hospital*. <https://www.medparkhospital.com/content/stroke>.
- Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules in large databases. *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases* (pp. 487–499).
- Ampornphan, P. (2021). Association analysis of COVID-19 outbreak in Thailand using data mining techniques. *PSAKU International Journal of Interdisciplinary Research*, 10(2), 21–33.
- Bagui, S., Devulapalli, K., & Coffey, J. (2020). A heuristic approach for load balancing the FP-growth algorithm on MapReduce. *Array*, 7, 100035.
- Butryn, B., Chomiak-Orsa, I., Hauke, K., Pondel, M., & Siennicka, A. (2021). Application of machine learning in medical data analysis illustrated with an example of association rules. *25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems* (pp. 3134–3143). Elsevier B.V.
- Das, S., Dutta, A., Jalayer, M., Bibeka, A., & Wu, L. (2018). Factors influencing the patterns of wrong-way driving crashes on freeway exit ramps and median crossovers: Exploration using 'Eclat' association rules to promote safety. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7(2), 114–123.
- Dupre, M. E., & Lopes, R. D. (2023). Marital history and survival after stroke. *Journal of the American Heart Association*, 5(12), 1–10.
- Hassan, M., Karim, A., Mollick, S., Azam, S., Ignatious, E. & Haque, A. S. M. F. A. (2023). An Apriori algorithm-based association rule analysis to detect human suicidal behaviour. *International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN – International Conference on Project MANagement / HCist -International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2022* (pp. 1279–1288). Elsevier B.V.
- Huang, C., Huang, X., Fang, Y., Xu, J., Qu, Y., Zhai, P., Fan, L., Yin, H., Xu, Y., & Li, J. (2020). Sample imbalance disease classification model based on association rule feature selection. *Pattern Recognition Letters*, 133, 280–286.
- Kittiphattanabawon, N. (2022). Uncovering the most and the least factors affecting elderly health using association mining. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 16(2), 174–185.
- Khumros, W., & Ekprechakul, T. (2019). Cerebrovascular disease, risk factors, and quality of life: A systematic review. *Chulalongkorn Medical Bulletin*, 1(5), 473–487.
- Mohammed, S. N. (2023). Diagnosis of COVID-19 infection via association rules of cough Encoding. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 17(1), 95–104.
- Pasha, S. J., & Mohamed, E. S. (2022). Advanced hybrid ensemble gain ratio feature selection model using machine learning for enhanced disease risk prediction. *Informatics in Medicine Unlocked*, 32, 101064.
- Pereira, R. M., Costa, Y. M. G., & Silla Jr., C. N. (2021). Toward hierarchical classification of imbalanced data using random resampling algorithms. *Information Sciences*, 578, 344–363.
- Plotnikova, V., Dumas, M., & Milani, F. P. (2022). Applying the CRISP-DM data mining process in the financial services industry: Elicitation of adaptation requirements. *Data & Knowledge Engineering*, 139, 102013.
- Papi, R., Attarchi, S., Bolorani, A. D., & Samany, N. N. (2022). Knowledge discovery of Middle East dust sources using Apriori spatial data mining algorithm. *Ecological Informatics*, 72, 101867.
- Shabtay, L., Fournier-Viger, P., Yaari, R., & Dattner, I. (2020). A guided FP-Growth algorithm for mining multitude-targeted item-sets and class association rules in imbalanced data. *Information Sciences*, 553, 353–375.
- Tanimoto, A., Yamada, S., Takenouchi, T., Sugiyama, M., & Kashima, H. (2022). Improving imbalanced

classification using near-miss instances. *Expert Systems with Applications*, 201, 117130.

Kleindorfer, D. O., Towfighi, A., Chaturvedi, S., Cockroft, K. M., Gutierrez, J., Lombardi-Hill, D., Kamel, H., Kernan, W. N., Kittner, S. J., Leira, E. C., Lennon, O., Meschia, J. F., Nguyen, T. N., Pollak, P. M., Santangeli, P., Sharrief, A. Z., Smith Jr., S. C., Turan, T. N., & Williams, L. S. (2021). 2021 Guideline for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: A guideline from the American heart association/American stroke association. *Stroke*, 52(7), 364–467.

Wang, H.-B., & Gao, Y.-J. (2021). Research on parallelization of Apriori algorithm in association rule mining. *10th International Conference of Information and Communication Technology* (pp. 641–647). Elsevier B.V.

Wang, X., Song, C., Xiong, W., & Lv, X. (2018). Evaluation of flotation working condition recognition based on an improved Apriori algorithm. *IFAC-PapersOnLine*, 51(21), 129–134.

World Stroke Organization. (2020). โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke). *MedPark Hospital*. www.medparkhospital.com/content/stroke.

Zhang, H., Yang, W., Yi, W., Lim, J. B., An, Z., & Li, C. (2023). Imbalanced data based fault diagnosis of the chiller via integrating a new resampling technique with an improved ensemble extreme learning machine. *Journal of Building Engineering*, 70, 106338.

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีตบดเปลือกกลวงผสมเถ้าชานอ้อย

Analysis of the physical and mechanical properties of concrete masonry units mixed with sugarcane bagasse ash

กุลธิดา บรรจงศิริ¹, จิรัญดี บรรจงศิริ^{2*} และ บุญชัย เชิญเกียรติประดับ³

Kultida Bunjongsiri¹, Jirat Bunjongsiri^{2*} and Boonchai Chearnkiatpradab³

Received: 8 May 2023; Revised: 3 July 2023; Accepted: 4 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อหาอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าชานอ้อยปริมาณร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก บ่มน้ำเป็นเวลา 3 7 และ 28 วัน ควบคุมค่าการไหลแพร่ที่ $110 \pm 5\%$ ผลการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบว่า เถ้าชานอ้อยประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นสารประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า อนุภาคเถ้าชานอ้อยมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีรูพรุนมาก จัดเป็นวัสดุปอซโซลานใกล้เคียงคลาสซี มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.21 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา ร้อยละ 10.85 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบทางกลพบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยที่ร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ลดลงตามลำดับที่ 247.59 230.75 193.30 159.53 และ 149.44 กก./ซม.² การขึ้นรูปของคอนกรีตที่อัตราส่วนมอร์ตาร์ต่อมวลรวมหยาบ (หินเกล็ด) สามารถเริ่มต้นขึ้นรูปได้ที่อัตราส่วน 1:1.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้ค่าที่ดีที่สุด เมื่อใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในมอร์ตาร์ ร้อยละ 10 ได้ค่าเฉลี่ย 33.74 กก./ซม.² ซึ่งผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบดผงแบบไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2560 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเถ้าชานอ้อยสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ได้บางส่วนเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการเลือกใช้วัสดุเชื่อมประสานจากเถ้าชานอ้อยด้วยสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านคุณภาพและราคา

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย, ชีวมวล, สมบัติเชิงกล, กำลังรับแรงอัด

Abstract

This study set out to determine how cement to sugarcane bagasse ash (SCBA) ash ratios affected the physical and mechanical properties of SCBA-concrete mixes. Cement to SCBA ratios of 0, 10, 20, 30, 40, and 50% by weight of binder were used in the trials. Examples of concrete were cast, and were subsequently cured in water for 3, 7, and 28 days while keeping a slump flow percentage of $110 \pm 5\%$. Data from test results were quantitatively and comparably analyzed. The results from X-ray fluorescence showed that half of the composition in SCBA was SiO_2 . Using a Scanning Electron Microscope it was found that the bagasse ash particles had an irregular shape with highly porous texture; it was classified as nearby Class C pozzolan, with an average specific gravity of 2.21. Bagasse ash sample

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี 11120

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพมหานคร 10160

³ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพมหานคร 10160

¹ Assistant Professor, School of Health Science, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, 11120

² Assistant Professor, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Bangkok, 10160 Email: Jiratb@gmail.com

³ Lecturer, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Bangkok, 10160

* Corresponding author, Email: Jiratb@gmail.com

lost 10.85 % of its weight during ignition. Mechanical tests of the compressive strengths of mortar blended with bagasse ash at 10, 20, 30, 40, and 50 % by weight were 247.59, 230.75, 193.30, 159.53, and 149.44 kg/cm², respectively. To make concrete masonry units, it was possible to combine mortar and coarse aggregate (chipped stone) in a 1:1.5 ratio with 10% bagasse ash substitution, which produced the best results. The concrete masonry unit had an average compressive strength of 33.74 kg/cm², making it a hollow non-load-bearing concrete masonry unit, in accordance with TIS 58-2560 (Thai Industrial Standards Institute). The results demonstrate that SCBA can assist lower production costs by serving in some cases as a cement substitute. To profit from advantages in both quality and cost, it is crucial to take into account the selection of binders from SCBA as biomass.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, biomass, mechanical properties, compressive strengths

Introduction

With increased construction of buildings in both urban and rural areas, there has been a constant increase in the need for construction materials. There is no denying the continued popularity of conventional building materials. Sandstone, limestone, marble, granite, and soils rich in clay are among the available natural resources. It is therefore essential to give this problem careful thought and to propose some sustainable solutions in order to make alternative materials available to address it. The construction sector consumes a significant portion of the world's yearly resource consumption—nearly 50; which places a strain on the environment, ecosystems, and natural resources (Meglin *et al.*, 2022). Many scientists from different nations have experimented with using sugarcane bagasse ash (SCBA) as a partial replacement for cement and a small amount of fine aggregate in concrete (Thomas *et al.*, 2021; Khalil *et al.*, 2021; Batool *et al.*, 2020; Yogitha, 2020). After burning sugarcane bagasse, is left behind after all of the economically viable sugar has been extracted from sugarcane, sugar factories produce sugarcane bagasse ash (Minnu, *et al.*, 2021). Bottom ash from the boilers and fly ash from the gas washers are also parts of bagasse ash. Both organic and inorganic components make up the ashes, however fly ash has a higher percentage of organic material than bottom ash. Alumina and silica around the sugar mills are reported to contribute to environmental problems brought on by the disposal of this material (Lathamaheswari *et al.*, 2017). In Thailand, more than 200,000 tons of bagasse ash are produced

annually. The primary benefits of bagasse ash are that it is ready for use and less expensive to produce because it is produced by already-existing plant (Athira *et al.*, 2021). Thailand is one of the world's top producers of sugar; the country produces enormous amounts of garbage, which could cause disposal issues if proper management practices aren't used (Gheewala *et al.*, 2019). SCBA, or sugarcane bagasse ash, is a type of solid waste produced by the sugar processing sector. Each ton of bagasse burned may produce 25–40 kg of bagasse ash (Amin *et al.*, 2022), and as a result, a sizeable amount of SCBA may be produced. Globally, 1,500 Mt of sugarcane are produced each year, and once the juice is extracted in sugar mills, 40–45% of that crop is bagasse (Shafiq *et al.*, 2016). Bagasse ashes refer to both bottom and fly ashes that are produced as byproducts of burning or incineration. In most modern plant, fly ash and bottom ash are combined in the water channel that exits the gas washer (Prasad *et al.*, 2022). This waste is often dumped into sumps and, in certain cases, applied to the ground as a soil amendment (Kishor *et al.*, 2022). It has been commonly advised to take bagasse ash into consideration as a nonhazardous waste item (Khawaja, *et al.*, 2021; Thomas *et al.*, 2021). The use of SCBA, an agro-industrial residue available in many nations, has been shown to typically improve the behavior of cementitious construction materials, as shown by earlier comprehensive investigations (de Sande *et al.*, 2021). Concrete, including cementitious material (Quedou *et al.*, 2021), recycled aggregate concrete (Yashwanth *et al.*, 2019), high-performance concrete (Wu *et al.*, 2022; Murugesan, *et*

al., 2020), and ordinary concrete (Loganayagan *et al.*, 2021; Abbas *et al.*, 2020), have utilized SCBA as a pozzolanic ingredient. Being nonhazardous, however, does not necessarily imply that it has no effect on the environment. Due to the common use of SCBA as fertilizer or its disposal in landfills, environmental issues have grown more serious (Xu, *et al.*, 2018). However, with numerous applications, including sealing materials, pozzolanic material, blocks, and soil amendment activities, the economic significance of this solid waste has been realized. Compared to other common pozzolans, there has been relatively little study of the use of SCBA as a cement replacement material in concrete.

Based on the feasibility of SCBA as a cement replacement material, this study has sought to replace the cement in the concrete mixture to the extent of 0, 10, 20, 30, 40, and 50% by weight. The results of multiple tests are presented. Morphology, elemental make-up, and physico-mechanical properties including compressive strength, mortar test, and water absorption are all considered throughout the inspection. Additionally, the concrete sample's forming test and Vebe test were examined.

Materials and methods

Materials

The sources of the materials used in this investigation were as follows

Cement. Type I ordinary Portland cement is the most widely used type of cement. Numerous tests were performed including standard consistency tests, setting time tests, etc.

Fine Aggregate. Sand is typically used as the fine aggregate. A minimum void ratio should be achieved by the sand particles; a greater void ratio necessitates the use of more mixing water.

Coarse Aggregates. Crushed aggregates were normally employed and in this work were nominally evaluated at a maximum size of 9.5 mm.

Water. Water from the Metropolitan Water Supply that complied with ASTM C192/C192M for water for concreting and curing materials was used.

Sugarcane Bagasse Ash. The sugarcane bagasse was collected at the Kornburi Sugar Plant in the Nakhon Ratchasima area of Thailand. Subsequently, SCBA was sorted using a standard sieve No. 16 (1.18 millimeter in diameter) with a hold size of No. 200 (75 micrometers in diameter) to remove big particle pollutants caused by the incomplete combustion process. In the mixture, SCBA was used as a pozzolanic material to replace cement to the extent of 0, 10, 20, 30, 40, and 50% by weight of the binder.

Mortar and concrete mixes design

This section briefly describes an assessment of the mortar and concrete in addition to the SCBA types that were used. The preparation of materials and testing material properties were evaluated at the Material and Testing Laboratory, Department of Civil Engineering, Southeast Asia University.

1. Concrete masonry was made using a hand-pouring mold that was suggested by a seller of concrete masonry molds. In summary: the mixture was pushed firmly into the framework using a stick until it reached approximately a third of the way up the mold. The mold was then filled to approximately 2/3 full with the mixture. The final layer of mixture was added into the mold with a forceful push. Finally, the mold was disassembled after giving the surface a firm push to level it.

2. To evaluate the water content of the mortar, bagasse ash was used in place of cement at weight ratios of 0, 10, 20, 30, 40, and 50%, with flow control set at $110 \pm 5\%$ in line with ASTM C1437.

3. To produce a concrete masonry unit in accordance with ASTM C109, the first two ratios with the highest compressive strength were chosen, and the mortar's compressive strength was tested at days 3, 7, 14, and 28. An experiment was conducted to determine the results of the ASTM C 311-02 compliant mortar test for the Strength Activity Index.

4. The concrete masonry mixture was made using a 1:2.75 cement to sand ratio in accordance with ASTM C230. After much trial and error, a mortar: coarse aggregate ratio of 1:1.5 was used for the forming process, with bagasse ash being used in place of one part of cement at weights of 0, 10, and 20%.

5. Concrete utilized for the shaping of concrete masonry units was mostly slump-free and relatively dry. The ASTM C143 slump test was not appropriate in this case since it cannot identify the mixes for concrete masonry unit forming and we employed pozzolanic elements in the mortar. Instead, the researcher determined the appropriate water to binder ratio using Vebe testing in line with BS EN 12350-3. Vebe is a useful laboratory test that benefits from having a treatment of concrete that is relatively similar to the manner of placement in practice (Shamsaei *et al.*, 2019). A typical slump cone is put within a 305 mm diameter cylinder, which is rigidly attached on a flow table and adjusted to provide a drop. After the slump cone has been properly filled and removed, the concrete is covered with a disc-shaped rider. When the glass plate rider is entirely covered in concrete and all crevices in the concrete's surface have vanished, the remolding is thought to be finished. The time in seconds, known as the Vebe time, needed for the remolding to be completed is considered to be a measure of the mix's workability and is stated as the input of energy required for compaction.

6. Concrete masonry unit formwork testing using a trial-error ratio for the cement mortar to coarse aggregate ratio. Once the appropriate ratio for forming had been established, the compressive strength of the concrete masonry unit was then tested based on significant criteria, with reference to the Thai Industrial Standard (TIS 57-2533 and TIS 58-2533) and the American Society for Testing and Materials (ASTM C140, ASTM C90 and ASTM C129).

Analytical methods

The data analysis is organized into three sections. The first section examines mortar by investigating the impact of water content on flow values and compressive strength of mortar that mixes bagasse ash in a variety of ratios. The second section examined the impact of concrete using the test-derived mortar to coarse

aggregate ratio of 1:1.5, controlled by the slump value at 0, and then the VB duration was determined and a compressive strength test was performed after 28 days. The type of concrete blocks that were produced from the study are evaluated in the last section of this report by comparing the compressive strength of concrete blocks to TIS criteria.

Results and discussion

Physical characteristics of materials

Cement: The specific gravity of cement is 3.17 as per ASTM C118-16.

Fine Aggregate. Specific gravity and fine aggregate adsorption in this investigation were 2.54 (per ASTM C128) and 1.01 (per ASTM C29), respectively. Fine aggregate is defined as fractions between 4.75 mm and 150 microns, and its unit weight in its loose state is 1,620 kg/m³.

Coarse Aggregates. The specific gravity of coarse aggregate was 2.68 as per ASTM C127, the adsorption of coarse aggregate was 2.05 as per ASTM C29. In its loose state, coarse aggregate had a bulk density of 1,540 kg/m³.

Sugarcane Bagasse Ash The specific gravity of SCBA was 2.21 as per ASTM C118-16.

Chemical composition of Portland cement and SCBA. The chemical composition of Portland cement and raw SCBA was investigated using a wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometer (XRF) at the Materials Technology Laboratory, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi. The results are listed in Table 1.

The percentage of pozzolanic oxide ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) in SCBA's total composition was 55.65 %. Because of its high amount of SiO_2 , SCBA has been shown in several investigations to have a chemical composition that is ideal for usage as a pozzolanic mineral (Zaheer, & Tabish, 2023; Lyra *et al.*, 2021).

