

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 40 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2564

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN TCI (Tier 2)

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

EBSCOhost

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 ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชาติ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิพงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนงแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อริวิชญ์ ภูมิพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังศรีพิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Mr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขาธิการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขาธิการ

พักรัตน์ วิไล รุ่งวิสัย
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

เรียนท่านผู้อ่านและสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่าน ปัจจุบันสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในประเทศไทย รวมถึงในหลายประเทศทั่วโลกทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ทั้งความสามารถในการแพร่กระจายที่รวดเร็วขึ้นของเชื้อที่เกิดการกลาย (mutation) ของบางสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์เดลตา (delta) เป็นต้น รวมถึงข้อจำกัดของการเข้าถึงวัคซีน ตลอดจนพฤติกรรมของประชาชนเองที่อาจละเลยหรือลดหย่อนความเข้มงวดในการป้องกัน ในนามของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอเป็นกำลังใจให้กับบุคลากร เจ้าหน้าที่ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูแล ป้องกัน รักษา และควบคุมการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในประเทศไทยทุกท่าน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สถานการณ์ต่างๆ จะคืนกลับสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 40 ฉบับที่ 3 นำเสนอบทความวิจัยจำนวน 9 เรื่อง และบทความวิชาการ 1 เรื่อง ทุกเรื่องล้วนผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญ รวมถึงกองบรรณาธิการที่ตรวจสอบความถูกต้องของบทความวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้บทความวิจัยและบทความวิชาการที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีคุณภาพสูงที่สุด

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

บทความวิชาการ

กรดโคจิก: คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้

235

Kojic acid: its properties and applications

พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ, ปาริชาติ พุ่มขจร

Pongsak Rattanachaikunsopon, Parichat Phumkhachorn

บทความวิจัย

Agricultural Science

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์และกิจกรรมของกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส
ในพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมแพะ

244

**Comparison of malondialdehyde concentration and glutathione peroxidase activity in plasma
and mammary epithelial cells isolated from goat milk**

หนึ่งนุช สายปิ่น, มาริสา แก้วสุวรรณ, รัชดา สาดตระกูลวัฒนา

Nungnuch Saipin, Marisa Keawsuwan, Rachada Sadtragoolwatana

ความผันแปรของไมโครแซทเทลไลท์ และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ในแพะ 3 สายพันธุ์ของพื้นที่ภาคใต้
ประเทศไทย

252

Microsatellite and mitochondrial DNA variation in three goat breeds of Southern Thailand

ศิริรัตน์ นอสูงเนิน, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, ประชญาพร เอกบุตร

Sirirat Norsungnoen, Chaiyawan Wattanachant, Pradchayaporn Akaboot

Computer and Information Technology

การทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

260

Prediction of factors influencing decision making to purchase fashion apparel via

Facebook and Instagram

เกรียง กิจบำรุงรัตน์

Krieng Kitbumrungrat

Engineering

ผลของรูปทรงเครื่องมือกลเชื่อมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของการเชื่อม
เสียดทานแบบกวนใต้น้ำของอลูมิเนียมผสม AA 5083

272

**Effect of stir welding tool geometry on microstructure transformation and mechanical properties
of submerged friction of AA 5083 aluminum alloy**

วิทยา ศิริคุณ, ยงยุทธ ดุลยกุล, เดช เหมือนขาว

Witthaya Sririkun, Yongyuth Dunyai, Dech Maunkhaw

สารบัญ

- สมการอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม 285
A simple equation for predicting the hot water temperature produced from a solar photovoltaic-thermal hybrid system
สรวิศ สอนสารี, สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์
Sorawit Sonsaree, Somchai Jijitsawat
- อิทธิพลของความเร็วลมต่อความมีเสถียรภาพของปั้นจั่นยกตู้สินค้าท่าเรือชายฝั่ง 296
The effect of wind speed on the stability of a ship-to-shore gantry crane
ชัยยันต์ ไบบุญมา, ธนาพล สุขชนะ
Chaiyun Jaiboonma, Thanaphol Sukchana
- Environmental Science**
เรดิโอลาเรียในยุคดีโวเนียนตอนปลายถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นจากหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภopakชม จังหวัดเลยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย 306
Late Devonian to early Carboniferous radiolarian faunas from the Ban Wang Pha chert section in Pak Chom district, Loei province, northeastern Thailand
ศิริกาญจน์ จรรยา, หทัยทิพย์ ทักษณภักดิ์, มงคล อุดชาชน
Sirakan Janya, Hathaitip Thassanapak, Mongkol Udchachon
- การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี 322
Environmental quality monitoring in a project on refuse derived fuel (RDF): A case study of Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization, Chanthaburi province
จักรพันธ์ โพธิพัฒน์, ภัทร ศรีสรवल, สุทธินันท์ โสติวิถี
Jakkapan Potipat, Pattara Srisruai, Suttinun Sotwitee
- Geoinformatics Science**
การเปรียบเทียบการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมแบบกำกับควบคุมโดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพ และจากจุดตัวอย่างแบบจุดเวกเตอร์: กระบวนการจำแนกแบบเชิงวัตถุ 332
Comparison of the satellite image supervised classification by the selection of samples from segmented image objects and vector point samples: Object-oriented classification approach
โสภณวิชญ์ คำพิลัง
Sopholwit Khamphilung