Table 1 Chemical composition of Portland cement and SCBA, in wt%.

Chemical composition of the binder	Portland cement (%)	SCBA (%)
Silicon Dioxide (SiO ₂)	20.9	50.0
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	4.8	3.16
Calcium Oxide (CaO)	65.4	2.93
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.4	2.49
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.4	2.27
Phosphorus pentoxide (P ₂ O ₅)	-	1.21
Magnesium Oxide (MgO)	1.3	1.05
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2.7	0.48
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.3	0.21
Loss on ignition (LOI)	1.0	10.85

Morphological Aspects

Scanning electron microscopy (SEM) has been widely utilized by researchers to examine the microstructure of SCBA concrete because it can show how the material transforms morphologically from raw components to hydrated forms (Zaheer & Tabish, 2023; Li *et al.*, 2022). The surface micrographs of the particles are provided by the SEM analysis. The carbon particles of SCBA have been found to be similar to elongated oval shapes (columnar fibrous structure), which have a variety of sizes and shapes (Jagadesh *et al.*, 2020). Additionally, there are prismatic (tetrahedral) particles present, which are similar to crystalline silica and have a well-structured edge. For partially burned particles, it has also been reported that they have a high percentage of porosity and a cellulose sheet-like pattern (Jagadesh *et al.*, 2020). The cellular sheet patterns found in SCBA have been linked in some studies to the imperfect development of crystalline phases that accumulate as meta-stable crystalline particles, making them water-absorbent (Zaheer & Tabish, 2023; Jagadesh *et al.*, 2020). As previously mentioned, SEM reveals the SCBA particles to have surface holes and having a cellular sheet pattern, oval forms, elongated layered shapes (fibrous structure), and prismatic tetrahedral shapes (crystal silica structures) (incomplete crystallinity). Raw SCBA was tested SEM at the King Mongkut's University of Technology Thonburi's Materials Technology Laboratory and its properties matched those of cristobalite

silica. Figure 1 depicts the particle shape of the SCBA used in this study. SEM imaging, which has improved contrast and spatial resolution, makes it possible to identify cementitious materials in SCBA and provides supplementary capabilities for element analysis. The pozzolanic activity of SCBA can be lowered by the raw SCBA, which typically burns inefficiently and contains a lot of fiber particles with a high amount of amorphous carbon (Li *et al.*, 2022). Cristobalite particles have a well-structured edge with a smooth surface, as seen in Figure 1(a). Even after burning, SCBA, which is only made up of fibers, may still produce particles with prismatic or elongated layered morphologies or fibrous structures, as indicated by the fibers in Figure 1(b). The crystalline phases are shown in Figure 1(c), while the surface pores that still plainly exist are shown in Figure 1(d). Figure 1(e) depicts a high proportion of porosity in the SCBA structure, while Figure 1(f) displays tetrahedral forms, crystal silica structures, and imperfect crystallinity particles.

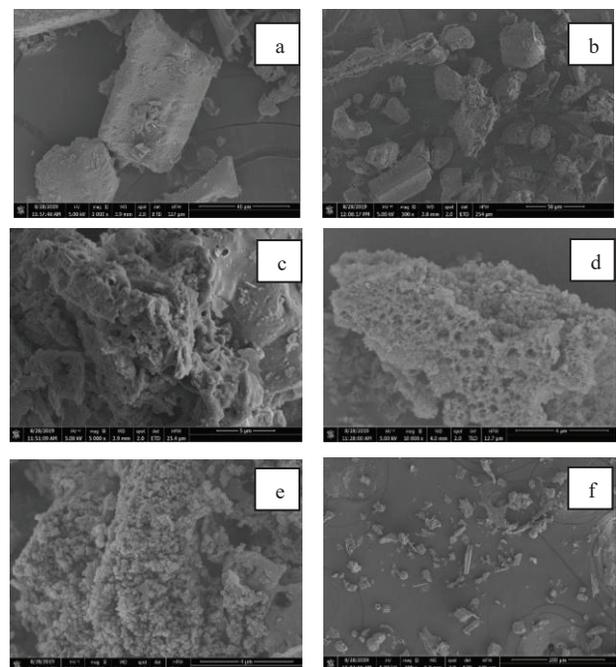


Figure 1 Morphology of SCBA's particle; well-structured edge (a), elongated layered shapes (fibrous structure), and prismatic (b), crystalline phases (c), surface holes (d), high percentage of porosity (e), and tetrahedral shapes, crystal silica structures, and incomplete crystallinity (f).

Mortar test results

1. According to ASTM C230 standard, a flow table test was used to gauge how much water the mortar mixture needs in order to flow properly. Prior to casting into a test bale for additional compressive strength testing and use as the starting mix ratio, a test to determine the amount of water to establish the percentage flow (Percent Flow) must be between $110\pm 5\%$. The flow test was carried out to determine the quantity of water required in the mortar mixture. Since it is acceptable for concrete of high and very high workability, including flowing concrete that would demonstrate a collapse slump, the flow test has grown in popularity in recent years (Shamsaei *et al.*, 2019). The test's outcomes are described in full below. The Khonburi Sugar Factory's bagasse ash was sieved using a standard No. 16 sieve to remove large particle contaminants caused by incomplete combustion before being subjected to an ASTM C230 test to determine its

water content. With a flow control of $110\pm 5\%$, bagasse ash concentration of 0, 10, 20, 30, 40, and 50 % cement displacement. The ASTM C109 standard was followed while measuring compressive strength.

2. Table 2 lists the top two ratios that had the maximum compressive strength after the mortar from the combination was tested at age 3, 7, 14, and 28 days. These ratios were chosen to be further molded into concrete masonry units.

It was found that the flow rates of both the conventional mortar and the bagasse ash-mixed mortar were between 105 % and 115 %. The amount of water needed for the bagasse ash mortar was discovered to be 75.70, 88.38, 85.29, 92.01, 95.15, and 103.91 % at 3, 7, 14, and 28 days respectively. These values were higher than those for the normal mortar by percentages of 16.75, 12.67, 21.55, 25.69, and 37.27, respectively.

Table 2 Flow test results according to ASTM C230 and compressive strength tests of mortar according to ASTM C109

Amount of SCBA (percent)	W/C	Percent Flow (%)	Compression strength test (ksc.)			
			3 days	7 days	14 days	28 days
0	0.75	110	71.94	167.86	193.76	337.53
10	0.88	110	62.79	146.52	165.26	270.25 ⁽¹⁾
20	0.85	110	38.44	89.7	130.15	238.94 ⁽²⁾
30	0.92	110	30.46	71.07	99.49	202.52
40	0.95	110	21.49	30.45	50.15	167.79
50	1.03	110	11.96	13.05	27.45	149.43

Note: (1) the first rank of compressive strength,
(2) the second rank of compressive strength

When the amount of bagasse ash increases, it has an impact on the pourability (Workability) and a tendency to require more water. According to the literature, the application of SCBA might alter the workability of concrete depending on factors including slump, water demand, and superplasticizer content. In general, replacing cement in concrete with SCBA will cause the concrete to slump less and require more water and superplasticizer (Chi, 2012)., Using the results of the mortar test, the Strength Activity Index was calculated in accordance with ASTM C 311-02 when pozzolanic materials were being used. The test findings matched Table 3's calculations of the strength index when pozzolanic materials were used.

Table 3 Strength Activity Index at day 28th in accordance with ASTM C 311-02.

Amount of SCBA (percent)	Strength Activity Index (percent)	Remark
0	100	Standard
10	80.07	1 st rank
20	70.79	2 nd rank

Vebe Test Results

According to the Vebe test findings, fresh mixes were made using the same components and mix ratios for the Vebe test. A digital stopwatch was used to measure the passing of the Vebe test after 15 minutes

since the addition of water. The mean time found by testing was 493 seconds for 0% of SCBA replacement, 227 seconds for 10% of SCBA replacement, and 127 seconds for 20% of SCBA replacement. The amount of bagasse ash added contributed to the increased pourability by forming, since it was discovered that the amount of bagasse ash displaced to cement resulted in a shorter period.

Trial-Error Forming Test

The ability to create concrete masonry units from different mixtures of cement mortar and coarse aggregate was investigated. Based on the findings of an early molding test, the trial-error forming test was undertaken. When the proportion of coarse aggregate in concrete is low, a problem arises from the aggregate being too dry, which prevents it from forming because it absorbs too much water. However, if there is an excessive amount of coarse aggregate present, it may interfere with the concrete forms. Even after double the amount of coarse aggregate was used, there was still not enough mortar. As a result, it never forms. Reducing the amount of coarse aggregate will result in more mortar being required to keep the shape. The formability of concrete masonry units were using a cement mortar to coarse aggregate ratio. The test findings showed that even with 10% bagasse ash in place of cement, the sample may not have formed perfectly, but it was still sufficient to form, if imperfectly. In a test on the formability of concrete masonry units, 600 samples were initially molded using different binder ratios; the best ratio, albeit with a reasonable amount of formability, was discovered to be 1:1.5. Figure 2 illustrates the crack that existed before the test, necessitating the casting of additional test specimens to provide enough cubes for the compressive strength test.



a) unformable

b) formable

Figure 2 Forming effect of mortar to coarse aggregate.

Concrete masonry unit test results

Several factors, including SCBA properties, curing time, and replacement amount, have major impacts on the development of SCBA concrete's compressive strength (fineness, silicon and aluminum oxide content and loss on ignition) (Li *et al.*, 2022). We tested the compressive strength of concrete masonry units following the initial molding test. It was discovered that some samples shrank when dried, causing cracks to form before compressive strength was evaluated. The preliminary results of the compressive strength test agreed with Table 4.

Table 4 Results of tests comparing the compressive strength of concrete masonry units at 7, 14, and 28 days.

Mortar* to coarse aggregate ratio	Amount of SCBA (percent)	Compressive strength of concrete masonry unit (ksc.)		
		7-day	14-day	28-day
1:1.5	0	38.30	53.79	66.90
1:1.5	10	31.29	48.07	62.86
1:1.5	20	32.53	36.57	37.12

Note: *Mortar (Cement:Sand) 1:2.75 from ASTM C109.

The test findings for compressive strength from Table 4 demonstrate that the non - load bearing block standard was met. The crucial requirements outlined above are based on American standards ASTM C90 and ASTM C129, and the relevant Thailand Industrial Standards are TIS 57-2533 and TIS 58-2533. Walls made of concrete masonry units are not load-bearing. By outlining two crucial concrete masonry unit requirements, namely that the average compressive strength of five blocks of concrete be at least 25 ksc. In accordance with ASTM standards, the tolerance cannot be greater than 2 mm. The average was not less than 42.22 ksc. when the parameters for compressive strength of concrete masonry units are specified. On the other hand, the walls formed of concrete masonry units do not exceed the requirements stated in the aforementioned standard because they have an average compressive strength of at least 140.72 ksc. Results of tests on mixtures that meet

the concrete masonry unit standard, but not load-bearing walls, showed that the ash mixture was between 0 and 10% at 14 days of age. The first ratios discussed above ranged in average from 48.07 ksc. to 66.90 ksc, which were greater than the necessary standard. No mixtures met the required standards when they were 7 days old, and no mixtures met the required standards when the 20% cement substitute mixture was tested. From the standpoint of development, it is evident from Table 4 that swapping out bagasse ash preserves the pattern of growth of compressive strength. The problem, however, was with the slurry that was created by the flow of the mortar. For all mix ratios, the concrete cubes' compressive strength increased with curing age and decreased as SCBA content rose. At 28 days of age, the percentages of compressive strength that were reduced for cement replacements of 10% and 20% with SCBA as opposed to controls were 6.08% and 44.51%, respectively.

Concrete masonry units mixed with sugarcane bagasse ash was tested for their fresh characteristics by Subramaniyan and Sivaraja (2016) who reported that the workability of concrete depends on the SCBA concentration and increases with its presence., Patel and Rajjiwala (2015) also carried out experimental work on SCBA concrete. All of the SCBA mixes under consideration exhibited high slump values, according to their results, with the exception of the concrete with 0% SCBA. For M20 grade concrete, Srinivasan & Sathiya (2010) evaluated the impact of SCBA as a cement substitute. In their study, cement weight was used in place of 5–25% SCBA. According to authors, concrete with 5% SCBA is the best alternative for M20 grade concrete, and concrete with 10% SCBA has a compressive strength that is higher than the recommended mix. Likewise, Kiran & Kishore (2017) prepared the concrete with up to 25% SCBA. The authors deduced from test findings that 5% is the ideal replacement, and that concrete containing 15% SCBA produced a compressive strength that was higher than that of the reference mix. In the study by Hussein *et al.* (2014), they carried out experimental work on bagasse ash concrete in which cement is substituted for 5–30% of the SCBA. Bagasse ash was sourced from

a sugar mill and pulverized in a Los Angeles abrasion machine until more than 95% of the particles passed through a 45-mesh filter. The findings demonstrated that adding bagasse ash to concrete up to 20% enhanced its compressive strength significantly. The highest compressive strength, according to the authors, was attained with a SCBA replacement rate of 5%. Mangi *et al.* (2017) performed an experimental analysis on M15 concrete. When SCBA is used in place of cement in concrete at a rate of 5%, as was done in the compressive strength test, the average amount of compressive strength will rise by around 11.50% compared to concrete of normal strength. Additionally, the compressive strength of both grades of concrete (M20 and M15) containing SCBA was shown to be reduced at the early ages but considerably increases with longer curing times.

Conclusion and suggestions

This section is based on an overview of recent research that examined the impact of SCBA as a cement substitute on specific properties of concrete. Concrete containing SCBA is described along with its mechanical, fresh, and durability features, as well as its advantages for the environment. The conclusions are as follows.

1. Pozzolanic activity exists in SCBA, which can be used as supplementary cementitious materials in concrete. The raw SCBA frequently has a rough surface, a large particle size, and a high loss on ignition, making it inappropriate for use directly in concrete and necessitating correct treatment. Sieving, burning, grinding, and chemical treatment are frequent treatment techniques that can enhance SCBA's pozzolanic activity. Additionally, the effectiveness of the treatment might be increased more by combining different approaches.

2. According to SEM, the microstructure of processed SCBA particles and SCBA-containing concrete is consistent and compact. In general, SCBA can reduce concrete's porosity, however due to variations in the material's qualities and treatment approaches, porosity in some cases will rise. However, the addition of SCBA to concrete transforms the bigger pores into tiny ones and enhances pore distribution. The shape and pore structure

of SCBA concrete are thinner due to the dense hydration products and decreased wall effect.

3. The compressive strengths of concrete containing SCBA develop roughly as they would with no SCBA added after a 10% SCBA cement substitution. Numerous experiments have demonstrated how Portland cement replacements using 10% by weight of SCBA can produce concrete with exceptional mechanical properties and durability. Strength declines at early curing age because of the diluting effect and the delayed influence of high loss on ignition on the hydration process. However, strength rises as pozzolanic reactions become more intense with later cure ages. Concrete with a high silicon aluminum oxide content, concrete with a low level of SCBA loss on ignition, and pretreatment methods that produce tiny particles all enhance the mechanical properties of concrete containing SCBA.

Acknowledgments

The authors acknowledge funding assistance from the Institute for Research and Development of Sukhothai Thammathirat Open University for this study. Additionally, we also want to thank the Kornburi Sugar Factory in Thailand's Nakhon Ratchasima district for providing SCBA.

References

- Abbas, A. N., Al-Nealy, H., Al-Saadi, A., & Imran, M. (2020). The effect of using sugar-cane bagasse ash as a cement replacement on the mechanical characteristics of concrete. *In Materials Science Forum* (pp. 565-577). Trans Tech Publications Ltd.
- Amin, M. N., Ahmad, A., Shahzada, K., Khan, K., Jalal, F. E., & Qadir, M. G. (2022). Mechanical and microstructural performance of concrete containing high-volume of bagasse ash and silica fume. *Scientific Reports*, 12(1), 5719.
- Athira, G., Bahurudeen, A., & Vishnu, V. S. (2021). Quantification of geographical proximity of sugarcane bagasse ash sources to ready-mix concrete plants for sustainable waste management and recycling. *Waste Management & Research*, 39(2), 279-290.
- Batool, F., Masood, A., & Ali, M. (2020). Characterization of sugarcane bagasse ash as pozzolan and influence on concrete properties. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 3891-3900.
- Chi, M.-C. (2012). Effects of sugar cane bagasse ash as a cement replacement on properties of mortars. *Science and Engineering of Composite Materials*, 19(3), 279-285.
- De Sande, V. T., Sadique, M., Pineda, P., Bras, A., Atherton, W., & Riley, M. (2021). Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete. *Journal of Building Engineering*, 39, 102277.
- Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Bonnet, S. (2019). Biofuel production from sugarcane in Thailand. *Sugarcane Biofuels: Status, Potential, and Prospects of the Sweet Crop to Fuel the World*, 157-174.
- Hussein, A. A. E., Shafiq, N., Nuruddin, M. F., & Memon, F. A. (2014). Compressive strength and microstructure of sugar cane bagasse ash concrete. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(12), 2569-2577.
- Jagadesh, P., Murthy, A. R., & Murugesan, R. (2020). Effect of processed sugar cane bagasse ash on mechanical and fracture properties of blended mortar. *Construction and Building Materials*, 262, 120846.
- Kishor, R., Singh, V. P., & Srivastava, R. K. (2022). Mitigation of expansive soil by liquid alkaline activator using rice husk ash, sugarcane bagasse ash for highway subgrade. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 15(4), 915-930.
- Khalil, M. J., Aslam, M., & Ahmad, S. (2021). Utilization of sugarcane bagasse ash as cement replacement for the production of sustainable concrete A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121371.
- Khawaja, S. A., Javed, U., Zafar, T., Riaz, M., Zafar, M. S., & Khan, M. K. (2021). Eco-friendly incorporation of sugarcane bagasse ash as partial replacement of sand in foam concrete. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100164.
- Kiran, K., & Kishore, I. S. (2017). An experimental study on partial replacement of cement with bagasse ash