กรดโคจิก: คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้

Kojic acid: its properties and applications

พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ¹, ปาริชาติ พุ่มขจร²

Pongsak Rattanachai-kunsophon¹, Parichat Phumkhachorn²

Received: 27 October 2020 ; Revised: 4 March 2021 ; Accepted: 7 April 2021

บทคัดย่อ

กรดโคจิกเป็นกรดอินทรีย์ที่ผลิตได้จากราหลายชนิด นิยมนำไปใช้ในการผลิตเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มความขาวโดยไปยับยั้งการสร้างเมลานิน เมลานินถูกสร้างขึ้นในเซลล์เมลานोไซต์และมีหน้าที่ปกป้องผิวหนังจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสร้างเมลานิน ดังนั้นการยับยั้งการทำงานของไทโรซิเนสจึงมีผลทำให้การสร้างเมลานินลดลง กรดโคจิกสามารถจับกับเปอร์ออกซิเดสได้จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส และส่งผลให้การสร้างเมลานินเกิดขึ้นน้อยลง กรดโคจิกจัดเป็นสารเพิ่มความขาวที่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ และยังอาจช่วยแก้ปัญหาผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไป กรดโคจิกได้รับความสนใจและมีการศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์หลายประการ ได้แก่ ต้านจุลินทรีย์ ต้านไวรัส ต้านอนุมูลอิสระ ต้านไบโอฟิล์ม ต้านมะเร็ง ต้านเบาหวาน และมีฤทธิ์ฆ่าแมลง ดังนั้นกรดโคจิกและอนุพันธ์ของกรดโคจิกนอกจากจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกหลายด้าน เช่น การแพทย์ อาหาร การเกษตรและเคมีภัณฑ์

คำสำคัญ: กรดโคจิก ตัวยับยั้งไทโรซิเนส เมลานิน สารเพิ่มความขาวแก่ผิว

Abstract

Kojic acid is an organic acid produced by many species of fungi. It is usually used in cosmetic preparations to achieve a skin-lightening effect by inhibiting melanin formation. Melanin is synthesized via melanogenesis by melanocytes, and it naturally protects the skin from ultraviolet (UV) light. Tyrosinase is an important enzyme responsible for melanogenesis ; hence, the inhibition of tyrosinase lessens melanin production. Kojic acid captures the copper ions, preventing them from activating the tyrosinase so that it can successfully inhibit the production of melanin. Kojic acid is a safe and effective skin brightener, and it may improve the appearance of skin hyperpigmentation disorders. Kojic acid has attracted attention and has been studied intensively due to its significant antimicrobial, antiviral, antioxidant, anti-biofilm, anticancer, anti-diabetic and insecticide activities. Therefore, kojic acid and its derivatives have been extensively applied, not only in cosmetic preparations, but also in various fields such as medicine, food, agriculture, and chemistry.

Keywords: Kojic acid, Tyrosinase inhibitor, Melanin, Skin-lightening agents

¹ ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34190

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand.
E-mail: rattanachai-kunsophon@yahoo.com

² Associate Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand.
E-mail: scpariph@gmail.com

บทนำ

กรดโคจิก (kojic acid ; KA) เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่สร้างจากราบางชนิด (เช่น *Aspergillus*, *Fusarium* และ *Penicillium*) กรดโคจิกเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic fermentation) ของราเหล่านั้นโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเอนไซม์หลายขั้นตอน แหล่งคาร์บอนที่ราใช้ในการผลิตกรดโคจิกอาจเป็นไปได้อีกหลาย เช่น กลูโคส ซูโครส เอทานอล อะซิเตท และไซโลส เป็นต้น ราต่างชนิดหรือแม้แต่ชนิดเดียวกันแต่ต่างสปีชีส์อาจผลิตกรดโคจิกได้ไม่เท่ากัน อาหารหมักที่พบกรดโคจิก เช่น เต้าเจี้ยว (soybean paste) ซอสถั่วเหลือง (soy sauce) และไวน์ข้าว (rice wine) ประเทศญี่ปุ่นถือเป็นต้นกำเนิดของกรดโคจิก แต่ชาวญี่ปุ่นรู้จักกรดนี้ในนาม “โคจิ (koji)” การค้นพบกรดโคจิกเกิดขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1907 โดยชาวญี่ปุ่นชื่อ Saito (Brtko *et al.*, 2004) เขาพบว่ามีการหมักชนิดหนึ่งซึ่งสร้างจากเส้นใยของรา *Aspergillus oryzae* ที่เจริญบนข้าวสุก (steamed rice) ต่อมาใน ค.ศ. 1912 Yabuta ชาวญี่ปุ่นอีกคนหนึ่งได้เรียกชื่อสารนั้นว่า “กรดโคจิก” (คำว่า “koji” หมายถึง “steamed rice” ในภาษาญี่ปุ่น) และเขายังรายงานโครงสร้างโมเลกุลของสารดังกล่าวใน ค.ศ. 1924 (Brtko *et al.*, 2004) ต่อมาใน ค.ศ. 1930 กรดโคจิกสามารถผลิตได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี ชาวญี่ปุ่นเชื่อว่ากรดโคจิกพบได้ในอาหารหลากหลายชนิดที่ชาวญี่ปุ่นบริโภคกันมาอย่างต่อเนื่องและยาวนาน และยังถือว่าอาหารที่มีกรดโคจิกมีประโยชน์ต่อร่างกาย (functional food) (Brtko *et al.*, 2004)

คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของกรดโคจิก

กรดโคจิกมีชื่อทางเคมีว่า 5-hydroxy-2-hydroxy-methyl-4-pyranone และมีสูตรโครงสร้างคือ $C_6H_6O_4$ (Couteau & Coiffard, 2016) มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) เท่ากับ 142.11 มีจุดหลอมเหลว (melting point) ที่ 152-154 องศาเซลเซียส ค่า pKa เท่ากับ 7.66 ค่าสัมประสิทธิ์ออกทานอลกับน้ำ (octanol/water partition coefficient ; log KOW) เท่ากับ -0.64 สามารถละลายได้ในน้ำ เอทานอล และอะซิโตน สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet ; UV) ได้ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 215-312 นาโนเมตร (nm) โดยขึ้นกับ pH ของสารละลาย มีคุณสมบัติเป็นสารคีเลต (chelating agent/chelator) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และมีค่า lethal dose (LD_{50}) เท่ากับ 1 กรัม/กิโลกรัม กรดโคจิกสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ได้ค่อนข้างหลากหลาย ชื่อทางการค้าของกรดโคจิก เช่น AEC Kojic acid, Kojic acid SL, Melanobleach-K, OriStar KA, Rita KA และ Tonelite Kojic acid (Burnett *et al.*, 2010)