- in concrete mix. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(1), 452-455.
- Lathamaheswari, R., Kalaiyarasan, V., & Mohankumar, G. (2017). Study on bagasse ash as partial replacement of cement in concrete. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(1), 01-06.
- Li, Y., Chai, J., Wang, R., Zhang, X., & Si, Z. (2022). Utilization of sugarcane bagasse ash (SCBA) in construction technology: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 56, 104774.
- Loganayagan, S., Mohan, N. C., & Dhivyabharathi, S. (2021). Sugarcane bagasse ash as alternate supplementary cementitious material in concrete. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1004-1007.
- Lyra, G. P., Borrachero, M. V., Soriano, L., Paya, J., & Rossignolo, J. A. (2021). Comparison of original and washed pure sugar cane bagasse ashes as supplementary cementing materials. *Construction and Building Materials*, 272, 122001.
- Mangi, S. A., Jamaluddin, N., Ibrahim, M. W., Awal, A. A., Sohu, S., & Ali, N. (2017). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. *Paper presented at the IOP conference series: materials science and engineering*.
- Meglin, R., Kytzia, S., & Habert, G. (2022). Regional circular economy of building materials: environmental and economic assessment combining material flow analysis, input output analyses, and life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 562-576.
- Minnu, S. N., Bahurudeen, A., & Athira, G. (2021). Comparison of sugarcane bagasse ash with fly ash and slag: An approach towards industrial acceptance of sugar industry waste in cleaner production of cement. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124836.
- Murugesan, T., Vidjeapriya, R., & Bahurudeen, A. (2020). Sugarcane bagasse ash-blended concrete for effective resource utilization between sugar and construction industries. *Sugar Tech*, 22(5), 858-869.
- Patel, J. A., & Raijiwala, D. (2015). Experimental study on compressive strength of concrete by partially replacement of cement with sugar cane bagasse ash. *International Journal of Applied Engineering Research*, 5(4).
- Prasad, P. B., Singh, M. K., & Kushwaha, J. S. (2022). Environmental issues and challenges of water consumption for thermal power plant: Impact of new water consumption norms. *Indian Journal of Power and River Valley Development*, 32-41.
- Quedou, P. G., Wirquin, E., & Bokhoree, C. (2021). Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00545.
- Shafiq, N., Hussein, A. A. E., Nuruddin, M. F., & Al Mattarneh, H. (2016). Effects of sugarcane bagasse ash on the properties of concrete. *Proceedings of the institution of civil engineers-engineering sustainability*.
- Shamsaei, M., Khafajeh, R., & Aghayan, I. (2019). Laboratory evaluation of the mechanical properties of roller compacted concrete pavement containing ceramic and coal waste powders. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 707-716.
- Srinivasan, R., & Sathiya, K. (2010). Experimental study on bagasse ash in concrete. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 5(2), 60-66.
- Subramaniyan, K., & Sivaraja, M. (2016). Assessment of sugarcane bagasse ash concrete on mechanical and durability properties. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 10(9 SE), 253-261.
- Thomas, B. S., Yang, J., Bahurudeen, A., Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., Hamada, H. M., & Ashish, D. K. (2021). Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete A review. *Materials Today Sustainability*, 15, 100086.
- Wu, N., Ji, T., Huang, P., Fu, T., Zheng, X., & Xu, Q. (2022). Use of sugar cane bagasse ash in ultra-high performance concrete (UHPC) as cement replacement. *Construction and Building materials*, 317, 125881.
- Xu, Q., Ji, T., Gao, S.-J., Yang, Z., & Wu, N. (2018). Characteristics and applications of sugar cane bagasse ash waste in cementitious materials. *Materials*, 12(1), 39.

- Yashwanth, M. K., Kumar, B. N., & Kumar, D. S. (2019). Potential of bagasse ash as alternative cementitious material in recycled aggregate concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 271-275.
- Yogitha, B., Karthikeyan, M., & Reddy, M. M. (2020). Progress of sugarcane bagasse ash applications in production of Eco-Friendly concrete-Review. *Materials Today: Proceedings*, 33, 695-699.
- Zaheer, M. M., & Tabish, M. (2023). The durability of concrete made up of sugar cane bagasse ash (SCBA) as a partial replacement of cement: A review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-31.

การศึกษาผลกระทบของกาว 5 ชนิดต่อการดูดซับ อัตราการแพร่ และการระเหยในผ้าที่ติดบนแผ่นอะลูมิเนียม

Investigation of the impact of five adhesives on the absorption, diffusion rate, and evaporation in fabric attached to aluminum plate

ก้องนที วัฒนานุสิทธิ์¹, จุฬาลักษณ์ อินชนะ¹ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข²

Kongnatee Wattananusit¹, Chulaluk Inchana¹ and Atit Koonsrisuk²

Received: 13 June 2023; Revised: 7 August 2023; Accepted: 28 August 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงการดูดซับอัตราการแพร่และความสามารถในการระเหยน้ำของผ้าซึ่งช่วยยกระดับความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย วิธีการศึกษาจะเปรียบเทียบกาว 5 ชนิด ที่ใช้ติดผ้าเข้ากับแผ่นอะลูมิเนียม ประเมินการดูดซับและอัตราการแพร่ของน้ำในผ้าโดยการสังเกตพฤติกรรมของน้ำที่หยดลงบนผ้า ขณะที่ความสามารถในการระเหยประเมินจากความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ไหลผ่านผ้าเปียกที่ติดตั้งในชุดทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของน้ำ, การระเหยของน้ำ และราคาต่อหน่วยมวลของกาว พบว่า กาว Draga เหมาะที่สุดที่จะใช้ติดผ้าเข้ากับอะลูมิเนียม โดยชิ้นงานที่ใช้กาว Draga มีอัตราการแพร่ของน้ำมากกว่า กาว SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 5.64 เท่า, 7.36 เท่า, และ 11.52 เท่า ตามลำดับ ขณะที่ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางออกของชุดทดสอบเมื่อใช้กาว Draga เท่ากับ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่ากาว SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ นอกจากนี้ กาว Draga มีราคาถูกกว่ากาวชนิดอื่นประมาณ 2 เท่า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้กาว Draga สามารถเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำ การระเหยน้ำ และความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การทำความเย็นแบบน้ำระเหย, กาว, การดูดซับ, อัตราการแพร่ของน้ำ, การระเหย

Abstract

The objective of this experimental study was to identify a suitable type of adhesive that can effectively enhance the absorbency rate and water evaporation capacity of fabrics, consequently improving the cooling capacity of evaporative coolers. Five distinct adhesives, utilized as binders between fabric and aluminum, were compared. The water absorption and diffusion rate through the adhered fabric onto the aluminum workpiece was evaluated by observing the behavior of water droplets. The evaporation capacity was measured in a test rig by assessing the outlet humidity ratio of air after flowing over the wetted sample. Among the tested adhesives, Draga glue demonstrated superior performance in terms of water diffusion rate, evaporation, and cost per unit mass. With Draga glue, water diffusion rates were 5.64, 7.36, and 11.52 times higher than those of SikaFlex 740, hot glue, and SA, respectively. The outlet humidity ratio from the Draga glue sample reached 16.91 g/kg, exceeding the rates of

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Master student, ² Assistant professor, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

* Corresponding author: atit@sut.ac.th

SikaFlex 740, hot glue, and SA by 22.17%, 22.46%, and 26.70%, respectively. Economically, Draga glue was found to be twice as cost-effective per unit mass as the other adhesives studied. These findings indicate that the use of Draga glue can significantly enhance the diffusion rate, evaporation, and cooling capacities of evaporative coolers.

Keywords: Evaporative cooling, adhesive, absorption, diffusion rate, evaporation

บทนำ

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม (indirect evaporative cooling, IEC) เป็นเครื่องสำหรับใช้ลดอุณหภูมิอากาศด้วยการใช้น้ำเป็นตัวดึงความร้อน ซึ่งน้ำกับอากาศจะแลกเปลี่ยนความร้อนกันโดยที่ไม่สัมผัสกันโดยตรง และใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผนังกัน (wall) ระหว่างช่องที่มีอากาศไหลผ่าน (ช่องแห้ง) กับช่องที่มีน้ำและอากาศไหลผ่าน (ช่องเปียก) ดังแสดงใน Figure 1 วิธีการนี้ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงโดยมีความชื้นอากาศคงที่ ดังนั้น ระบบดังกล่าวจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับภูมิอากาศประเทศไทยที่เป็นอากาศร้อนและชื้น (ก้องนที วัฒนานุกสิทธ์ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข, 2566)

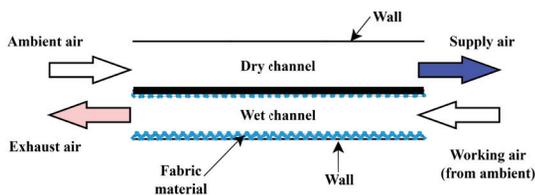


Figure 1 Indirect evaporative cooling (IEC).

เพื่อยืนยันความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบดังกล่าว Delfani *et al.* (2010) ได้นำเครื่อง IEC มาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ซึ่งเรียกรวมว่าระบบปรับอากาศแบบไฮบริด ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถลด cooling load ลงได้ 75% และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้ 50% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาของทีมนักวิจัยที่มีการนำ IEC มาใช้ร่วมกับร้านสะดวกซื้อ โดยพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุด 36%

นอกจากนี้วิธีการเพิ่มความสามารถของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยทำได้โดยการนำผ้า (fabric material) มาติดที่ผนังภายในช่องที่มีน้ำไหลผ่าน (ช่องเปียก) เพื่อช่วยกระจายน้ำบนผนังกันระหว่างช่อง ทำให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น (Lertsatitthanakorn *et al.*, 2006) โดยจากงานวิจัยของ Xu *et al.* (2016) ได้ทดลองผ้า 7 ชนิดสำหรับนำมาติดในช่องเปียก พบว่า ผ้า Coolpass และ Coolmax มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการแพร่ และความสามารถในการระเหยสูงกว่าวัสดุอ้างอิง

เท่ากับ 182%, 396% และ 93% ตามลำดับ ซึ่งค่าของตัวแปรทั้ง 3 ที่สูงจะส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำเพิ่มมากขึ้น

อีกทั้งจากผลการศึกษาของ Sengupta *et al.* (2020) รายงานว่ากาวที่ใช้สำหรับติดผ้ากับผนังของช่องเปียกทำให้ความเป็นรูพรุน (porosity) ของผ้าลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการแพร่ของน้ำและกาวยังมีคุณสมบัติเป็น thermal resistance อาจทำให้ความร้อนจากช่องแห้งถ่ายเทมาช่องเปียกได้ยาก จึงส่งผลโดยตรงต่อการระเหยของน้ำในช่องเปียก ดังนั้น หากเลือกกาวที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ความสามารถในการระเหยของน้ำลดลงและส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นลดลง

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีนักวิจัยที่ให้ความสำคัญต่อการเลือกชนิดของผ้า แต่ยังไม่พบข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับการเลือกใช้กาวที่ใช้เป็นตัวประสานระหว่างผ้าในช่องเปียกและแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ทำช่องแห้งและช่องเปียกของเครื่องทำความเย็น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบกาว 5 ชนิด โดยศึกษาอัตราการแพร่ของน้ำและการระเหยของน้ำ เพื่อระบุชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

วิธีการทดลองและสมการประเมินสมรรถนะ

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของน้ำและการระเหยของน้ำในผ้า ที่ถูกติดด้วยกาว 5 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยจะนำเสนอวิธีการทดลองและสมการประเมินสมรรถนะของระบบ โดยแบ่งเป็น 2 หัวข้อต่อไปนี้

1. วิธีการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับวิธีการดำเนินการเปรียบเทียบกาวที่ใช้

ติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียม กาวที่นำมาทดสอบเลือกจากกาวที่พบว่าถูกใช้จริงในการศึกษาที่เกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยและผู้ผลิตแนะนำว่าสามารถใช้ในการติดผ้าได้ นอกจากนี้ กาวดังกล่าวสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ข้อมูลของกาวที่เลือกใช้ทดสอบ 5 ชนิด แสดงดัง Table 1 ซึ่งประกอบไปด้วย ชื่อทั่วไปหรือชื่อวิทยาศาสตร์ ส่วนผสมทาง

เคมี ลักษณะของการใช้งาน และราคาต่อหน้าหนักของกาว โดยผ้าที่จะนำมาใช้ทดสอบมาจากงานวิจัยของ Xu et al. (2016) ที่แนะนำผ้า Coolmax ซึ่งผ้าดังกล่าวมีความสามารถในการดูดซับและการระเหยสูง จากนั้นจะติดผ้า Cool-

max ลงบนแผ่นอลูมิเนียมซึ่งเป็นตัวแทนของผนัง (wall) ในช่องเป็ยก โดยใช้กาวทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวไปในตารางก่อนหน้านี้ และแบ่งการอธิบายเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ การทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำและการทดลองเพื่อหาการระเหยของน้ำ

Table 1 Adhesive material (glue) specifications.

Common/Scientific name	Chemical ingredient	Applications	Price per Kilogram	Reference
1. Draga/Rubber Adhesive	Polyurethane resin, Toluene, Methyl Ethyl Ketone	Used for sticking wood, leather, artificial leather, PVC, fabric, rubber, and steel.	250	-
2. SikaFlex 740/ Polyurethane Sealant	Polyurethane, Isocyanates	Used for attaching steel plates and providing a general structural sealant with high flexibility.	500	Xu et al. (2017)
3. Hot glue/Cyanoacrylate Adhesive	Cyanoacrylic acid, Methoxyethyl, Cyanoacrylate	Used for fixing and adhering to the surface of materials, rubber, steel, plastic, glass, and ceramics.	1000	Aumpai & Koonsrisuk (2020)
4. Hydroxyethyl Cellulose (HEC)	Hydroxyethyl Cellulose (HEC)	Used as a binder without decreasing the porosity of the material. (3.3% concentration)	650	Li et al. (2016)
5. Spray Adhesive (SA)/ Aerosol Adhesive	Methyl pentane, Liquefied Petroleum gas, Cyclohexane, Toluene	Used for sticking paper, corrugated paper, fabric, foam, and wood.	825	-

1.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำ

ในการทดลองได้เตรียมแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 15 cm x 15 cm ซึ่งเป็นตัวแทนของผนังช่องเป็ยก และนำผ้าที่มีขนาด 15 cm x 15 cm ติดลงบนแผ่นอลูมิเนียมจำนวน 5 แผ่น ตามชนิดของกาว ทั้งนี้การควบคุมปริมาณของกาวที่ใช้ในการศึกษาเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจาก กาวแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน (สเปรย์ - น้ำ) ดังนั้น การศึกษานี้จึงควบคุมโดยการทา กาวให้สม่ำเสมอและบางที่สุดสำหรับกาวที่มีลักษณะเป็นของเหลว (ใช้เหล็กกรีดกาวให้บาง ติดแผ่นอลูมิเนียม) ในขณะที่ กาวสเปรย์จะฉีดพ่นให้ทั่วชิ้นงาน และให้ความหนาสม่ำเสมอ

จากนั้น เขียนกรอบขนาด 5 cm x 5 cm ไว้กลางแผ่นผ้าดัง Figure 2 (a) จากนั้นนำแผ่นอลูมิเนียมมาวางไว้ใต้บิวเรต (burette) โดยการทดสอบดำเนินการตามวิธี AATCC 79 (2014) ที่แนะนำให้ปากของบิวเรตอยู่เหนือชิ้นงาน (ผ้า) เป็นระยะ 10 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้หยดน้ำไม่กระเซ็นหรือกระจายบนผ้า แสดงดัง Figure 2 (b)

ขั้นตอนการทดสอบ

- หยดน้ำปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนชิ้นงานโดยใช้บิวเรตควบคุมอัตราการหยด
- ใช้กล้องบันทึกวิดีโอระหว่างการหยดน้ำ เพื่อสังเกตพฤติกรรมของการแพร่ของน้ำบนผ้า ณ เวลาต่าง ๆ ตามเงื่อนไขการทดลอง Table 2
- เมื่อสิ้นสุดการทดสอบจะนำผลการทดลอง ณ เวลา 120 วินาที หลังการหยดน้ำ ไปคำนวณหาอัตราการแพร่ของน้ำบนผ้าตามสมการที่ 1 และสังเกตพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับลงในผ้า

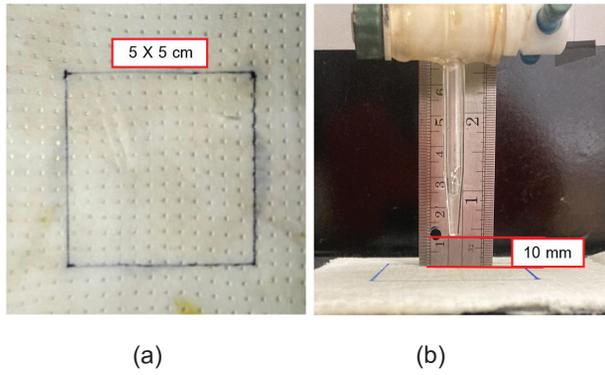


Figure 2 Experiment of diffusion rate: (a) Sample attaching fabric to an aluminum sheet, (b) Installation of a test rig.