กรดโคจิกในเครื่องสำอาง

กรดโคจิกถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (cosmetics) หลากหลายชนิด โดยเครื่องสำอางที่มีกรดโคจิกเป็นส่วนผสมมักบรรยายสรรพคุณเกี่ยวกับการปรับสีผิว ช่วยทำให้ผิวมีสีจางลง (skin fading/lightener effect) และทำให้ผิวขาวขึ้น (Qian *et al.*, 2020) ผู้ผลิตเครื่องสำอางที่นิยมเติมสารเพิ่มความขาวลงในผลิตภัณฑ์มักเป็นประเทศในแถบเอเชีย เช่น จีน อินเดีย และญี่ปุ่น ส่งผลให้ธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องสำอางที่เน้นเรื่องความขาวของผิวพรรณเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศดังกล่าว เครื่องสำอางที่มีการเติมกรดโคจิกลงไปเป็นส่วนผสมในสูตรมีหลายประเภท ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก (Burnett *et al.*, 2010) ได้แก่ (1) ผลิตภัณฑ์ชำระล้างผิว (bath products) เช่น สบู่ (soap/detergent) (2) ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว (skin care products) เช่น ครีม โลชั่น แป้ง และมอยเจอร์ไรเซอร์ และ (3) ผลิตภัณฑ์เช็ดทำความสะอาดผิว (skin cleaning products) เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของกรดโคจิกสามารถนำไปใช้ได้ทั้งบนใบหน้า บริเวณรอบดวงตา และผิวหนังทั่วร่างกาย การทำให้ผิวขาวขึ้นของกรดโคจิกเกิดจากสารนี้ช่วยลดการสร้างเมลานิน (melanin) ในผิวหนัง (Pillaiyar *et al.*, 2017) เนื่องจากเมลานินเป็นตัวกำหนดความเข้มของสีผิว ดังนั้นหากผิวหนังสร้างเมลานินน้อยลง ย่อมส่งผลทำให้สีผิวซีดจางลงหรือดูขาวขึ้นได้ด้วยเหตุนี้กรดโคจิกจึงถูกจัดเป็นสารเพิ่มความขาวแก่ผิว (skin-whitening/skin-lightening agent) ชนิดหนึ่งแม้ว่าองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration ; FDA) ไม่จัดว่ากรดโคจิกเป็นยาจำหน่ายหน้าเคาเตอร์ (over-the-counter drugs ; OTC drugs) (Burnett *et al.*, 2010) แต่ปัจจุบันก็เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่ากรดโคจิกสามารถนำไปเติม/เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางได้อย่างปลอดภัย หากใช้ในปริมาณที่พอเหมาะ และสามารถช่วยทำให้ผิวขาวขึ้นได้จริง (Pillaiyar *et al.*, 2017) โดยทั่วไปการใช้กรดโคจิกในเครื่องสำอางโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผิวขาวมักใช้ที่ความเข้มข้นในช่วง 1-4% (Saeedi *et al.*, 2019)

การสร้างเมลานินและบทบาทของเมลานินต่อสีผิว

สีผิวของคนเรากำหนดโดยชนิด ปริมาณ และการกระจายตัวของของเมลานินในเนื้อเยื่อผิวหนัง เมลานินเป็นสารโพลีเมอร์ เซลล์ที่สร้างเมลานินคือเมลานโนไซต์ (melanocyte) ซึ่งพบอยู่ที่ชั้นล่างสุด (stratum germinativum หรือ basal layer) ของหนังกำพร้า (epidermis) ในหนังกำพร้ายังมีเซลล์หลักอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากและแบ่งเป็นชั้นๆ เรียกว่า เคอราติโนไซต์ (keratinocyte) การสร้างเมลานิน

โดยเมลานินไซต์เกิดขึ้นในโครงสร้างขนาดเล็กที่เรียกว่า เมลาโนโซม (melanosome) เอนไซม์ในเมลานินที่สำคัญคือ ไทโรซิเนส (tyrosinase ; TYR) และยังมีโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเมลานินอีกสองชนิด (tyrosinase related protein 1 ; TRP-1 และ tyrosinase related protein 2 ; TRP-2) เมลาโนโซม ซึ่งบรรจุเมลานินเหล่านี้จะถูกส่งต่อไปยังเคอราติโนไซต์ที่อยู่รอบๆ เมลาโนไซต์ที่สร้าง เพื่อคอยปกป้องเคอราติโนไซต์เหล่านั้นจากแสง UV เนื่องจากเมลานินไซต์มีรูปร่างแบบเดนดริติกเซลล์ (dendritic cell) คือมีแขนงยื่นออกจากตัวเซลล์ ทำให้เมลานินไซต์หนึ่งเซลล์สามารถเชื่อมโยงไปยังเคอราติโนไซต์ได้อีกเป็นจำนวนประมาณ 30-40 เซลล์ ทั้งเมลานินไซต์และเคอราติโนไซต์ที่อยู่ในความดูแลโดยการส่งเมลานินไปให้กันรวมเรียกว่า หน่วยสร้างเมลานิน (epidermal melanin unit) (Cichorek *et al.*, 2013) การขนส่งเมลานินจากเมลานินไซต์ไปยังเคอราติโนไซต์อาศัยกลไกที่ค่อนข้างซับซ้อน ผิวหนังของคนเรามีเมลานินไซต์ 1,000-2,000 เซลล์/ตารางมิลลิเมตรโดยประมาณ หรือคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 2-3% ของเซลล์ผิวหนังทั้งหมด เมลาโนจินต์ว่าเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญที่ทำให้คนต่างเชื้อชาติมีสีผิวแตกต่างกันไป และยังมีผลต่อความเข้มของสีผิวเมื่อมีรอยโรคบางอย่างเกิดขึ้นที่ผิวหนัง