1.2 การทดลองเพื่อหาการระเหยของน้ำ

หลังจากศึกษาอัตราการแพร่ของน้ำ ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการระเหยของน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบที่มีลักษณะเป็นช่องให้อากาศไหลผ่านช่องอากาศที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 15 cm x 15 cm และสูง 55 cm ดังที่แสดงใน Figure 3 (a) ในช่องนั้นจะมีอะลูมิเนียม (เส้นที่บสีเขียว) ขนาด 40 cm x 15 cm ที่ติดผ้าขนาด 40 cm x 15 cm ไว้ทั้งสองด้านของแผ่น (เส้นประสีน้ำเงิน) แสดงการติดผ้าไว้กับอะลูมิเนียมตาม Figure 3 (b) เพื่อให้อากาศสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นผู้วิจัยจึงใช้อลูมิเนียมจำนวน 3 แผ่นต่อกาว 1 ชนิดเพื่อแบ่งช่องเป็ยกในชุดทดสอบเป็นหลายช่อง แสดงช่องอากาศที่ใช้ทดสอบจริงดัง Figure 3 (c) ภายในชุดทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- ช่องอากาศทางเข้าอยู่บริเวณด้านล่างของชุดทดสอบได้ตำแหน่ง B
- พัดลมติดตั้งด้านบนเพื่อดึงอากาศผ่านชุดทดสอบ
- หัวจ่ายน้ำ ติดตั้งที่ตำแหน่ง A (เส้นประ) ทำหน้าที่สเปรย์น้ำให้ชิ้นงานเปียกก่อนทำการทดลองเพื่อจำลองเป็นช่องเป็ยกของระบบ
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด DS18B20 ที่ผ่านการสอบเทียบและวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ติดตั้งที่ตำแหน่ง A และ B ทำหน้าที่วัดค่าอุณหภูมิและนำไปคำนวณหาความชื้นสัมบูรณ์ตามสมการที่ 2

ขั้นตอนการทดสอบ

- เปิดน้ำเพื่อให้ชิ้นงานเปียกทั่วทั้งผิวเป็นเวลา 3 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำให้มีค่าคงที่
- เปิดพัดลมเพื่อให้อากาศไหลผ่านชุดทดสอบ โดยควบคุมให้ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s ตลอดการทดลอง
- บันทึกผลอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของตำแหน่ง A และ B

ในการวิเคราะห์ผลการระเหยของน้ำจะวิเคราะห์ภายใต้ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ้าความชื้นสัมบูรณ์ทางออกของชิ้นงานใด (กาวชนิดต่าง ๆ) มีค่ามากที่สุด หมายความว่าน้ำระเหยออกจากชิ้นงานนั้นได้มาก โดย Xu *et al.* (2016) ได้ระบุว่าการระเหยของน้ำที่มากมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการทำความเย็น

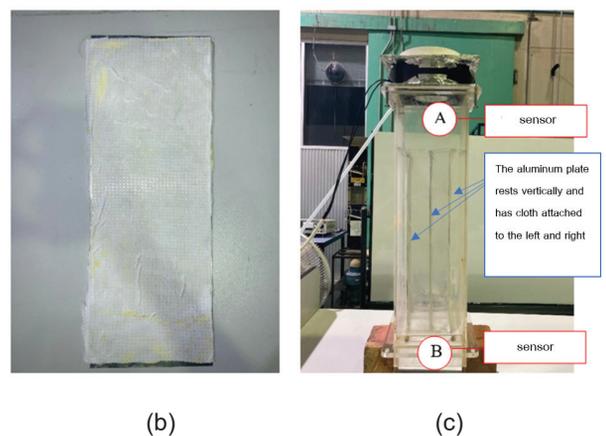
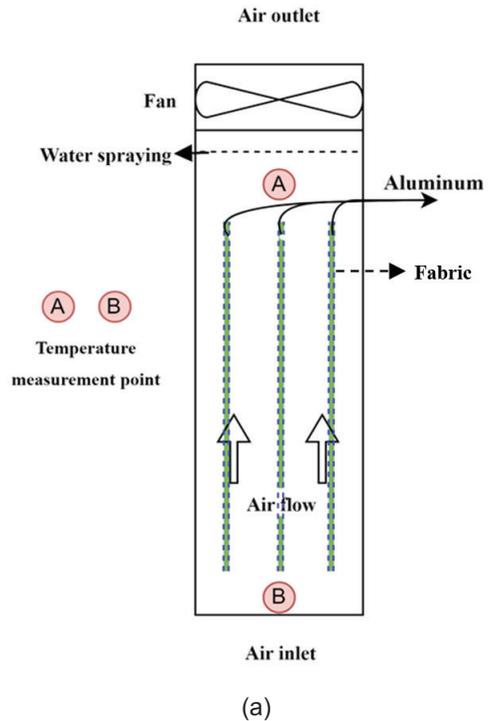


Figure 3 Experiment of evaporation: (a) Diagram of the test rig, (b) Sample attaching fabric to front aluminum sheet and (c) Installation of a test rig.

2. สมการประเมินสมรรถนะ

รายละเอียดของสมการที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการศึกษานี้แสดงดังสมการที่ 1 – 4

อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate, D) คือ พื้นที่ที่น้ำแพร่บนผิวดังต่อเวลา มีหน่วยคือ cm^2/s แสดงดังสมการที่ 1

$$D = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (2)$$

สำหรับการประเมินการระเหยของน้ำ (evaporation) ในงานนี้จะใช้ความชื้นสัมบูรณ์ทางออกของชุดทดสอบ (outlet humidity ratio) เป็นตัวแปรตัดสิน เนื่องจากการทดลองนี้จะเปรียบเทียบภายใต้ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางเข้าเท่ากัน

โดยความชื้นสัมบูรณ์อากาศ (absolute humidity, ω) เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับมวลของอากาศแห้ง มีหน่วยคือ g/kg หาได้จากสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ASHRAE (2013) แสดงดังสมการที่ 2

$$\omega = \frac{[2501 - (2.326 \times T_{\text{wet}})] \times \omega_s - 1.006(T_{\text{dry}} - T_{\text{wet}})}{2501 + (1.86 \times T_{\text{dry}}) - (4.186 \times T_{\text{wet}})} \quad (2)$$

ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศชื้นอิ่มตัว (Absolute humidity of moist air, ω_s) มีหน่วยคือ g/kg แสดงดังสมการที่ 3

$$\omega_s = 0.621945 \frac{P_{\text{ws}}}{P - P_{\text{ws}}} \quad (3)$$

ค่าความดันอิ่มตัว (Saturation pressure, P_{ws}) หาได้ดังสมการที่ 4

$$\ln P_{\text{ws}} = \frac{C_8}{T_d} + C_9 + C_{10} T_d + C_{11} T_d^2 + C_{12} T_d^3 + C_{13} \ln T_d \quad (4)$$

เมื่อ \ln คือ natural logarithm และ

$$C_8 = -5.8002206 \text{ E}+03$$

$$C_9 = 1.3914993 \text{ E}+00$$

$$C_{10} = -4.8640239 \text{ E}-02$$

$$C_{11} = 4.1764768 \text{ E}-05$$

$$C_{12} = -1.4452093 \text{ E}-08$$

$$C_{13} = 6.5459673 \text{ E}+00$$

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบการทดลอง 5 ชนิด โดยเงื่อนไขการทดลองของการทดลองทั้งสองแสดงใน Table 2 และนำเสนอผลการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

Table 2 Experimental conditions.

Diffusion rate		
Parameter	Value	Unit
Type of adhesive	5	kind
Time to observe behavior	1, 10, 30, 60, 120	sec
Volume of water	1	ml
Droplet rate	0.1	ml/s
Water evaporation		
Parameter	Value	Unit
Type of adhesive	5	kind
Water opening time	3	min
Air velocity	0.5	m/s
Dry bulb temperature of ambient air	25 ± 0.5	°C
Humidity ratio of ambient air	15.5 ± 0.25	g/kg

1. อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate)

ในหัวข้อนี้เป็นการรายงานผลการทดลองเพื่อหาอัตราการแพร่ของน้ำของกาวทั้ง 5 ชนิด โดยการใช้ปริมาณน้ำ 1 มิลลิลิตร หยดลงบนชิ้นงานที่ละ 1 หยด จากนั้นจะบันทึกภาพเมื่อหยดสุดท้ายหยดลงบนชิ้นงานในช่วงเวลา 1, 10, 30, 60 และ 120 วินาที แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับดัง Figure 4 - 8 ตามลำดับ

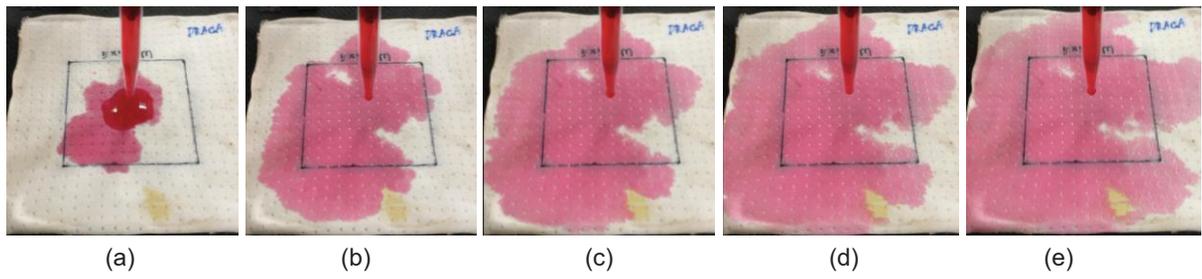


Figure 4 Diffusion of water in Draga (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

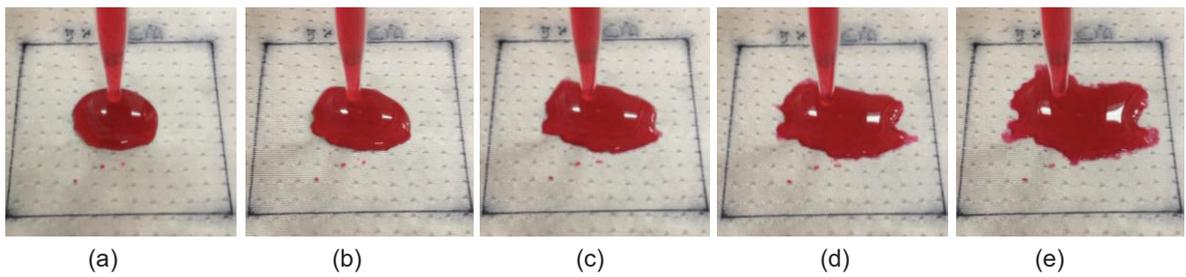


Figure 5 Diffusion of water in SikaFlex 740 (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

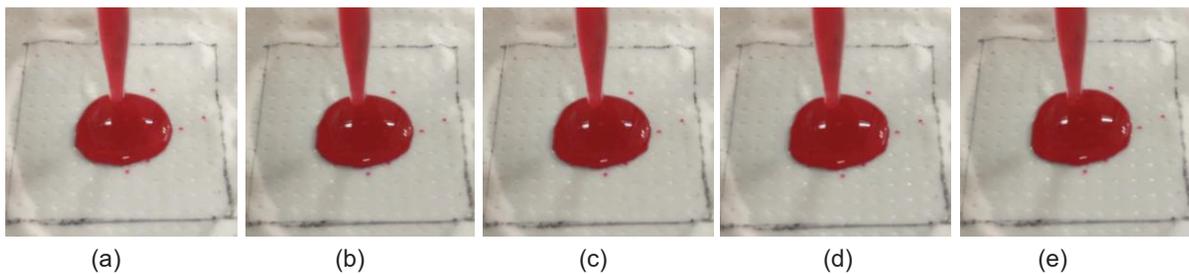


Figure 6 Diffusion of water in Hot glue (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

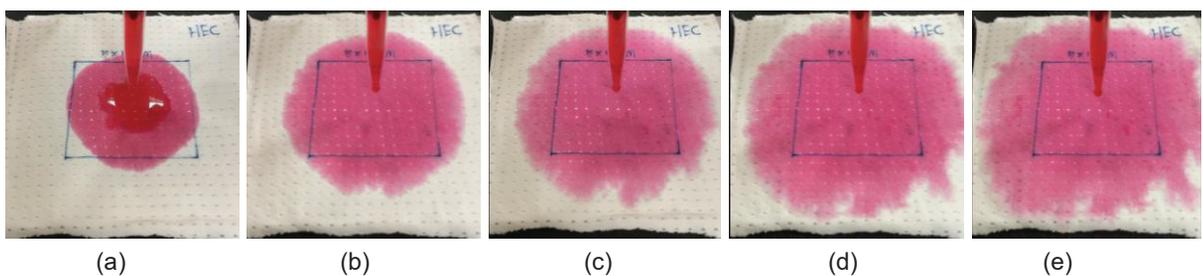


Figure 7 Diffusion of water in HEC (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

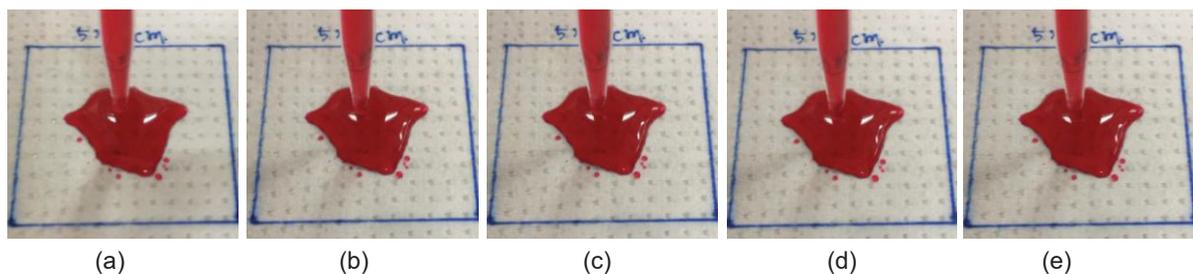


Figure 8 Diffusion of water in SA (a) 1 sec, (b) 10 sec, (c) 30 sec, (d) 60 sec and (e) 120 sec.

จากการสังเกตพฤติกรรมที่หยดน้ำถูกดูดซับโดยผ้า ดัง Figure 4 - 8 พบว่า หยดน้ำที่หยดลงบนชิ้นงานที่ใช้ HEC จะถูกผ้าดูดซับได้ทั้งหมดภายใน 10 วินาที เช่นเดียวกับกาว Draga ในขณะที่ SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ในระยะเวลา 120 วินาที หยดน้ำยังค้างอยู่บนผ้ามีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกดูดซับ สาเหตุที่ผ้าไม่สามารถดูดซับน้ำที่หยดลงบนกาวทั้ง 3 ชนิดได้ เป็นเนื่องจากกาวทั้ง 3 แทรกซึมไปทั่วพื้นผิวของผ้า และลดความเป็นรูพรุนของเนื้อผ้า ส่งผลให้ผ้ามีลักษณะคล้ายใบบัว ทำให้ผ้าดูดซับน้ำได้แยลง

สำหรับอัตราการแพร่ของน้ำ ซึ่งเป็นการหาพื้นที่ทั้งหมดของน้ำปริมาตร 1 ml ที่แพร่ได้ในเนื้อผ้าในเวลา 120 วินาที ดังแสดงใน Figure 9 จะเห็นว่า การใช้ HEC ติดผ้า จะมีอัตราการแพร่ของน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 0.82 cm²/s ซึ่งมากกว่าการแพร่ของน้ำของ Draga, SikaFlex 740, Hot glue, และ SA เท่ากับ 1.55 เท่า, 8.72 เท่า, 11.39 เท่า, และ 17.83 เท่าตามลำดับ

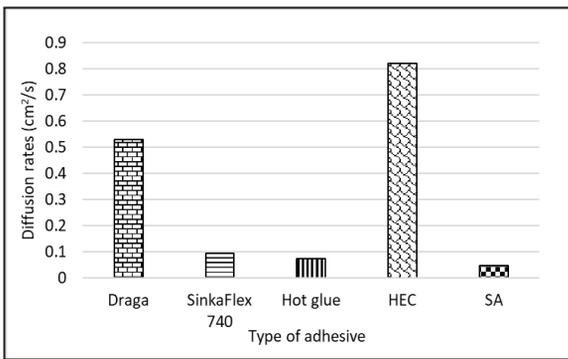


Figure 9 Diffusion rate of different adhesive.

นอกจากนี้ อัตราการแพร่ที่สูงจะลดการก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวของเปียก ซึ่งจะลด thermal resistance และทำให้การระเหยของน้ำดีขึ้น ดังนั้น SikaFlex 740, Hot glue, และ SA จึงไม่เป็นตัวเลือกที่ดี

2. การระเหยของน้ำ

การทดลองนี้จะศึกษาการระเหยของน้ำ โดยติดตั้งชิ้นงานที่ถูกติดด้วยกาวชนิดต่าง ๆ ในชุดทดสอบ ตามหัวข้อที่ 2.1.2 ผลการทดลอง พบว่า ไม่สามารถทดสอบชิ้นงานที่ใช้กาว HEC ติดลงบนผ้าได้ เนื่องจากกาว HEC ละลายและทำให้ผ้าหลุดออก ผู้วิจัยจึงตัดสินใจว่า HEC ไม่เหมาะกับการเป็นตัวประสานระหว่างผ้ากับอลูมิเนียมสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบนํ้าระเหย ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบกาวที่เหลือ 4 ชนิด คือ Draga, SikaFlex 740, Hot glue, และ SA แสดงผลการทดลองดัง Figure 10

โดยการทดลองนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขอากาศสภาพแวดล้อมเท่ากัน ผู้วิจัยจึงใช้ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออก (outlet humidity ratio) เส้นสีแดงดัง Figure 10 เป็นตัวเปรียบเทียบ หากความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกของกาวชนิดใดมีค่าสูงแสดงว่าการระเหยของน้ำจะสูงเช่นกัน

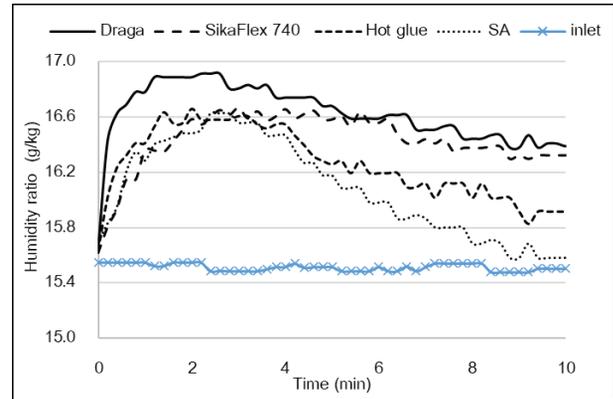


Figure 10 Air humidity ratio of different adhesives.

Figure 10 ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศในช่วงเวลา 10 นาที โดยการเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบที่ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศขาเข้า (เส้นสีฟ้า) ก่อนข้างคองที่ประมาณ 15.5 g/kg ผลการทดลอง พบว่า กาวที่มีความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกสูงที่สุดตลอดช่วงเวลา 10 นาที คือ กาว Draga ซึ่งมีค่าสูงที่สุดประมาณ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่า SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ที่ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ

โดยกาวทั้ง 4 ชนิดจะมีแนวโน้มของความชื้นทางออกคล้ายกัน คือ ความชื้นทางออกมีค่าค่อนข้างสูงในช่วง 4 นาทีแรก จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเพราะน้ำที่ถูกดูดซับโดยผ้ามีการระเหยสู่อากาศ ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับลดลงและระเหยได้น้อยลง สำหรับ Hot glue และ SA ที่มีการระเหยน้อยกว่า Draga และ SikaFlex 740 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากกาวไปทำลายความเป็นรูพรุนของผ้า ผ้าจึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่ากาวอีก 2 ชนิด ส่งผลให้ปริมาณน้ำในผ้าที่น้อยเช่นกัน

จากที่กาว Draga มีความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศทางออกสูงที่สุด ได้ว่ากาว Draga เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุประสานระหว่างผ้าและอลูมิเนียม เนื่องจากกาว Draga ทำให้ผ้ามีการระเหยของน้ำสูง ซึ่ง Xu et al. (2016) ได้รายงานว่าการระเหยของน้ำที่สูงจะทำให้ความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบนํ้าระเหยสูงขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ หากไม่พิจารณา HEC พบว่า กาวที่ทำให้ อัตราการแพร่ของน้ำ (diffusion rate) สูงที่สุดได้แก่กาว Draga และสอดคล้องกับผลทดสอบการระเหยของน้ำ (evap-

oration) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Xu *et al.* (2016) ที่ผลอัตราการแพร่ของน้ำสอดคล้องกับผลการระเหยของน้ำ เป็นเพราะ ชั้นงานที่น้ำแพร่ได้ง่ายแสดงว่ากาวไม่ไปกำจัดความเป็นรูพรุนของผ้าลง ดังนั้น เมื่ออากาศไหลผ่านชั้นงานดังกล่าวจะทำให้หน้าที่แพร่อยู่ภายในระเหยได้ง่ายเช่นเดียวกัน

ในทางเดียวกัน หากเปรียบเทียบในแง่ของราคาต่อหน่วยตาม Table 1 เห็นว่ากาว Draga มีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้กาว Draga หรือประเภทกาวภายในการติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียมที่ของช่องเป็ยก

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเปรียบเทียบตัวอย่างกาว 5 ชนิด ที่นำมาเป็นตัวประสานระหว่างผ้ากับอะลูมิเนียม โดยศึกษาความสามารถในการแพร่ของและการระเหยของน้ำ เพื่อระบุชนิดของกาวที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- การใช้กาว Draga ติดผ้าเข้ากับชั้นงานทำให้หน้าสามารถซึมและแพร่บนผ้าได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับ HEC แต่การใช้ HEC มีข้อเสีย คือ เมื่อโดนน้ำ HEC จะละลายและทำให้ผ้าหลุดออก ในขณะที่ SikaFlex 740, Hot glue และ SA น้ำไม่สามารถแพร่ได้ทันที โดยการใช้ Draga มีอัตราการแพร่ของน้ำ $0.53 \text{ cm}^2/\text{s}$ ซึ่งมีค่ามากกว่า SikaFlex 740, Hot glue และ SA ที่ 5.64 เท่า 7.36 เท่า และ 11.52 เท่า ตามลำดับ

- ผ้าที่ถูกติดด้วยกาว Draga มีการระเหยของน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 16.91 g/kg ซึ่งมากกว่า SikaFlex 740, Hot glue, และ SA ที่ 22.17%, 22.46%, และ 26.70% ตามลำดับ

- ในแง่ของราคาต่อหน่วยตาม Table 1 กาว Draga มีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้กาว Draga เป็นกาวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ติดผ้าไว้กับแผ่นอลูมิเนียมในเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ข้อจำกัด/ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดในการศึกษานี้ ได้ควบคุมสภาวะอากาศแวดล้อมคงที่ ซึ่งแตกต่างจากการใช้งานจริง เนื่องจากอุณหภูมิจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมและความเร็วของอากาศแตกต่างกันไปตามภาระการทำความเย็น (cooling load) แม้ว่าตัวแปรนี้อาจส่งผลต่ออัตราการระเหยและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ แต่เป้าหมายของงานนี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของกาวที่มีต่อการแพร่ของน้ำและความสามารถในการระเหย ภายใต้ชุดเงื่อนไขที่มีการควบคุม

อย่างไรก็ตาม เมื่อสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยจะมีการพิจารณาช่วงของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่เปลี่ยนแปลง เพื่อให้เข้าใจประสิทธิภาพตามความเป็นจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ “ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี” ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- ก้องนที วัฒนานุกูลิทธิ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2566). การศึกษาเชิงทดลองของระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมชนิดอากาศไหลย้อนกลับ, การถ่ายทอดผลงานความรู้อันและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 22. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- AATCC 79. (2014). *Absorbancy of textiles, AATCC technical manual*. AATCC, Research Triangle Park.
- ASHRAE. (2013). *American society of heating refrigeration and air-conditioning Engineers, Inc.* 1791Tullie Circle N.E.
- Aumpai, N., & Koonsrisuk, A. (2020). An experimental investigation of an integrated system of split air conditioner and indirect evaporative cooler. *Proceedings of the 19th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes*. Chanthaburi, Thailand.
- Delfani, S., Esmaeelian, J., Pasdarshahri, H., & Karami, M. (2010). Energy saving potential of an indirect evaporative cooler as a pre-cooling unit for mechanical cooling systems in Iran. *Energy and Buildings*, 42(11), 2169-2176.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.009
- Lertsatitthanakorn, C., Rerngwongwitaya, S., & Soponronnarit, S. (2006). Field experiments and economic evaluation of an evaporative cooling system in a silkworm rearing house. *Biosystems Engineering*, 93(2), 213-219.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.003
- Li, A., Thu, K., Ismail, A. B., Shahzad, M. W., & Ng, K. C. (2016). Performance of adsorbent-embedded heat exchangers using binder - coating method.

International journal of heat and mass transfer, 92, 149-157. doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.097

Sengupta, S., Ghosh, P., & Mustafa, I. (2022). Properties of poly-vinyl alcohol bonded jute (corchorus olitorius) nonwoven fabric and its performance as disposable carry bag. *Journal of Natural Fibers*, 19(6), 2034-2052.

doi.org/10.1080/15440478.2020.1798842

Xu, P., Ma, X., Zhao, X., & Fancey, K. S. (2016). Experimental investigation on performance of fabrics for indirect evaporative cooling applications. *Building and Environment*, 110, 104-114. doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.003

Xu, P., Ma, X., Zhao, X., & Fancey, K. (2017). Experimental investigation of a super performance dew point air cooler. *Applied Energy*, 203, 761-777. doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.095

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบสำหรับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของการใช้สถิติวิเคราะห์ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

A systematic review examining the assumptions of statistical methods used in scientific and technology research

จุฬารัตน์ ชุมนวล², กรกช วิจิตรสงวน เจ็ดวรรณะ^{2*} และ กฤษณา สันทวีป¹

Jularat Chumnuat², Korakot Wichitsa-nguan Jetwannas^{2*} and Krissada Santawee¹

Received: 23 May 2023; Revised: 11 August 2023; Accepted: 4 September 2023

บทคัดย่อ

การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติมีข้อสมมุติเบื้องต้นบางประการที่ต้องตรวจสอบเพื่อความถูกต้องตามหลักการทางสถิติและความน่าเชื่อถือของงานวิจัย การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสืบค้นบทความวิจัยในวารสารทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 ฉบับที่ได้มีการตีพิมพ์ในปี 2021-2023 จำนวน 126 บทความ และทำการสังเคราะห์บทความวิจัยดังกล่าวที่มีการใช้สถิติเชิงอนุมาน โดยพิจารณาสถิติวิเคราะห์ที่ถูกต้องใช้บ่อย 5 วิธี ได้แก่ การทดสอบที (Independent samples t-test หรือ paired samples t-test) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-squared test) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) จากนั้นทำการบันทึกจำนวนบทความที่มีการตรวจสอบและรายงานผลเกี่ยวกับข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า จากบทความวิจัย 126 บทความ มีบทความที่ใช้สถิติเชิงอนุมานจำนวน 58 บทความ (46.03% ของบทความที่ศึกษาทั้งหมด และ 59.18% ของบทความวิจัยเชิงประจักษ์) โดยสถิติวิเคราะห์ที่ใช้มากที่สุด คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จำนวน 34 บทความ (26.98% ของบทความวิจัยเชิงประจักษ์ที่ใช้สถิติเชิงอนุมานทั้งหมด) รองลงมาคือ การทดสอบทีกรณีตัวอย่าง 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน (Independent samples t-test) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน มีอย่างละ 5 บทความ (3.97%) และการทดสอบไคกำลังสอง จำนวน 3 บทความ (2.38%) นอกจากนี้ยังพบว่า จากบทความวิจัยเชิงประจักษ์ที่ใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูล มีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติเพียง 4 บทความ (6.9%)

คำสำคัญ: ข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติ, การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ, ความเท่ากันของความแปรปรวน

Abstract

Statistical hypothesis testing requires the checking of assumptions in order to achieve valid and reliable research results. This study aimed to examine the reporting of statistical assumptions checking in scientific and technology research. A total of 126 research articles were searched in two scientific and technology journals published in 2021-2023, and data from research articles using inferential statistics was synthesized. Five commonly used statistical methods were considered. - t-test (independent samples t-test and paired samples t-test), one-way analysis of variance, chi-squared test, and Pearson correlation coefficient. The results showed that out of 126 research articles, 58 used inferential statistics (46.03% of all research articles and 59.18% of empirical research articles). The most used analytical statistic was one-way ANOVA, 34 articles (26.98% of all empirical research articles using inferential

¹ นักศึกษา, หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาสถิติ) สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹ Bachelor of Science (Statistics), Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

² Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

* Corresponding author: Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Email: korakot.w@psu.ac.th

statistics), followed by independent samples t-test and Pearson correlation coefficient of 5 articles (3.97%), and chi-squared test of 3 articles (2.38%). Based on empirical research articles using inferential statistics to analyze data, only 4 articles (6.9%) reported the checking of statistical assumptions.

Keywords: Statistical assumptions, systematic review, homogeneity of variances

บทนำ

ปัจจุบันนี้ได้มีการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารวิชาการต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยบทความวิจัยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย การกำหนดปัญหาและการตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ และสิ่งสำคัญหลังจากการตั้งสมมุติฐานแล้วคือการทดสอบสมมุติฐานเพื่อหาข้อสรุป โดยขั้นตอนนี้ต้องอาศัยการรวบรวมข้อมูลทั้งจากการสำรวจ การทดลอง หรือวิธีการอื่น ๆ มาประกอบกัน สำหรับการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติมีวิธีการทดสอบหลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานแต่ละวิธีมีเงื่อนไขหรือข้อสมมุติเบื้องต้น (assumptions) ที่แตกต่างกัน เช่น การทดสอบที่กรณีตัวอย่าง 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน (independent samples t-test) มีข้อสมมุติเบื้องต้นที่สำคัญคือ ข้อมูลต้องมีการแจกแจงปรกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ถ้าข้อมูลที่ทำกรเก็บรวบรวมมาจากงานวิจัยไม่ผ่านข้อสมมุติเบื้องต้น 2 ข้อนี้ เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบที่ อาจส่งผลให้ค่าสถิติทดสอบที่ (t-test statistic) และค่าพี (p-value) คลาดเคลื่อนหรือขาดความแม่นยำ (Ernst & Albers, 2017) Olsen (2003) และ Choi (2005) ได้อธิบายไว้ว่า การฝืนใช้สถิติทดสอบโดยที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้นเป็นปัญหาที่รุนแรงสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและอาจนำไปสู่ข้อสรุปที่ผิดพลาดและไม่น่าเชื่อถือ (Olsen, 2003; Choi, 2005)

สำหรับบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในปัจจุบัน พบว่า บทความวิจัยหลายบทความที่มีการใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูลยังขาดการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นตามหลักการและขั้นตอนทางสถิติ ทำให้ผลการวิจัยที่ได้ขาดความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ โดยจะเห็นได้จากงานวิจัยในต่างประเทศหลาย ๆ งาน ที่ทำการศึกษาและตรวจสอบเกี่ยวกับการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยทางการศึกษา Plonsky & Ghanbar (2011) ได้ทำการตรวจสอบบทความวิจัยที่เผยแพร่ในวารสารเกี่ยวกับภาษาที่สอง (second language) หรือ L2 จำนวน 174 บทความ จาก 14 วารสาร ผลการศึกษาพบว่า มีเพียง 5 บทความ (3%) เท่านั้นที่มีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติที่ใช้ จากนั้น Plonsky (2013)

ได้ทำการศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 606 บทความ ที่ตีพิมพ์ในวารสาร Language Learning and Studies in Second Language Acquisition ในปี 1990-2010 ผลการศึกษาพบว่า มีบทความวิจัยร้อยละ 17 ของบทความทั้งหมดที่มีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น ต่อมา Lindstromberg (2016) ได้ทำการศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 90 บทความ ที่ตีพิมพ์ในวารสาร Language Teaching Research ในปี 1997-2015 และพบว่า มีบทความวิจัยร้อยละ 22 ของบทความทั้งหมดที่มีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น โดยข้อสมมุติเบื้องต้นที่มีการตรวจสอบมากที่สุดคือการตรวจสอบการแจกแจงปรกติ นอกจากนี้ ในบทความวิจัยที่พบ มีบทความร้อยละ 17 ที่มีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทุกข้อของสถิติที่ใช้ และมีบทความร้อยละ 24 ที่ตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นเพียงบางข้อเท่านั้น และเมื่อเร็ว ๆ นี้ Hu & Plonsky (2021) พบว่า มีบทความร้อยละ 17 จากบทความทั้งหมด 107 บทความที่ศึกษาจากวารสาร Language Learning and Second Language Research (ตีพิมพ์ในปี 2012-2017) มีการตรวจสอบและรายงานผลการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทุกข้อของสถิติที่ใช้ในงานวิจัย และมีบทความร้อยละ 24 ที่ตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นบางข้อสำหรับงานวิจัยทางสังคมศาสตร์ Hoekstra et al. (2012) ได้ทำการทดลองและพบว่า นักวิจัย 30 คนในแผนกจิตวิทยาที่เข้าร่วมในการศึกษาส่วนใหญ่ไม่ทำการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นก่อนการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (t-test, ANOVA, regression analysis) โดยผลจากการสัมภาษณ์พบว่า ผู้เข้าร่วมในการศึกษาส่วนใหญ่ไม่ทราบเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น วิธีการทางสถิติที่มีความแกร่งในกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้น รวมถึงไม่ทราบวิธีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น

จากที่ยกตัวอย่างมาข้างต้นจะเห็นว่า ในต่างประเทศมีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติที่ใช้ในงานวิจัย แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นโดยเฉพาะในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยวิธีการวิจัยที่ใช้เป็นการทบทวนวรรณกรรม

อย่างเป็นระบบ (systematic review) ซึ่งการทบทวนวรรณกรรมจะเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่ทำมีคุณค่าและเชื่อถือได้ในด้านวิชาการ ทำให้ผู้ที่นำงานวิจัยไปใช้หรืออ้างอิงมีความเชื่อมั่นในคุณภาพและความถูกต้องของแนวคิดและทฤษฎีที่นำมาใช้ สามารถนำเสนอผลการวิจัยที่ชี้ให้เห็นความสอดคล้องและความขัดแย้งกับผลงานวิจัยอื่น ๆ ส่วนผู้อ่านก็จะได้สารสนเทศด้านแนวคิดและคุณลักษณะของการวัดในมิติต่าง ๆ

สถิติที่ใช้บ่อยในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำหรับหัวข้อนี้จะนำเสนอสถิติที่ใช้บ่อยในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติแต่ละตัว โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบที (t-test)

การทดสอบที (t-test) เป็นการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($n < 30$) และไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร โดยในการคำนวณค่าสถิติทดสอบจะใช้เวลาแปรปรวนของตัวอย่างแทน สำหรับข้อสมมุติเบื้องต้นของการทดสอบที่มีดังนี้

1. ตัวอย่างได้มาจากการสุ่มและเป็นอิสระจากกัน
2. ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ
3. ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร
4. ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 3 กลุ่ม สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) โดยใช้สถิติทดสอบเอฟ (F-test statistic) มีข้อสมมุติเบื้องต้นคือ

1. ประชากรแต่ละกลุ่มมีการแจกแจงปกติ
2. ข้อมูลของแต่ละหน่วยของประชากรเป็นอิสระกัน
3. ความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มเท่ากัน

(Montreal, 2014) ทั้งนี้ เพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้เป็นความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรจริง ๆ หากไม่มีเงื่อนไขหรือข้อสมมุติข้อนี้ ผลการทดสอบอาจเกิดจากความแตกต่างของความแปรปรวนของข้อมูลแทนความแตกต่างที่เกิดจากค่าเฉลี่ย

อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาอาจไม่เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้นทุกข้อเสมอไป จากงานวิจัยหลาย ๆ งาน พบว่า หากข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับความเท่ากันของความแปรปรวน ถ้าขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่มเท่ากันและความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สถิติทดสอบเอฟของการวิเคราะห์ความแปรปรวนยังคงเป็นสถิติที่มีความแกร่ง (robustness) แต่ถ้าความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มแตกต่างกันค่อนข้างมาก หรือถ้าข้อมูลแต่ละกลุ่มไม่มีการแจกแจงปกติ เช่น มีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวา ทำให้ความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน อาจส่งผลต่อความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error) หรือระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ซึ่งนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ (Riansut, 2018) ดังนั้น ในกรณีที่ข้อมูลที่น่าวิเคราะห์ไม่ผ่านข้อสมมุติเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน นักวิจัยอาจต้องใช้การทดสอบอื่น ๆ เช่น การทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ (non-parametric test) (Klubnual, 2018) แทนการใช้สถิติทดสอบเอฟ

การทดสอบไคกำลังสอง (chi-squared test)

การทดสอบไคกำลังสอง เป็นการทดสอบที่มีทั้งการทดสอบอิงพารามิเตอร์ (parametric test) และการทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ (non-parametric test) ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงการทดสอบไคกำลังสองที่เป็นการทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์เท่านั้น