กระบวนการสร้างเมลานิน (melanogenesis) ประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์การทำงานของเอนไซม์หลายขั้นตอน (Figure 1) (Cichorek *et al.*, 2013) สารตั้งต้น (precursor) ที่ใช้ในการสร้างเมลานินคือไทโรซีน (tyrosine) และเอนไซม์หลักที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการนี้คือไทโรซิเนส (tyrosinase) (Pillaiyar *et al.*, 2017) กระบวนการสร้างเมลานินแบ่งออกได้เป็น 2 ทาง (pathway) ขึ้นกับสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาโดยมีจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาร่วมกันคือไทโรซีนถูกเปลี่ยนเป็นโดปา (L-DOPA หรือ L-3,4 dihydroxyphenylalanine) และโดปาควิโนน (DOPAquinone) ตามลำดับโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ขั้นตอนการเปลี่ยนจากไทโรซีนไปเป็นโดปาถือเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุดของปฏิกิริยา (rate-limiting step) ของเอนไซม์ไทโรซิเนสในการสร้างเมลานิน จากนั้นปฏิกิริยาจะแบ่งออกได้เป็นสองทางคือ หากไม่มีซิสเทอีน (cysteine) เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา ยูเมลานิน (eumelanin) จะถูกสร้างขึ้น แต่หากมีซิสเทอีนเกี่ยวข้องในปฏิกิริยา ฟีโอเมลานิน (pheomelanin) จะถูกสร้างขึ้น ดังนั้นเมลานินไซต์จึงสามารถผลิตเมลานินได้สองชนิด คือ (1) ยูเมลานินซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ มีสีน้ำตาลจนถึงดำ (brown to black) พบมากในชาวแอฟริกันและชาวเอเชีย และ (2) ฟีโอเมลานินซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่ละลายน้ำได้ มีสีเหลืองจนถึงแดง (yellow to red) พบมากในชาวคอเคเซียน สัดส่วนของเมลานินแต่ละชนิดจะเป็นตัวกำหนดสีผิวของแต่ละบุคคล

การสร้างเมลานินถูกควบคุมด้วยยีนมากกว่า 80 ชนิด และมีกลไกควบคุมอีกหลายกลไกซึ่งอยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular signaling pathway) การส่งสัญญาณเพื่อควบคุมการสร้างเมลานินมีลักษณะเป็นลำดับขั้น (cascade) เซลล์ที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณเหล่านี้คือไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเมลานินเป็นไปได้ทั้งปัจจัยภายในและภายนอก เช่น การมีอายุมากขึ้น การได้รับแสง UV การได้รับฮอร์โมนหรือยาบางชนิด และการเป็นโรคบางอย่าง

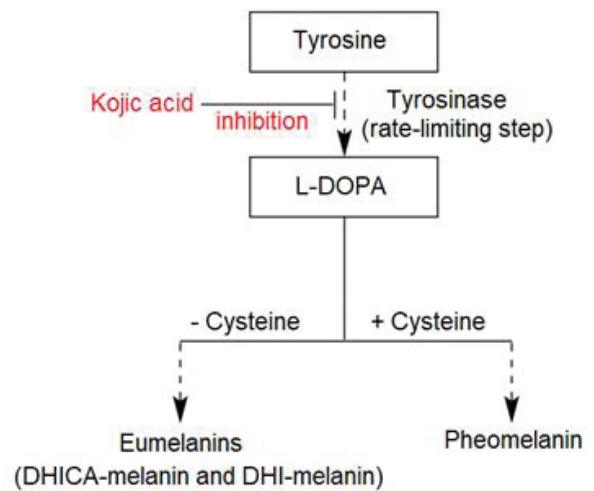


Figure 1 Melanin synthesis in melanocytes

บทบาทของกรดโคจิกในการยับยั้งการสร้างเมลานิน

เอนไซม์ไทโรซิเนสมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการสร้างเมลานิน เอนไซม์นี้พบเฉพาะในเซลล์เมลานินไซต์เท่านั้นและพบอยู่ที่เยื่อหุ้มของเมลานินไซต์ ภายในไมโทคอนเดรียของเอนไซม์ไทโรซิเนสมีคอปเปอร์ไอออนหรือ Cu (II) 2 ไอออนอยู่ที่บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์ แต่ละคอปเปอร์ไอออนมีกรดอะมิโนฮิสติดีน (histidine ; His) แวดล้อมอยู่อีก 3 ตัว (Pillaiyar *et al.*, 2017) เมื่อมีแสง UV มากระทบคอปเปอร์ไอออนจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์นี้ ส่งผลให้เกิดการสร้างเมลานินขึ้นภายในเมลานินไซต์ ดังนั้นหากต้องการควบคุมมิให้เซลล์ผิวหนังสร้างเมลานินมากเกินไป (hyperpigmentation) วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (Figure 1)

กรดโคจิกจัดเป็นตัวยับยั้งไทโรซิเนส (tyrosinase inhibitor) คือมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (Figure 1) (Saeedi *et al.*, 2019) ดังนั้นกรดโคจิกจึงสามารถทำให้เซลล์ผิวหนังสร้างเมลานินได้น้อยลงส่งผลให้ผิวขาวขึ้น และสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาผิวหนังชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไปได้ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้กรด

โคจิกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสคือ การมี γ -pyranone ซึ่งมี phenolic hydroxyl group อยู่ภายในโครงสร้าง และการเป็นสารคีเลตจึงสามารถจับกับคอปเปอร์ไอออนซึ่งอยู่ในบริเวณเร่งของเอนไซม์ไทโรซิเนส ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวสูญเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (catalytic activity) กรดโคจิกสามารถลดการสร้างเมลานิน (depigmentation) ได้ทั้งในเซลล์เพาะเลี้ยง (*in vitro*) (Lajis *et al.*, 2012) และในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) โดยมีได้มีผลเสียหรืออันตรายต่อเซลล์หรือสิ่งมีชีวิตที่นำมาทดลอง (Saeedi *et al.*, 2019) การยับยั้งกระบวนการสร้างเมลานินของกรดโคจิกเชื่อว่าน่าจะเกิดจากการลดการสร้างยูเมลานินเป็นหลัก เนื่องจากผิวหนังมีอัตราการตายของเคอราติโนไซต์และการสร้างเคอราติโนไซต์ใหม่มาทดแทนค่อนข้างเร็ว ดังนั้นการให้กรดโคจิกซึมผ่านผิวหนังโดยการทาเฉพาะที่ภายนอก (topical application) จึงสามารถทำให้ผิวขาวขึ้นได้ภายในเวลาเพียงไม่กี่สัปดาห์

การรักษาความผิดปกติของผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไปสามารถทำได้โดยการใช้กรดโคจิกเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับสารอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสเช่นเดียวกับกรดโคจิก ได้แก่ ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) อาร์บูติน (arbutin) กรดอะซีลาอิก (azelaic acid) กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี (vitamin C) กรดเอลลาจิก (ellagic acid) และกรดทรานเอกซามิก (tranexamic acid) สารเหล่านี้เมื่อนำไปใช้ร่วมกับกรดโคจิกในการรักษาฝ้า (melasma) พบว่าให้ผลค่อนข้างดีหรือเป็นที่น่าพอใจ (Saeedi *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้บางชนิดมีข้อเสีย เช่น ไฮโดรควิโนนมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถทำให้เกิดผื่นแพ้ชนิด contact dermatitis และฝ้าถาวร (ochronosis) อาร์บูตินที่ได้จากธรรมชาติมักไม่ค่อยเสถียรสามารถปลดปล่อยสารไฮโดรควิโนนออกมา และเมื่อผ่านกระบวนการแคแทบอลิซึมจะได้เบนซีนซึ่งเป็นพิษต่อไซกระดุก กรดแอสคอร์บิกไวต่อความร้อนและสลายตัวได้ง่าย เป็นต้น แม้ว่าการนำกรดโคจิกไปใช้ร่วมกับสารอื่น (โดยเฉพาะไฮโดรควิโนน) จะให้ผลในการรักษาฝ้าได้ผลค่อนข้างดี แต่การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของกรดโคจิกในแง่ที่อาจส่งผลเสียต่อร่างกายคนก็ยังคงต้องดำเนินต่อไป

การซึมผ่านผิวหนังของกรดโคจิก

จากการศึกษาเภสัชจลนศาสตร์ในหนูและในคน เกี่ยวกับการซึมผ่านผิวหนังของกรดโคจิกพบว่า มีการดูดซึมทางผิวหนัง (percutaneous absorption) เท่ากับ 17% และมีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัส (systemic exposure dose ; SED) อยู่ในช่วง 0.03-0.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน (Nohymek *et al.*, 2004) กรดโคจิกแทบจะไม่มี การดูดซึม

เข้าสู่กระแสเลือด (Burnett *et al.*, 2010) และไม่มีความเป็นพิษต่อยีน (genotoxicity) ของคนเมื่อนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความขาวในเครื่องสำอาง (Saeedi *et al.*, 2019)

ผลของสารเพิ่มความขาวแก่ผิวต่อกลไกภายในเซลล์

การควบคุมกระบวนการสร้างเมลานินของสารเพิ่มความขาวแก่ผิว ส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่จะควบคุมการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นหลัก เช่น กรดโคจิกสามารถยับยั้งฤทธิ์ของเอนไซม์ไทโรซิเนส ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งนอกจากจะสามารถช่วยทำให้ผิวขาวขึ้นแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ในการรักษาโรคผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไปได้อีกด้วย แม้ว่าปัจจุบันจะมีสารเพิ่มความขาวแก่ผิวเป็นจำนวนมากวางขายอยู่ในท้องตลาด แต่สารที่ได้รับความนิยมจากผู้ซื้อมักเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติมากกว่าสารเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์ สารเพิ่มความขาวแก่ผิวที่ได้จากธรรมชาติและมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสเหล่านั้นอาจไปมีผลต่อการส่งสัญญาณบางอย่างภายในเซลล์ (intracellular signaling pathway) ซึ่งส่งผลไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส การส่งสัญญาณภายในเซลล์เมลานินไซต์ที่ควบคุมกระบวนการสร้างเมลานินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เส้นทางหลักดังนี้ (Qian *et al.*, 2020) (Figure 2) (1) melanocortin-1 receptor (MC1R) signaling pathway (2) Wnt/ β -catenin signaling pathway และ (3) tyrosine kinase receptor KIT/stem cell factor (SCF) pathway โดยทั้ง 3 pathway จะมีจุดบรรจบร่วมกันคือไปควบคุมโปรตีนในกระบวนการทรานสคริปชันที่มีชื่อว่า microphthalmia-associated transcription factor (MITF) โดย MITF จะไปมีผลต่อการแสดงออกของยีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเมลานิน เช่น TYR, TRP-1 และ TRP-2 นอกจากนี้ MITF ยังควบคุมการแสดงออกของโปรตีนโครงสร้างของเมลานินโซม (melanosome structural proteins) บางชนิด เช่น MART-1 และ PMEL17 อีกด้วย

แม้ว่าสารเพิ่มความขาวแก่ผิวส่วนใหญ่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสและลดการสร้างเมลานินโดยไม่มีผลเสียต่อเซลล์เมลานินไซต์ (Saeedi *et al.*, 2019) แต่สารเพิ่มความขาวแก่ผิวบางชนิดสามารถลดการสร้างเมลานินภายในเซลล์ด้วยวิธีการอื่น เช่น มีได้ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส แต่ไปกุดการเพิ่มจำนวน (proliferation) ของเมลานินไซต์ หรือลดการเปลี่ยนแปลง (differentiation) ของเซลล์ผิวหนังจากเมลานินโบลาสต์ (melanoblast) ไปเป็นเมลานินไซต์