สำหรับการทดสอบไคกำลังสองที่เป็นการทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ทดสอบสมมุติฐานที่ว่าด้วยความถี่ที่ได้จากการศึกษาเท่ากับความถี่ที่คาดหวังจากทฤษฎี โดยใช้ตัวอย่างตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไปหรือตัวแปรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป และข้อมูลอยู่ในมาตรานามบัญญัติหรือมาตราเรียงอันดับ การทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์จะไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงปกติของประชากร โดยข้อสมมุติเบื้องต้นของการทดสอบไคกำลังสองมีดังนี้

1. ตัวอย่างได้มาจากการสุ่มและเป็นอิสระจากกัน
2. ข้อมูลอยู่ในมาตรานามบัญญัติหรือเรียงอันดับ
3. ข้อมูลจะต้องจัดอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือประเภทใดประเภทหนึ่งเท่านั้น
4. ความถี่ที่คาดหวังในแต่ละกลุ่มต้องไม่น้อยกว่า 5 ในกรณีที่องศาเสรี (degree of freedom) มากกว่า 2 และต้องไม่น้อยกว่า 10 ในกรณีที่องศาเสรีเท่ากับ 1

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว โดยมีข้อสมมุติเบื้องต้น คือ ตัวแปรทั้งสองตัวต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่อง อยู่ในมาตราอันตรภาคชั้น (interval scale) ขึ้นไป และมีการแจกแจงปรกติสองตัวแปร (bivariate normal distribution) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันจะมีค่าอยู่ระหว่าง - 1 ถึง + 1 ถ้าเข้าใกล้ ± 1 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันอยู่ในระดับมาก ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันในระดับน้อยหรือไม่สัมพันธ์กันเลย เครื่องหมายบวก (±) จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ว่ามีทิศทางเป็นแบบใด โดยถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีเครื่องหมายบวก (+) หมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน หากมีเครื่องหมายลบ (-) หมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (Pruekpramool et al., 2020)

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) โดยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ คือ การศึกษาค้นคว้ารวบรวมผลงานวิจัยที่ทันสมัยและได้มาตรฐาน โดยผ่านกระบวนการประเมินค่าคุณภาพงานวิจัย และคัดเลือกผลงานวิจัยที่ได้มาตรฐานมาวิเคราะห์ข้อมูลจากผลงาน วิจัยอย่างเป็นระบบ และนำมาสรุปเป็นองค์ความรู้ที่ทันสมัย เพื่อให้ให้นักวิจัยมีความรอบรู้ในเรื่องนั้นมากขึ้นจนสามารถทำการศึกษาวิจัยในเรื่องดังกล่าวได้อย่างมีคุณภาพ

สำหรับขอบเขตการวิจัยและสถิติที่ใช้การวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบสำหรับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของการใช้สถิติวิเคราะห์ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยได้ศึกษาบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 วารสาร ที่ถูกจัดอยู่ในวารสารกลุ่มที่ 1 (TCI 1) ตามการจัดอันดับวารสารของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย หรือศูนย์ TCI (Thai-Journal Citation Index Centre) โดยทำการ ศึกษาบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ตั้งแต่ปี 2021–2023 จำนวนทั้งสิ้น 126 บทความ สำหรับสถิติวิเคราะห์ที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ การทดสอบที (independent t-test/

paired t-test) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การทดสอบไคกำลังสอง และสหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยจะทำการสังเคราะห์แต่ละบทความและบันทึกผลการศึกษา (จำนวนและร้อยละของบทความ) ที่มีการใช้สถิติวิเคราะห์อย่างน้อยหนึ่งวิธี รวมถึงการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นที่สอดคล้องกับสถิติวิเคราะห์ที่ใช้

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวนและร้อยละ ใช้เพื่อแสดงจำนวนและร้อยละของบทความวิจัยจำแนกตามประเภทของการวิจัย (พิจารณาจากชนิดของข้อมูล) และจำแนกตามการใช้สถิติเชิงอนุมาน
2. สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การทดสอบสัดส่วน ใช้ในการทดสอบสัดส่วนบทความวิจัยเชิงประจักษ์และสัดส่วนบทความวิจัยเชิงประจักษ์ที่ใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบจำนวนและร้อยละของบทความวิจัยจำแนกตามประเภทของการวิจัย (พิจารณาจากชนิดของข้อมูล) และจำแนกตามการใช้สถิติเชิงอนุมาน แสดงดัง Figure 1-2

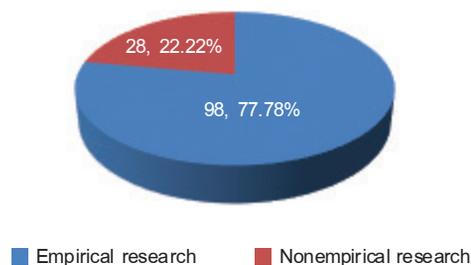


Figure 1 Research article by research types

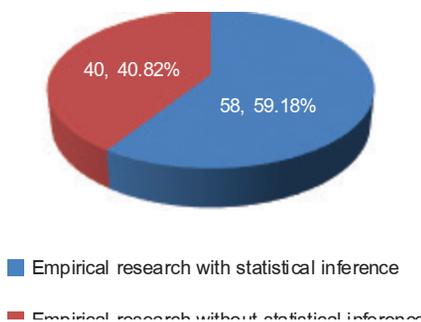


Figure 2 Empirical research with and without statistical inference

จาก Figure 1-2 พบว่า จากบทความที่ทำการ ศึกษา ทั้งสิ้นจำนวน 126 บทความ เป็นบทความวิจัยเชิงประจักษ์ (empirical research) หรือบทความที่มีการเก็บข้อมูลและใช้ สถิติในการวิเคราะห์จำนวน 98 บทความ คิดเป็นร้อยละ 77.78 และมีบทความที่ใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูล จำนวน 58 บทความ คิดเป็นร้อยละ 46.03 ของบทความที่ ศึกษาทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 59.18 ของบทความวิจัยเชิง ประจักษ์

Table 1 Result of proportion testing for empirical research under hypothesis $H_0: p \leq 0.7$ versus $H_1: p > 0.7$

Type	Frequency (Percent)	z	p-value
Empirical research	98 (77.78)	1.91	0.028*
Non-empirical research	28 (22.22)		

*Significance at 5%

จาก Table 1 พบว่า สัดส่วนบทความวิจัยเชิง ประจักษ์ของวารสารที่ศึกษาทั้ง 2 วารสารมากกว่า 0.7 หรือ มากกว่าร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ค่า สถิติทดสอบ $z = 1.91$, $p\text{-value} = 0.028$) แสดงให้เห็นว่า บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีส่วนใหญ่ มีการเก็บข้อมูลและใช้สถิติในการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการ สรุปผลงานวิจัย

Table 2 Result of proportion testing for empirical research articles using statistical inference in data analysis under hypothesis $H_0: p \leq 0.5$ versus $H_1: p > 0.5$

Type	Frequency (Percent)	z	p-value
Empirical research articles using inferential statistics to analyze data	58 (59.18)	1.82	0.035*
Empirical research articles not using inferential statistics to analyze data	40 (40.82)		

*Significance at 5%

จาก Table 2 พบว่า สัดส่วนบทความวิจัยเชิง ประจักษ์ที่ใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูลมากกว่า

0.5 หรือมากกว่าร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ค่าสถิติทดสอบ $z = 1.82$, $p\text{-value} = 0.035$) แสดงให้ เห็นว่า บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่วนใหญ่มีการใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ ในการสรุปผลงานวิจัย ดังนั้น การตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้น ของสถิติวิเคราะห์ที่ใช้จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นเพื่อให้ ได้ผลสรุปที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

จาก Table 3-4 พบว่า วิธีการทางสถิติที่ใช้ใน บทความวิจัยเชิงประจักษ์ที่ปรากฏอยู่ในวารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมากที่สุด คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทาง เดียว มี 34 บทความ คิดเป็นร้อยละ 26.98 ของบทความวิจัย เชิงประจักษ์ที่ใช้สถิติเชิงอนุมานทั้งหมด และมีการรายงานการ ตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้น 2 บทความ คิดเป็นร้อยละ 5.88 วิธีการทางสถิติที่ใช้รองลงมาคือ การทดสอบทีกรณีตัวอย่าง 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน (independent samples t-test) และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน มีอย่างละ 5 บทความ คิดเป็น ร้อยละ 3.97 สำหรับบทความที่ใช้การทดสอบทีกรณีตัวอย่าง 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน (independent samples t-test) ไม่มีการ รายงานการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้น ส่วนบทความที่ใช้ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันมีการรายงานการตรวจสอบข้อ สมมติเบื้องต้นทางสถิติ 1 บทความ คิดเป็นร้อยละ 20 สำหรับ บทความที่ใช้การทดสอบไคกำลังสองมี 3 บทความ คิดเป็น ร้อยละ 2.38 และมีการรายงานการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้น ทางสถิติเพียง 1 บทความ คิดเป็นร้อยละ 33.33 ส่วน การ ทดสอบทีกรณีตัวอย่าง 2 กลุ่มสัมพันธ์กัน (Paired samples t-test) ไม่มีปรากฏในการนำมาใช้วิเคราะห์ และบทความที่ใช้ วิธีการทางสถิติอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์การถดถอย การ วิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง เป็นต้น มี 16 บทความ คิด เป็นร้อยละ 12.7

Table 3 Frequency (%) distribution by the statistical method used in research articles

Statistical method	Number of articles*	Number of articles with assumptions checking
One-way ANOVA	34 (26.98)	2 (5.88)
Independent samples t-test	5 (3.97)	0 (0.00)
Paired samples t-test	0 (0.00)	0 (0.00)

Table 3 Frequency (%) distribution by the statistical method used in research articles (Cont.)

Statistical method	Number of articles*	Number of articles with assumptions checking
Chi-squared test for association	3 (2.38)	1 (33.33)
Pearson correlation coefficient	5 (3.97)	1 (20.00)
Other	16 (12.70)	0 (0.00)

*Some articles use more than one statistical analysis.

Table 4 Frequency and percent of articles by statistical assumptions checking

Statistical assumptions checking	Frequency	Percent
One-way ANOVA (34)		
Equal variances	2	5.88
Normality	2	5.88
Independent samples t-test (5)		
Normality	0	0.00
Equal variances	0	0.00
Chi-squared test for association (3)		
Minimum expected frequencies	1	33.33
Independent variables	1	33.33
Pearson correlation (5)		
Outlier	0	0.00
Normality	0	0.00
Linearity	1	20.00
Equal variances	0	0.00

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสืบค้นบทความวิจัยในวารสารทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 ฉบับที่ได้มีการตีพิมพ์ในปี 2021-2023 จำนวน 126 บทความ และทำการสังเคราะห์บทความวิจัยดังกล่าวที่มีการใช้สถิติเชิงอนุมาน โดยพิจารณาสถิติวิเคราะห์ที่ถูกต้อง 5 วิธี ได้แก่ การทดสอบที (independent samples t-test หรือ paired samples t-test) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) การทดสอบไคกำลังสอง (chi-squared test) และสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) จากนั้นทำการบันทึกจำนวนบทความที่มีการตรวจสอบและรายงานผลเกี่ยวกับข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติ ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่นำมาศึกษามีการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีการใช้สถิติเชิงอนุมานในการวิเคราะห์ถึงร้อยละ 46.03 ของบทความวิจัยเชิงประจักษ์หรือบทความวิจัยที่มีการเก็บข้อมูลและใช้สถิติในการวิเคราะห์ แต่ในจำนวนบทความวิจัยที่ใช้สถิติเชิงอนุมานทั้งหมด มีบทความที่ทำการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นทางสถิติเพียง 4 บทความ หรือร้อยละ 6.90 เท่านั้น ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยมาก ทำให้ผลการวิจัยที่ได้ขาดความน่าเชื่อถือ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากผู้วิจัยขาดความรู้เกี่ยวกับข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือขาดความรู้เกี่ยวกับวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น เช่น การตรวจสอบการแจกแจงปกติข้อมูลโดยใช้การทดสอบชาฟโร-วิลก์ (Shapiro-Wilk test) การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบบาร์ตเล็ตต์ (Bartlett's test) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือใช้การทดสอบของเลวี (Levene's test) เมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ เป็นต้น โดย Hoekstra *et al.* (Hoekstra *et al.*, 2012) ได้สรุปสาเหตุที่นักวิจัยส่วนใหญ่ไม่ทำการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นไว้ 4 ข้อ ดังนี้

1. นักวิจัยไม่คุ้นเคยหรือขาดความรู้เกี่ยวกับข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติวิเคราะห์ต่าง ๆ
2. นักวิจัยขาดความรู้เกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้น
3. นักวิจัยคิดว่าการละเมิดข้อสมมุติเบื้องต้นไม่เป็นปัญหาหรือไม่ส่งผลต่อผลการวิจัย
4. นักวิจัยขาดความรู้เกี่ยวกับวิธีการแก้ไขการละเมิดข้อสมมุติเบื้องต้นหรือการเลือกใช้สถิติอื่นที่เหมาะสมกว่าในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นมีความสำคัญอย่างมากในทางสถิติ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน ทั้งนี้ เนื่องจากสถิติทดสอบแต่ละตัวถูกสร้างขึ้นมาภายใต้เงื่อนไขเฉพาะเพื่อควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดและให้การสังเกตที่สูง ดังนั้น การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมานในงานวิจัยด้านต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของสถิติที่ใช้ในงานวิจัยก่อนเสมอและเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย (Loewen *et al.*, 2014)

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ศึกษาเฉพาะการรายงานการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของวิธีการทางสถิติเพียง 5 วิธี และศึกษาวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพียง 2 ฉบับ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตอาจเพิ่มการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นของวิธีการทางสถิติอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง เป็นต้น และอาจเพิ่มจำนวนวารสารรวมถึงจำนวนปีที่การตีพิมพ์ให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ปีการศึกษา 2565

เอกสารอ้างอิง

Choi, P.T. (2005). Statistics for the reader: what to ask before believing the results. *Canadian Journal of Anesthesia*, 52, R1–R5.

Ernst, A. F., and Albers, C. J. (2017). Regression assumptions in clinical psychology research practice a systematic review of common misconceptions. *The Journal of Life and Environmental Sciences (PeerJ)*, 1, 1-15. <https://doi.org/10.7717/peerj.3323>

Hoekstra, R., Kiers, H. A. L., & Johnson A. (2012). Are assumptions of well-known statistical techniques checked, and why (not)? *Frontiers in Psychology journal*, 137(3), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00137>

Hu, Y., & Plonsky, L. (2019). Statistical assumptions in L2 research: A systematic review. *Second language research*, 37(1), 171-184. <https://doi.org/10.1177/0267658319877433>

Klubnual, P. (2018). The efficiency of parametric and non-parametric statistics on location testing with multiple population groups. *RMUTSB Acad. J*, 6(1), 84-100. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/128277>

Lindstromberg, S. (2016). Inferential statistics in language teaching research: A review and ways forward. *Language Teaching Research*, 20, 741–68. <https://doi.org/10.1177/1362168816649979>

Loewen, S., Lavolette, E., Spino, L. A., et al. (2014). Statistical literacy among applied linguists and second language acquisition researchers. *TESOL Quarterly*, 48, 360–88. <https://doi.org/10.1002/tesq.128>

Olsen, C.H. (2003). Review of the use of statistics in infection and immunity. *Infection and Immunity*, 71(12), 6689–6692.

Plonsky, L. (2013). Study quality in SLA: An assessment of designs, analyses, and reporting practices in quantitative L2 research. *Studies in Second Language Acquisition*, 35, 65–87. <https://doi.org/10.1017/S0272263113000399>

Plonsky, L., & Gass, S. (2011). Quantitative research methods, study quality, and outcomes: The case of interaction research. *Language Learning*, 61, 325–66. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9922.2011.00640.x>

Pruekpramool, C., Jaroentaku, N., & Siwachoat S. (2020). Efficiency of Pearson, Spearman and Kendall's correlation coefficients when data is non-normal distributed. *An online Journal of Education*, 2, 1-16. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/OJED/article/view/245395>

Riansut, W. (2018). A Comparison of the efficiency of the test statistics for testing homogeneity of variance. *Journal of Science and Technology*, 26(8), 1287-1301. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/121065>

Songthong, M. (2014). Robustness and power of the test of parametric and nonparametric statistics in testing of central difference between two populations for Likert-type data point. *Journal of Science and Technology*, 22(5), 605-619. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/20618>

ความแตกต่างของรูเหงื่อบริเวณนิ้วมือระหว่างสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา

The differences of sweat pore on fingerprints of Thai, Myanmar and Cambodian nationalities

รุ่งรัตน์ อุระเพ็ญ^{1*} และ วรวัช วิชชวาณิชย์²

Rungrat Urpen^{1*} and Woratouch Witchuvanit²

Received: 22 May 2023; Revised: 5 July 2023; Accepted: 3 August 2023

บทคัดย่อ

รูเหงื่อหนึ่งในคุณลักษณะของลายนิ้วมือซึ่งสามารถนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลของรูเหงื่อในอาสาสมัครเพศชายสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา จำนวนทั้งหมด 75 คน และมีอายุระหว่าง 20-60 ปี บริเวณที่เลือกศึกษาคือบริเวณนิ้วหัวแม่มือขวาและซ้ายโดยใช้วิธีการพิมพ์นิ้วแบบกลิ้ง (จากขอบเล็บด้านหนึ่งไปยังขอบเล็บอีกด้านหนึ่ง) และทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือเพื่อศึกษารูเหงื่อด้วยเครื่องถ่ายภาพวัตถุพยาน DCS4 ซึ่งผลการศึกษาพบว่าจำนวนรูเหงื่อเฉลี่ยในทั้ง 3 สัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยสัญชาติเมียนมามีรูเหงื่อเฉลี่ยมากที่สุด (115.12 ± 2.25) รองลงมาคือสัญชาติกัมพูชา (107.12 ± 1.60) ส่วนสัญชาติไทยพบจำนวนรูเหงื่อเฉลี่ยน้อยที่สุด (97.56 ± 0.97) สำหรับการศึกษารูปแบบของรูเหงื่อพบว่าทั้งแบบปิดและแบบเปิดในทั้ง 3 สัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และพบรูเหงื่อแบบปิดมากกว่ารูเหงื่อแบบเปิด และในการศึกษาขนาดของรูเหงื่อพบว่ารูเหงื่อขนาดใหญ่ไม่พบความแตกต่างระหว่างสัญชาติ แต่รูเหงื่อขนาดเล็กและขนาดกลางพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: รูเหงื่อ, สัญชาติ, ลายนิ้วมือ

Abstract

Sweat pores are one of the features of fingerprints that can be used for identification. This research was conducted to study the data of sweat pore in Thai, Myanmar and Cambodian nationalities in 75 male volunteers aged 20-60 years. The selected areas were the thumbs of the right and left sampled by rolling fingerprint method (from one edge of the nail to the other edge of the nail). Fingerprints were taken to study the sweat pores using the DCS4. It was found that the average sweat pore number was significantly different ($p < 0.05$) across the three nationalities. The Burmese nationality had the highest average sweat pore number (115.12 ± 2.25), followed by Cambodian nationality (107.12 ± 1.60), while Thai nationality had the lowest average number of sweat pore (97.56 ± 0.97). For the study of the position of sweat pore, it was shown that both closed and open sweat pores in all three nationalities were significantly different at $p < 0.05$ and the closed type was more frequent than the open type. The large size of sweat pore did not differ between nationalities but small size and medium size were significantly different ($p < 0.05$).