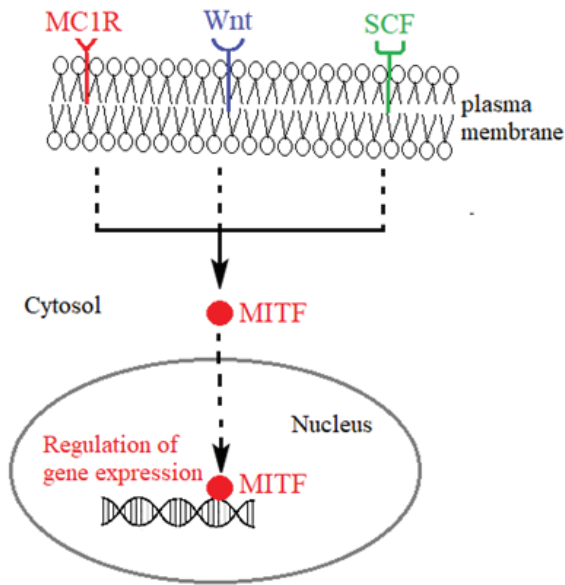


Figure 2 Core molecular pathways associated with the regulation of melanin production in melanocytes

อนุพันธ์ของกรดโคจิก

โครงสร้างทางเคมีของกรดโคจิกมีส่วนทำให้กรดโคจิกสามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้หลากหลาย (เช่น alkylation, acylation และ esterification reaction) กับสารอื่น และส่งผลทำให้มีสารอินทรีย์ชนิดใหม่เกิดขึ้นอีกหลายชนิด สารเหล่านี้รวมเรียกว่าอนุพันธ์ของกรดโคจิก (kojic acid derivatives) ซึ่งอาจมีคุณสมบัติคงเดิมหรือต่างไปจากเดิม และบ่อยครั้งพบว่าอนุพันธ์ของกรดโคจิกมีคุณสมบัติบางอย่างที่ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและกว้างขวางมากยิ่งขึ้น เช่น (1) การนำกรดโคจิกไปทำปฏิกิริยากับซาลโคน (chalcones) และอะโซเบนซีน (azobenzene) จะได้โคจิกเอสเทอร์ (kojic ester) ซึ่งสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ดีขึ้นตามลำดับ (Sie *et al.*, 2018) (2) การนำกรดโคจิกไปทำปฏิกิริยากับกรดโอเลอิก (oleic acid) จะได้โคจิกโมนโอเลอิก (kojic monooleate ; KMO) ซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และยังสามารถใช้รักษาความผิดปกติของผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไปได้ และเมื่อนำ KMO ไปเตรียมให้อยู่ในรูปนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water nanoemulsion) พบว่าสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ดีขึ้น (Affah *et al.*, 2018) (3) การนำกรดโคจิกไปเตรียมให้อยู่ในรูปไดอะเซทิล (diacetyl) และไดเบนโซอิล (dibenzoyl) ของกรดโคจิกพบว่าอนุพันธ์ของกรดโคจิกทั้งสองชนิดนี้มีฤทธิ์ในการฆ่าแมลง (insecticidal activity) (Beard & Walter, 1969) และ (4) การนำกรดโคจิกไปทำปฏิกิริยากับไคโตซาน (chitosan) โดยเตรียมให้อยู่ในรูปไคโตซานและ

กรดโคจิกโพลีเมอร์เรียกว่า chitosan-o-kojic acid conjugate polymer (COS-O-KA) พบว่าสารดังกล่าวมีประสิทธิภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ที่ดีกว่าไคโตซาน และกรดโคจิกเพียงลำพัง (Liu *et al.*, 2019) ไคโตซานและกรดโคจิกโพลีเมอร์ (COS-O-KA) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยารักษาโรค

ความปลอดภัยและผลข้างเคียงของกรดโคจิก

กรดโคจิกทั้งที่ได้จากธรรมชาติและอนุพันธ์ของกรดโคจิกนับว่ามีประโยชน์อย่างมาก อุตสาหกรรมหลักที่นำกรดโคจิกไปใช้ประโยชน์คือ อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและเวชภัณฑ์ เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของกรดโคจิกซึ่งล้วนเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหลายประการ ได้แก่ เพิ่มความขาวให้กับผิว ลดจุดด่างดำ ลดริ้วรอย ลดการเกิดสิว ลดรอยแผลเป็น ปกป้องแสงอัลตราไวโอเล็ต และต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้กรดโคจิกเพื่อเพิ่มความขาวและความสวยงามของผิวพรรณในเครื่องสำอางควรใช้ใน ช่วง 1-2% เพราะเป็นปริมาณที่เหมาะสมและถือว่าค่อนข้างปลอดภัยหรือไม่มีผลเสียต่อผู้ใช้ส่วนใหญ่ เช่น ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองหรือทำให้เกิดการแพ้ (allergic sensitivity) ยกเว้นในกรณีที่ใช้เพื่อการรักษาโรคหรือความผิดปกติของผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากเกินไป (เช่น ฝ้า กระ) อาจใช้กรดโคจิกในความเข้มข้นที่สูงกว่านี้ได้ แต่ก็ควรใช้ด้วยความระมัดระวังหรือภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทางด้านผิวหนัง อย่างไรก็ตามสำหรับในบางประเทศ (เช่น อเมริกา) กรดโคจิกยังไม่สามารถซื้อขายได้โดยปราศจากใบสั่งยาจากแพทย์ และประเทศในทวีปยุโรปภายใต้การดูแลขององค์กรที่ชื่อว่า European Commission's Scientific Committee ได้มีประกาศว่าไม่ควรใช้กรดโคจิกเกิน 1% ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิว (skin care) ชนิดต่างๆ แต่องค์กรดังกล่าวก็ยอมรับว่ากรดโคจิกไม่เป็นอันตรายใดๆ ต่อผู้ใช้ สอดคล้องกับหน่วยงานที่มีชื่อว่า Cosmetic Ingredient Review Expert Panel (CIREP) ซึ่งแนะนำให้ใช้กรดโคจิกในเครื่องสำอางเพียง 1% เช่นกัน สำหรับผลข้างเคียงที่อาจเกิดจากกรดโคจิกซึ่งอาจพบได้ในบางคน ได้แก่ การทำให้เกิดผื่นแพ้ (contact dermatitis) การทำให้ผิวมีความไวต่อแสงแดด (อาจพบได้ในกรณีที่ใช้กรดโคจิกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน) และในกรณีที่ใช้กรดโคจิกกับผิวหนังที่มีบาดแผลหรือรอยฉีกขาดอาจส่งผลทำให้เกิดมะเร็งได้

กรดโคจิกกับการประยุกต์ใช้

กรดโคจิกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน (Saeedi *et al.*, 2019) ซึ่งสรุปได้ดัง Table 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

เครื่องสำอางและเวชภัณฑ์

กรดโคจิกถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเนื่องจากมีคุณสมบัติหลักที่ช่วยส่งเสริมความงาม และกระตุ้นยอดขายของผลิตภัณฑ์เสริมความงามชนิดต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้นคือ ยับยั้งการทำงานของไทโรซิเนส ยับยั้งการสร้างเมลานิน เพิ่มความขาวแก่ผิว และลดโทนสีผิวให้อ่อนลง (Pillaiyar *et al.*, 2017) นอกจากนี้กรดโคจิกยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่น่าสนใจซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้ใช้ และเอื้อต่อการนำไปเป็นจุดขายในผลิตภัณฑ์เสริมความงามแก่ผิวพรรณ (Saeedi *et al.*, 2019) เช่น ช่วยกรองหรือปกป้องผิวจากแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet filter/protector) สามารถจับกับอนุมูลอิสระ (radical scavenging/antioxidant activity) (Niwa & Akamatsu, 1991) ช่วยสร้างคอลลาเจน (collagen

production) (Rodrigues *et al.*, 2014) และรักษาโรคผิวหนังที่เกิดจากการสร้างเมลานินมากผิดปกติ (เช่น ฝ้า กระ และรอยแผลเป็น) (Lajis *et al.*, 2012) ช่วยลดริ้วรอยที่เกิดจากการมีอายุมากขึ้น (anti-aging effect) ช่วยลดการอักเสบ (anti-inflammatory) (Lee *et al.*, 2019) นอกจากนี้กรดโคจิกยังสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพปากและฟัน (dental care) ได้ด้วย

เนื่องจากหลายประเทศในเอเชียมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการห้ามใช้สารไฮโดรควิโนนในเครื่องสำอาง ดังนั้นการใช้กรดโคจิกเพื่อทดแทนสารไฮโดรควิโนนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และน่าจะเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กรดโคจิกได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

Table 1 Applications of kojic acid in various fields

Fields of Applications	Actions
Cosmetic	Tyrosinase inhibitor, skin-lightening agent, UV protector, anti-aging effect, decrease the appearance of scars, increase collagen production, antioxidant activity, anti-inflammatory
Food	Antioxidant, Anti-biofilm
Medicine	Antibacterial activity, antiviral activity, antifungal activity, antiparasitic activity, antitumor, anticancer, antibiofilm-formation, anticonvulsant, anti-diabetic
Agriculture	Antioxidant, food preservation/additive, prevention of discoloration of fresh meat and vegetables, anti-speck, increase plant growth
Chemistry	Insecticide, pesticide, metal chelating agent, production of novel derivatives of kojic acid

การแพทย์

กรดโคจิกสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้เป็นยารักษาโรคติดเชื้อ (infectious disease) เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) ดังนั้นกรดโคจิกจึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ได้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้หลายกลุ่ม ดังนี้ (1) มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (antibacterial activity) ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก แกรมลบ (Sarai *et al.*, 2017) และแม้แต่แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ เช่น *Bacillus* และ *Clostridium* (2) มีฤทธิ์ต้านรา (antifungal activity) (Kim *et al.*, 2012) (3) มีฤทธิ์ต้านโปรโตซัว (anti-parasitic activity) เช่น *Leishmania amazonensis* (Rodrigues *et al.*, 2014) และ (4) มีฤทธิ์ต้านไวรัส (antiviral activity) เช่น ไวรัสก่อโรคเอดส์ (HIV) (Tanaka *et al.*, 2009)

นอกจากฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์แล้ว กรดโคจิกยังมีคุณสมบัติอีกหลายประการที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ได้แก่ สามารถยับยั้งการเกิดเนื้องอก (antitumor activity) โดยพบว่ามีความเป็นพิษต่อเซลล์เนื้องอก (cytotoxicity) (Fu *et al.*, 2014) สามารถยับยั้งการเกิดมะเร็ง

(anticancer activity) เช่น เมลาโนมา (melanoma) โดยแทบจะไม่มีผลเสียต่อเซลล์ปกติ (Karakaya *et al.*, 2019) สามารถยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์ม (anti-biofilm formation) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ปกคลุมเชื้อจุลินทรีย์ไว้ ทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาว รวมถึงยาปฏิชีวนะเข้าไปทำลายเซลล์แบคทีเรียหรือเข้าถึงเซลล์แบคทีเรียที่สร้างไบโอฟิล์มได้ยากขึ้น ดังนั้นกรดโคจิกจึงมีส่วนช่วยลดการติดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร (food borne pathogen) ที่สามารถสร้างไบโอฟิล์มได้ เช่น *Listeria monocytogenes* (Wu *et al.*, 2019) นอกจากนี้กรดโคจิกยังสามารถพัฒนาไปใช้เป็นยากันชัก (anticonvulsant) (Aytemir *et al.*, 2010) และยารักษาโรคเบาหวาน (anti-diabetic) (Wei & Yang, 2012) ได้ด้วย

อาหาร

โดยปกติกรดโคจิกสามารถพบได้ในอาหารหลายชนิดที่มีราเป็นเชื้อเริ่มต้นของกระบวนการหมัก และการบริโภคกรดโคจิกในปริมาณที่พบอยู่ในอาหารตามธรรมชาติถือว่าไม่เป็นอันตราย แต่กลับส่งเสริมหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารให้ดียิ่งขึ้น หรือจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ช่วย