Keywords: Sweat pore, nationality, fingerprint

¹ นักศึกษา, สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

² รองศาสตราจารย์, ภาควิชานิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจจังหวัดนครปฐม 73110

¹ PhD Student of Science (Forensic Science and Criminal Justice), Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom. 73000
E-mail: urapenr@hotmail.com

² Associate Professor, Program in Forensic Science, Royal Police Cadet Academy, Nakhon Pathom. 73110

* Correspondent author: urapenr@hotmail.com

บทนำ

การตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลโดยใช้ลายนิ้วมือถือว่าเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่ไม่แพงและมีความน่าเชื่อถือ ที่สำคัญลายนิ้วมือมีคุณสมบัติเฉพาะระหว่างตัวบุคคล กล่าวคือลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลไม่เหมือนกัน และในบุคคลคนเดียวกันลายนิ้วมือจะไม่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่เกิดจนกระทั่งเสียชีวิต (Matitni *et al.*, 2009; สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ, 2559) ซึ่งลายนิ้วมือที่นำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลสามารถใช้ได้ทั้ง 3 คุณลักษณะ คือ รูปแบบของลายนิ้วมือ (คุณลักษณะระดับที่ 1) จุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้น (คุณลักษณะระดับที่ 2) และรูปร่าง (คุณลักษณะระดับที่ 3) (Holder *et al.*, 2004) โดยในประเทศไทยมีการตรวจพิสูจน์ทางด้านลายนิ้วมือแต่มีการนำมาใช้เพียงแค่คุณลักษณะระดับที่ 1 และ 2 เท่านั้น ยังไม่มีการขยายไปจนถึงคุณลักษณะระดับที่ 3 และในประเทศไทยเอง การตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลได้กำหนดจำนวนขั้นต่ำของจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นที่จะนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ไว้ที่ 10 จุดขึ้นไป ซึ่งในบางกรณีที่รอยลายนิ้วมือแฝงมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นไม่เพียงพอที่จะสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจพิสูจน์แต่มีคุณภาพที่สมบูรณ์ส่งผลทำให้มีความจำเป็นต้องคัดรอยดังกล่าวทิ้งเนื่องจากไม่เข้าตามหลักเกณฑ์ในการตรวจพิสูจน์ ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุพยานที่มีคุณภาพที่ดีทิ้งไป

รูปร่างเป็นคุณลักษณะระดับที่ 3 ซึ่งเมื่อเทียบกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นพบว่ามีจำนวนมากกว่าในบริเวณของลายนิ้วมือขนาดเท่ากัน นอกจากนี้รูปร่างยังมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลได้เช่นเดียวกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่ซ้ำกันในแต่ละบุคคล การศึกษาคุณลักษณะของลายนิ้วมือในระดับที่ 3 เริ่มเป็นเรื่องที่น่าสนใจเพิ่มมากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างซึ่งเป็นคุณลักษณะระดับที่ 3 ของลายนิ้วมือเพื่อในอนาคตจะสามารถนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลได้ และในกรณีที่จุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นไม่เพียงพอต่อการตรวจพิสูจน์ (< 10 จุด) ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในด้านนิติวิทยาศาสตร์ และนอกจากนี้หากรูปร่างมีความแตกต่างกันระหว่างสัญชาติอย่างมีนัยสำคัญอาจนำไปสู่การแยกแยะสัญชาติได้จากการใช้รูปร่าง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาจำนวน ประเภท และขนาดของรูปร่างบริเวณนิ้วมือในอาสาสมัครเพศชาย

2. เพื่อเปรียบเทียบจำนวน ประเภท และขนาดของรูปร่างบริเวณนิ้วมือในอาสาสมัครเพศชายระหว่างสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา

ทบทวนวรรณกรรม

ลายนิ้วมือ (fingerprint) เป็นหนึ่งในวิธีที่ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในงานสืบสวนสอบสวนทางคดีอาญา (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2561) เนื่องจากมีความเฉพาะเจาะจง และไม่มีเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เกิดจนเสียชีวิต โดยลายนิ้วมือถูกแบ่งออกเป็น 3 คุณลักษณะ คือ คุณลักษณะระดับที่ 1 เช่น รูปแบบของลายนิ้วมือ คุณลักษณะระดับที่ 2 เช่น จุดลักษณะสำคัญพิเศษ และคุณลักษณะระดับที่ 3 เช่น รูปร่าง โดยปัจจุบันการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือใช้ระบบการตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ หรือ AFIS ซึ่งเป็นระบบที่ใช้หลักการจับคู่ของลายนิ้วมือโดยอาศัยคุณลักษณะระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 เท่านั้น (Zhao *et al.*, 2010)

รูปร่าง (sweat pore) (Jain *et al.*, 2007) เป็นคุณลักษณะระดับที่ 3 ของลายนิ้วมือ โดยพบว่ารูปร่างเริ่มพัฒนาในครรภ์มารดาสัปดาห์ที่ 14 และพัฒนาเต็มที่ในสัปดาห์ที่ 24 (Bhagwat *et al.*, 2020; Wijerathne, 2015) ซึ่งรูปร่างถูกนำมาใช้เป็นวิธีในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคลโดยการเปรียบเทียบของรอยประทับของรูปร่าง เนื่องจากรูปร่างมีคุณสมบัติเหมือนกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ คือ มีความคงทน ไม่เปลี่ยนรูป และมีความเฉพาะบุคคล วิธีนี้ถูกค้นพบและพัฒนาโดย Edmond Locard ในปี 1912 (Oklevski *et al.*, 2019) และมีการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างเพื่อนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวบุคคล โดยมีการศึกษารูปร่างบริเวณฝ่ามือและนิ้วมือในอาสาสมัครเพศชายจำนวน 100 คน ซึ่งเป็นชาวอิหร่าน ศึกษาเกี่ยวกับจำนวนของรูปร่าง ระยะระหว่างรูปร่าง ขนาดรูปร่าง รูปแบบรูปร่าง และตำแหน่งของรูปร่าง ซึ่งพบว่ามีจำนวนรูปร่างเฉลี่ยอยู่ที่ 10-11 ในความยาว 1 เซนติเมตร และขนาดรูปร่างที่พบมากที่สุดคือขนาดกลาง รองลงมาคือขนาดใหญ่ และพบขนาดเล็กน้อยที่สุด สำหรับรูปแบบของรูปร่างพบรูปแบบกลมมากที่สุด และตำแหน่งของรูปร่างพบว่ามีมากที่สุด (Tafazoli *et al.*, 2013) และมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการศึกษารูปร่างมีเพิ่มมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากรูปร่างมีจำนวนที่มากกว่าจุดลักษณะสำคัญพิเศษ โดยพบว่าบนลายเส้นของนิ้วมือที่ระยะประมาณ 1 เซนติเมตรสามารถพบรูปร่างได้ประมาณ 9-18 หรือ 23-45 ในพื้นที่ 1 นิ้ว (Matitni *et al.*, 2009; Ashbaugh, 1999) รูปร่างถือว่าเป็นอีกหนึ่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับการตรวจลายนิ้วมือแฝงในกรณีนี้

จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นในรอยลายนิ้วมือแฝงมีจำนวนน้อยเกินไป

Bindra *et al.* (2000) ได้ศึกษารูปร่างในอาสารสมัคร จำนวน 100 คน โดยได้ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 วิธี คือ 1. ศึกษาลายนิ้วมือและลายฝ่ามือที่พิมพ์ด้วยหมึก 2. ศึกษารอยนิ้วมือแฝงโดยใช้วิธีปิดผงฝุ่น วิธีอบไอโอดีน วิธีนินไฮดริน และวิธีซิลเวอร์ไนเตรด และทั้งสองวิธีถูกศึกษาภายใต้ไมโครสโคป กำลังขยาย 50 เท่า การศึกษารูปร่างทั้งหมดแบ่งออกเป็น ศึกษาจำนวนรูปร่าง ระยะห่างระหว่างรูปร่าง ขนาดของรูปร่าง รูปแบบของรูปร่าง และตำแหน่งของรูปร่าง บนลายเส้น โดยผลการศึกษา (1.) พบว่าในลายนิ้วมือและฝ่ามือที่พิมพ์ด้วยหมึก จำนวนรูปร่างโดยเฉพาะที่พบใน 1 เซนติเมตร มีจำนวนรูปร่าง 8-25 (บริเวณเนินนอกของฝ่ามือพบมากที่สุดคือ 25 และบริเวณเนินในของฝ่ามือพบน้อยที่สุดคือ 8) ระยะห่างระหว่างรูปร่างมีน้อย และยังพบว่ารูปร่างมีการเชื่อมต่อกันโดยไม่มีช่องว่างทำให้เกิดลวดลายคล้ายโซ่ สำหรับขนาดของรูปร่าง ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ารูปร่างขนาดกลางถูกพบมากที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ลายพิมพ์ทั้งหมดโดยพบมากถึง 50% - 72% รองลงมาคือขนาดเล็กซึ่งมีจำนวน 27% - 31% และขนาดที่พบน้อยที่สุดคือขนาดใหญ่ รูปแบบของรูปร่างพบมากที่สุดคือรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (27% - 31%) รองลงมาคือวงกลม (23% - 31%) วงรีและสี่เหลี่ยม (12% - 25% และ 15% - 19% ตามลำดับ) และสำหรับการศึกษาดำแหน่งพบว่ารูปร่างแบบปิดมีจำนวนมากกว่าแบบเปิด (65% - 80%) ส่วนผลการศึกษาในข้อ (2.) ในการศึกษาวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝงซึ่งเป็นลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากวัสดุมีรูพรุน และไม่มีรูพรุน เช่น กระดาษ กระเบื้องเคลือบ แผ่นกระจก กระดาษวาดรูป และพื้นผิวโลหะ ซึ่งพื้นผิวดังกล่าวผ่านการทำให้เกิดรอยโดยใช้ผงฝุ่น (ผงฝุ่นสีขาว ผงฝุ่นสีดำ และผงฝุ่นแม่เหล็ก) อบด้วยไอโอดีน นินไฮดริน และวิธีซิลเวอร์ไนเตรด ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่ได้จากการใช้วิธีนินไฮดรินสำหรับพื้นผิวที่มีรูพรุนปรากฏรูปร่างที่มีลักษณะที่ชัดเจนและมีรายละเอียดเหมือนกับแบบพิมพ์หมึก แต่สำหรับพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนการใช้ผงฝุ่นเป็นวิธีที่แนะนำ แต่ผลที่ได้ไม่ได้ชัดเจนเท่าวิธีนินไฮดริน ความชัดเจนของรูปร่างขึ้นอยู่กับประเภทของพื้นผิวและวิธีที่ใช้ในการทำให้เกิดรอย

Preethi D.S. *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษารูปร่างในประชากรชาวอินเดียใต้ โดยศึกษาความถี่ ประเภท และรูปแบบของรูปร่าง ในตัวอย่างเพศหญิงและเพศชายอายุระหว่าง 18 และ 60 ปี การศึกษานี้ทางคณะได้เลือกใช้นิ้วหัวแม่มือซ้ายโดยประทับลงบนแผ่นกระจกสไลด์ กำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 5 มิลลิเมตร x 5 มิลลิเมตร และศึกษาภายใต้

ไมโครสโคปกำลังขยาย 4 เท่า ซึ่งการศึกษาพบว่าความถี่ของรูปร่างในเพศหญิงมีมากกว่าเพศชายโดยใช้สถิติ Likelihood ratio (LR) ประเภทของรูปร่างก็ไม่มีแตกต่างกันระหว่างเพศ และรูปแบบของรูปร่างก็ไม่แตกต่างกันในระหว่างเพศหญิงและเพศชาย โดยรูปแบบที่พบมากที่สุดคือ แบบกลม ในขณะที่รูปแบบที่พบน้อยที่สุดในทั้งสองเพศ คือ สี่เหลี่ยมผืนผ้า

สุนันทา ยาวาปี และรัชดาภรณ์ เบญจวัฒนานนท์ (2017) ได้ศึกษารูปร่างบริเวณปลายนิ้วด้วยวิธีนินไฮดรินในลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษชนิดต่าง ๆ โดยทำการศึกษาในอาสารสมัครเพศชายและหญิงจำนวน 10 คน มีอายุตั้งแต่ 20-35 ปี และใช้วิธีการพิมพ์ลายนิ้วมือแบบราบบนกระดาษ 4 ชนิด คือกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษพิมพ์การ์ด และซองจดหมายสีน้ำตาล การศึกษานี้กำหนดพื้นที่ศึกษารูปร่างขนาด 5x5 ตารางมิลลิเมตร และทำการนับรูปแบบและจำนวนรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อทำการศึกษาว่ากระดาษชนิดไหนเห็นรูปร่างชัดที่สุด ผลการศึกษาพบว่ากระดาษพิมพ์เขียนเป็นชนิดกระดาษที่เห็นรูปร่างชัดที่สุด และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของรูปแบบรูปร่างระหว่างเพศโดยใช้สถิติ Independent sample t-test ซึ่งพบว่ารูปแบบวงกลม รูปแบบสามเหลี่ยม รูปแบบสี่เหลี่ยมด้านขนาน รูปแบบวงรี และรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในเพศหญิงมีมากกว่าเพศชาย อย่างมีนัยสำคัญที่ p-value < 0.05 ในขณะที่รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่พบในเพศหญิงและเพศชายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

อาสารสมัครเพศชาย อายุระหว่าง 20-60 ปี จำนวนทั้งหมด 75 คน โดยแบ่งเป็น สัญชาติไทย 25 คน สัญชาติ เมียนมา 25 คน และสัญชาติกัมพูชา 25 คน

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างลายนิ้วมือในอาสารสมัครเพศชายสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา ที่มีอายุตั้งแต่ 20 - 60 ปี จำนวนทั้งหมด 75 คน สัญชาติละ 25 คน โดยอาสารสมัครทุกคนยินยอมให้เก็บตัวอย่างลายนิ้วมือเพื่อการศึกษา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานการบริหรงานวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ REC 63.1019-126-1198 โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดังนี้

2.1 ทำการเก็บตัวอย่างลายนิ้วมือโดยพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีดำ (police mate) ลงในแบบฟอร์มการจัดเก็บโดยพิมพ์แบบกลิ้งนิ้ว (จากขอบเล็บด้านหนึ่งไปยังขอบเล็บอีกด้านหนึ่ง) ซึ่งการเก็บตัวอย่างมีการกำหนดรหัสตัวอย่างเพื่อเป็นการไม่เปิดเผยข้อมูลของอาสาสมัคร

2.2 เลือกบริเวณที่ต้องการศึกษาเป็นบริเวณเหนือใจกลาง (core) ของนิ้วหัวแม่มือขวาและหัวแม่มือซ้าย

2.3 พื้นที่ที่ต้องการศึกษาโดยกำหนดพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รูปติดกัน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการคำนวณผลที่ได้จากทั้ง 2 รูปเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยรวม

3. เครื่องมือการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือนิ้วด้วยเครื่องถ่ายภาพวัตถุพยาน DCS4 (Foster+Freeman) ที่ระดับโฟกัส 0.314 และความละเอียด 1000 dpi โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากบริเวณที่เลือกศึกษาขนาด 5x5 มิลลิเมตร ทั้ง 2 รูป และแสดงข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยรวม

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ข้อทางสถิติ: งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นจำนวนของรูเหงื่อ ประเภทของรูเหงื่อ และขนาดของรูเหงื่อบริเวณนิ้วมือในแต่ละสัญชาติ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้สถิติ ANOVA ที่ $p < 0.05$

4.2 จำนวนของรูเหงื่อ : ทำการนับจำนวนรูเหงื่อทั้งหมดที่ปรากฏขึ้นในบริเวณที่เลือกศึกษา คือบริเวณสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 มิลลิเมตร ดัง Figure 1 ที่ผ่านการถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายภาพวัตถุพยาน DCS4 ในตัวอย่างลายนิ้วมือของอาสาสมัครเพศชายสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา

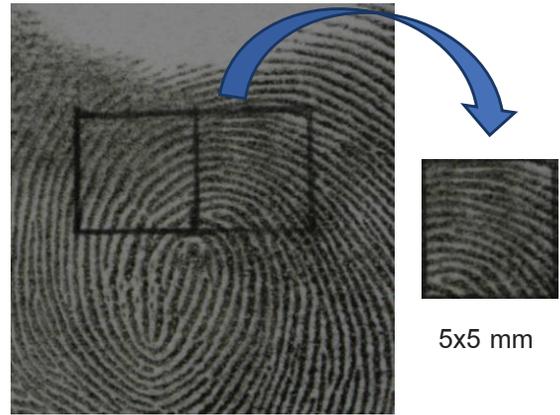


Figure 1 The area of 5x5 mm were counted for the data of sweat pore.

4.3 ประเภทของรูเหงื่อ : ทำการนับจำนวนรูเหงื่อโดยแบ่งประเภทของรูเหงื่อออกเป็น รูเหงื่อแบบปิด และรูเหงื่อแบบเปิด (ดังรูปที่ 2) ในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาขนาด 5x5 มิลลิเมตร ในทั้งสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา

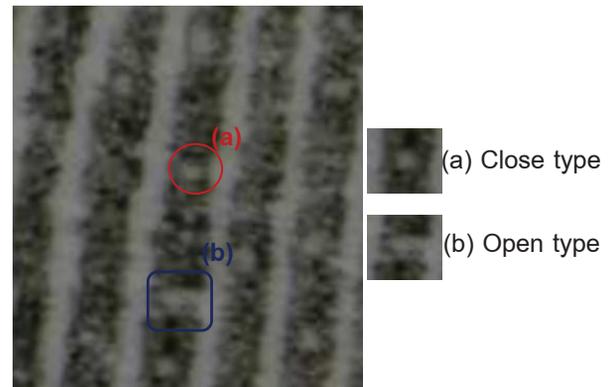


Figure 2 Type of sweat pore (a) Close type (b) Open type

4.4 ขนาดของรูเหงื่อ : ทำการศึกษาขนาดของรูเหงื่อโดยแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (Figure 3) ซึ่งในการศึกษานี้ทำการเลือกรูเหงื่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในบริเวณที่ต้องการศึกษาเป็นตัวเทียบตั้งต้นสำหรับหารูเหงื่อขนาดต่าง ๆ อ้างอิงตามงานวิจัยของ Bindra et al. (2000)

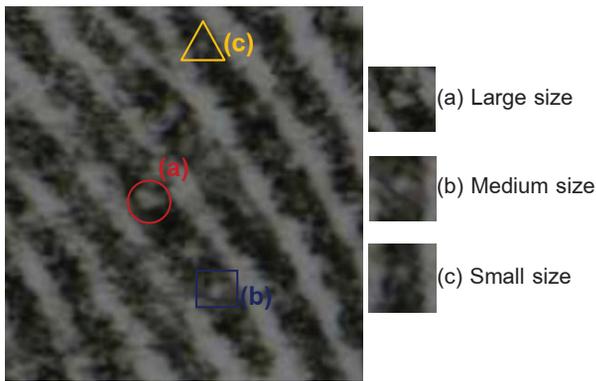


Figure 3 Size of sweat pore : (a) Large size
(b) Medium size and (c) Small size

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. จำนวนของรูเหงื่อ

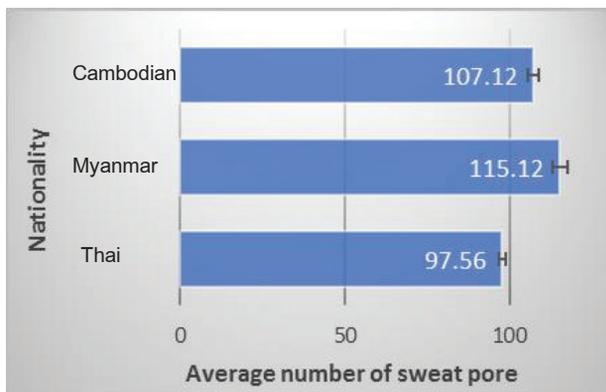


Figure 4 Number of sweat pores in Thai nationality, Burmese nationality and Cambodian nationality.

ผลการวิจัยจาก Figure 4 พบว่าจำนวนรูเหงื่อบริเวณนี้ว่ามีในแต่ละสัญชาติมีความแตกต่างกัน ซึ่งสัญชาติเมียนมามีจำนวนรูเหงื่อมากที่สุด (115.12±2.25) รองลงมาคือสัญชาติกัมพูชา (107.12±1.60) ส่วนสัญชาติไทยพบจำนวนรูเหงื่อน้อยที่สุด (97.56±0.97)

และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างสัญชาติโดยใช้สถิติ ANOVA ที่ $p < 0.05$ พบว่าระหว่างสัญชาติไทยและสัญชาติเมียนมามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างสัญชาติไทยและสัญชาติกัมพูชามีจำนวนรูเหงื่อที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และระหว่างสัญชาติเมียนมาและสัญชาติกัมพูชาพบว่ามีจำนวนรูเหงื่อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.006$)

2. ประเภทของรูเหงื่อ

การศึกษาประเภทของรูเหงื่อทั้งรูเหงื่อแบบเปิดและรูเหงื่อแบบปิดในทั้ง 3 สัญชาติ ซึ่งข้อมูลทางสถิติและผลการวิจัยประเภทของรูเหงื่อ แสดงดัง Table 1 และ 2

Table 1 Descriptive statistics : type of sweat pore in three nationality.

	Nationality/Type of sweat pore					
	Thai		Myanmar		Cambodian	
	Open	Close	Open	Close	Open	Close
Min	5	67	27	49	37	53
Max	29	107	58	95	49	78
Mean	20.44	94.68	36.92	78.2	43.12	64
S.D.	7.57	9.12	6.63	9.24	3.35	7.08
S.E.	1.51	1.82	1.33	1.85	0.67	1.39

S.D. – standard deviation, S.E. – standard error

Table 2 the comparison of type of sweat pore in three nationality.

Type of sweat pore	Nationality (N)		
	Thai (N=25)	Myanmar (N=25)	Cambodian (N=25)
Open type	17.76%±1.51	36.07%±1.33	40.25%±0.67
Close type	82.24%±1.82	67.93%±1.85	59.75%±1.39

โดยผลการวิจัยพบว่าในสัญชาติไทยพบรูเหงื่อแบบปิดมากที่สุด (82.24%±1.82) รองลงมาคือสัญชาติเมียนมา (67.93%±1.85) และสัญชาติกัมพูชาน้อยที่สุด (59.75%±1.39) ซึ่งจำนวนรูเหงื่อแบบปิดในทั้ง 3 สัญชาติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

รูเหงื่อแบบเปิดในแต่ละสัญชาติ : จากการวิจัยพบว่ารูเหงื่อแบบเปิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทั้ง 3 สัญชาติ และพบรูเหงื่อแบบเปิดมากที่สุดในสัญชาติกัมพูชา (40.25%±0.67) รองลงมาคือสัญชาติเมียนมา (36.07%±1.33) และสัญชาติไทย (17.76%±1.51) ตามลำดับ

โดยผลการวิจัยของทั้ง 3 สัญชาติพบรูเหงื่อแบบปิดมากกว่ารูเหงื่อแบบเปิด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bindra *et al.* (2000) ที่พบรูเหงื่อแบบปิดมากกว่ารูเหงื่อแบบเปิด

3. ขนาดของรูเหงื่อ

ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาขนาดของรูเหงื่อออกเป็น 3 ขนาด คือ รูเหงื่อขนาดเล็ก รูเหงื่อขนาดกลาง และรูเหงื่อขนาดใหญ่ โดยผลการวิจัยแสดงดัง Figure 5

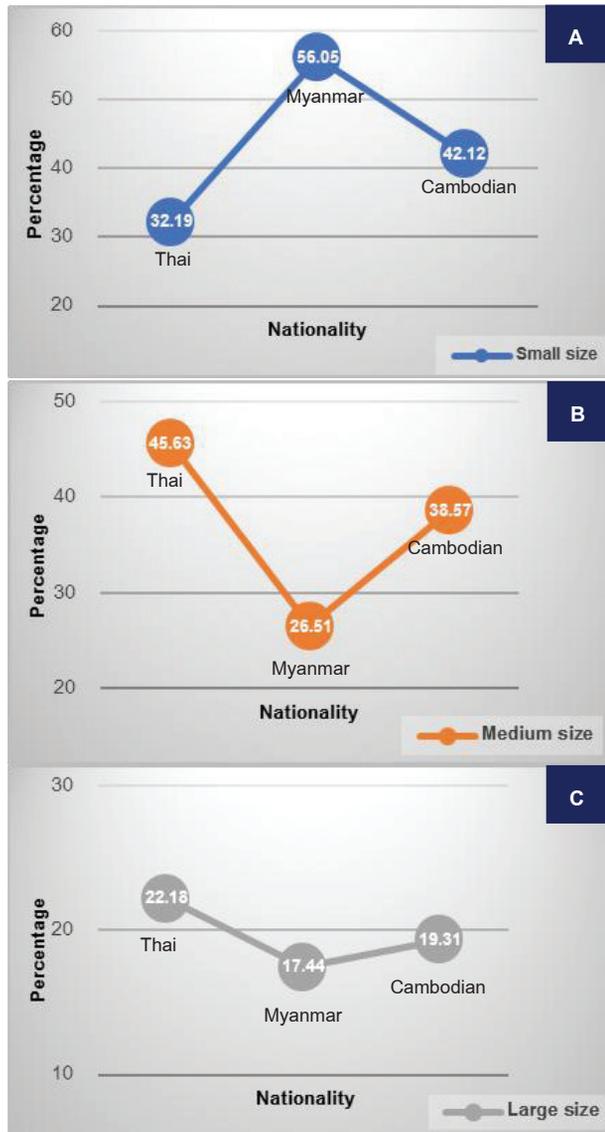


Figure 5 Size of sweat pore in three nationality : (A) Small size (B) Medium size and (C) Large size

รูเหงื่อขนาดเล็ก : ในทั้ง 3 สัญชาติมีรูเหงื่อเฉลี่ยขนาดเล็กแตกต่างกัน โดยพบรูเหงื่อขนาดเล็กในสัญชาติเมียนมา มากที่สุด (56.05%±1.06) รองลงมาคือสัญชาติกัมพูชา (42.12%±0.76) และสัญชาติไทย (32.19%±0.51) ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกันทั้ง 3 สัญชาติ โดยใช้สถิติ ANOVA ที่ $p < 0.05$ พบว่าทั้ง 3 สัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

รูเหงื่อขนาดกลาง : มีความแตกต่างกันในทั้ง 3 สัญชาติ ซึ่งสัญชาติไทยพบ 45.63%±0.81 สัญชาติเมียนมา พบ 26.51%±0.81 และพบในสัญชาติกัมพูชา 38.57%±0.57 จากนั้นทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 สัญชาติโดยใช้สถิติ ANOVA ที่ $p < 0.05$ พบว่าในทั้ง 3 สัญชาติมีรูเหงื่อขนาดกลางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

รูเหงื่อขนาดใหญ่ : ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือพบรูเหงื่อขนาดใหญ่ในจำนวนที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 สัญชาติ มากที่สุดคือสัญชาติไทย (22.18%±1.17) สัญชาติกัมพูชา (19.31%±1.37) และสัญชาติเมียนมา (17.44%±1.54) ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ ANOVA ที่ $p < 0.05$ พบว่ารูเหงื่อขนาดใหญ่ในทั้ง 3 สัญชาติไม่แตกต่างกัน ซึ่งในสัญชาติไทยพบรูเหงื่อขนาดกลางมากที่สุด โดยให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bindra *et al.* (2000) ที่พบรูเหงื่อขนาดกลางมากที่สุด (50%-72%) รองลงมาคือรูเหงื่อขนาดเล็ก (27%-31%) และรูเหงื่อขนาดใหญ่พบจำนวนน้อยที่สุดในขณะที่สัญชาติเมียนมาและสัญชาติกัมพูชาพบรูเหงื่อขนาดเล็กมากที่สุด แต่รูเหงื่อขนาดใหญ่พบน้อยที่สุดในทั้ง 3 สัญชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bindra *et al.* (2000)

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติของรูเหงื่อบริเวณนิ้วมือในอาสาสมัครเพศชายสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา เพื่อศึกษาความแตกต่างของรูเหงื่อระหว่างสัญชาติ ผลการวิจัยพบว่าจำนวนของรูเหงื่อในแต่ละสัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยแบ่งเป็นสัญชาติเมียนมาพบรูเหงื่อจำนวน 115.12±2.25 สัญชาติกัมพูชาพบ 107.12±1.60 และในสัญชาติไทยพบ 97.56±0.97 และสำหรับการศึกษาประเภทของรูเหงื่อในทั้ง 3 สัญชาติพบรูเหงื่อแบบปิดมากกว่ารูเหงื่อแบบเปิด โดยการวิจัยพบรูเหงื่อแบบปิดในสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชา เท่ากับ 82.24%, 67.93% และ 59.75% ตามลำดับ ในขณะที่รูเหงื่อแบบเปิดพบในสัญชาติไทย สัญชาติเมียนมา และสัญชาติกัมพูชาจำนวน 17.76%, 36.07% และ 40.25% ตามลำดับ และพบว่าทั้งรูเหงื่อแบบปิดและรูเหงื่อแบบเปิดในทั้ง 3 สัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ สำหรับการศึกษขนาดของรูเหงื่อพบว่าทั้ง 3 สัญชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในรูเหงื่อขนาดเล็กและรูเหงื่อขนาดกลาง แต่ในขณะที่รูเหงื่อขนาดใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันที่ $p < 0.05$ (สัญชาติไทยพบ 22.18% สัญชาติเมียนมาพบ 17.44% และสัญชาติกัมพูชาพบ 19.31%) โดยในการศึกษาคุนสมบัติทั้งหมดของรูเหงื่อในบริเวณนิ้วมือในอาสาสมัครเพศชายทั้ง 3 สัญชาติพบว่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งในอนาคตการวิจัยรูเหงื่อระหว่างสัญชาติอาจมีประโยชน์อย่างมากในด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยอาจมีการนำรูเหงื่อมาใช้ในการจำแนกสัญชาติได้

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนน้อยซึ่งถ้ามีการขยายกลุ่มตัวอย่างให้ใหญ่ขึ้นผลการวิจัยอาจมีความแตกต่างจากงานวิจัยนี้ และการศึกษาคุณสมบัติของรูเหี่ยวยังมีอีกหลายหัวข้อที่สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมได้ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษารูปแบบของรูเหี่ยว การศึกษาระยะห่างของรูเหี่ยว เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่สละเวลาและยินยอมให้ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง และขอขอบพระคุณกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐานกลางสำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สุนันทา ยาวาปี และรัชดาภรณ์ เบญจวัฒน์นนท์. (2560). การศึกษารูเหี่ยวบริเวณปลายนิ้วมือในลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษชนิดต่างๆ ด้วยวิธีนินไฮดริน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 45(3), 513-520.

สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2561). *คู่มือการปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการสืบสวนสอบสวน*. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ. (2559). *คู่มือการปฏิบัติงานการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือ ฝ่ามือและฝ่าเท้า*. สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจกรุงเทพมหานคร.

Ashbaugh, D.R. (1999). *Quantitative-qualitative friction ridge analysis: An introduction to basic and advanced ridgeology (Series ed)*. CRC Press.

Bhagwat, V., Kumar, D.M. & Lakshmi, N.V. (2020). Poroscopy - the study of sweat pores among central Indian population. *Scholars International Journal of Anatomy and Physiology*, 3(6), 53-56.

Bindra, B., Jasuja, O.P. & Singla A.K. (2000). Poroscopy: A method of personal identification revisited. *Anil Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 1(1).

Holder, E. H., Robinso, L. O. & Laub, J. H. (2004). *The fingerprint sourcebook*. Department of Justice Office of Justice Programs.

Jain, A. K., Chen, Y., & Demirkus, M. (2007). Pores and Ridges: High-Resolution fingerprint matching using level 3 features. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(1), 15-27.

Matltni, D., Maio, D., Jain, A. K. & Prabhakar S. (2009). *Handbook of fingerprint recognition (2nd ed.)*. Springer-Verlag.

Oklevski, S., Jasuca, O.P. & Singh G. (2019). Poroscopy as a method for personal identification: Issues and challenges. *Turkish Journal of Forensic Science and Crime Studies*, 1(1), 36-49.

Preethi, D.S., Nithin, M.D., Manjunatha, B. & Balaraj B.M. (2012). Study of poroscopy among south Indian population. *Journal of Forensic Sciences*, 57(2), 449-452.

Tafazoli, M., Shahri, N.M., Ejtehad, H., Haddad, F., Nooghabi, H.J., Shahri, M.M. & Naderi S. (2013). Biological variability of sweat gland pores in the fingerprints of a fars Iranian family from Khorasan Razavi province, Iran. *Anatomical Sciences Journal*, 10(2), 99-104.

Wijerathne, BTB. (2015). Poroscopy: an important research field in medicine and physical anthropology. *Anuradhapura Medical Journal*, 9(2), 44-46.

Zhao, Q., Zhang, D., Zhang, L. & Luo, N. (2010). Adaptive fingerprint pore modelling and extraction. *Pattern Recognition*, 43, 2833-2844.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

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 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง** ซึ่งบทคัดย่อควรประกอบด้วย เนื้อหา 5 ส่วน คือ 1) ที่มาของปัญหาการวิจัย 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3) วิธีการศึกษาโดยย่อแต่ครอบคลุมรายละเอียด 4) ผลการวิจัย 5) สรุปและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)] และที่อยู่ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาก่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่. ปิติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ในชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชรภา ดันดิชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เดลินิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑ์' เขื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เดลินิวส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTWiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Intruccion 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**, The abstract should consist of 5 parts: 1) the origin of the research problem, 2) the objectives of the research, 3) a brief but detailed study method, 4) the research results, 5) a conclusion and guidelines for use.

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

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

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

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

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. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

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 research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology, 24*, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

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 technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr. Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr. Pairot Pramual
Maharakham University
Professor Dr. Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Professor Dr. Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr. Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr. Vallaya Sutthikhum
Maharakham University
Associate Professor Dr. Orawich Goompol
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr. Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr. La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr. Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Wongsa Laohasiriwong
Khon Kaen University
Professor Dr. Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University

Professor Dr. Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr. Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr. Suwana Boonyaleepun
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. Chawalit Boonpok
Maharakham University
Associate Professor Terdak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr. Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr. Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr. Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr. Walaiporn Tongjaroenbuengam
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Alongkorn Lamom
Maharakham University
Dr. Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr. Adrian Roderick Plant
Maharakham University

Secretary

Director of the Division of Research Facilitation and Dissemination

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

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2567

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

ISSN (Print) : 2985-2617

ISSN (Online) : 2985-2625