ด้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น นอกจากนี้กรดโคจิกยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารได้อีกหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มคุณภาพหรือมูลค่าของอาหาร (food additive) เช่น (1) ใช้เติมลงในอาหารเพื่อลดการเปลี่ยนสีของอาหารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning) ดังนั้นกรดโคจิกจึงช่วยทำให้อาหารไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำ แต่ยังคงสีสดใสดูเป็นธรรมชาติ และน่ารับประทาน ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทั้งในผลไม้ เครื่องดื่ม และอาหารทะเล (Zhao *et al.*, 2019) (2) ใช้เป็นสารกันเสีย/กันบูดในอาหาร (food preservative) เนื่องจากกรดโคจิกมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Yang *et al.*, 2018) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นและรสผิดปกติของเนื้อในระหว่างการเก็บรักษา (warmed-over flavor) ได้ด้วย และ (3) ใช้เป็นสารช่วยลดการเกิดจุดสีน้ำตาล (anti-speck) ในเส้นก๋วยเตี๋ยวดิบ (uncooked noodles) (Uchino *et al.*, 1988)

การเกษตรและเคมีภัณฑ์

มีรายงานว่ากรดโคจิกมีฤทธิ์เป็นยาฆ่าแมลง (insecticidal activity) โดยสามารถยับยั้งแมลงบางชนิดรวมถึงแมลงศัตรูพืช เช่น หนอนเจาะผักข้าวโพด (*Heliothis zea*) หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*Spodoptera frugiperda*) แมลงวันบ้าน (*Musca domestica*) และแมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) (Dowd, 1988) ทั้งนี้อาจใช้กรดโคจิกแบบเดี่ยวหรือใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อเสริมฤทธิ์หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งแมลงดังกล่าว โดยกลไกการยับยั้งเชื่อว่าอาจเกิดจากการไปยับยั้งพัฒนาการ (development) ของแมลง หรืออาจไปมีผลทำให้แมลงเป็นหมัน (sterility) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากรดโคจิกมีความสามารถในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเพิ่มผลผลิต

สำหรับการนำกรดโคจิกไปใช้ประโยชน์ทางด้านเคมีภัณฑ์ ได้แก่ การผลิตอนุพันธ์ของกรดโคจิกโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้ได้สารอินทรีย์ชนิดใหม่ๆ (Zirak & Eftekhari-Sis, 2015) การใช้กรดโคจิกหรืออนุพันธ์ของกรดโคจิกเป็นสารคีเลตเพื่อจับกับโลหะไอออนที่มีประจุบวก เช่น เหล็ก (iron III) และอะลูมิเนียม (aluminium III) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรักษาโรคบางอย่างได้ (Nurchi *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่จะใช้อนุพันธ์ของกรดโคจิกในการกำจัดโลหะไอออนที่มีประจุบวกซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำและในสิ่งแวดล้อม

บทสรุป

กรดโคจิกเป็นสารที่สร้างจากราบางชนิดโดยอาศัยกระบวนการหมัก สามารถพบกรดโคจิกได้ในอาหารที่บริโภคในชีวิตประจำวัน และมีการบริโภคมาอย่างยาวนานโดยเฉพาะอาหารหมักของชาวญี่ปุ่น ปัจจุบันกรดโคจิกสามารถผลิตได้เป็นปริมาณมากและมีการผลิตเป็นการค้าเพื่อนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง วงการที่นิยมใช้กรดโคจิกมากที่สุดคือเครื่องสำอาง เนื่องจากกรดโคจิกมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือสามารถยับยั้งการทำงานของไทโรซิเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการสร้างเมลานิน ส่งผลให้กรดโคจิกมีฤทธิ์เป็นสารเพิ่มความขาวแก่ผิว และสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหลายชนิด เช่น สบู่ ครีม และโลชั่น เนื่องจากกรดโคจิกเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ สามารถซึมผ่านผิวหนังและมีความปลอดภัยสูง ดังนั้นจึงได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน จากคุณสมบัติทางเคมีและทางชีวภาพของกรดโคจิกทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น และเกิดอนุพันธ์ของกรดโคจิกชนิดใหม่ได้อีกหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้อาจมีคุณสมบัติคงเดิมเช่นเดียวกับกรดโคจิก ดีขึ้นกว่าเดิม หรือต่างไปจากเดิม จึงทำให้กรดโคจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอุตสาหกรรมอื่นอีกหลายด้าน เช่น การแพทย์ อาหาร เกษตรและเคมีภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการพัฒนาสารใหม่ๆ จากกรดโคจิกควรต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของสารเหล่านั้นอย่างละเอียดทั้งผลดีและผลเสียก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

- Affah, S.N., Azhar, S., Ashari, S.E., & Salim, N. (2018). Development of a kojic monooleate-enriched oil-in-water nanoemulsion as a potential carrier for hyperpigmentation treatment. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 6465-6479. <https://doi.org/10.2147/IJN.S171532>
- Aytemir, M.D., Septioglu, E., & Calis, U. (2010). Synthesis and anticonvulsant activity of new kojic acid derivatives. *Arzneimittelforschung*, 60(1), 22-29. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1296244>
- Beard, R.L., & Walter, G.S. (1969). Kojic acid as an insecticidal mycotoxin. *Journal of Invertebrate Pathology*, 14(1), 53-59. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(69\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(69)90010-X)
- Brtko, J., Rondahl, L., Fickova, M., Hudecova, D., Eybl, V., & Uher, M. (2004). Kojic acid and its derivatives: History and present state of art. *Central European Journal of Public Health*, 12(Suppl), S16-S18. <https://doi.org/10.21101/cejph.b0102>

- Burnett, C.L., Bergfeld, W.F., Belsito, D.V., Hill, R.A., Klaassen, C.D., Liebler, D.C., Marks, J.G., Shank, R.C., Slaga, T.J., Snyder, P.W., & Anderson, F.A. (2010). Final report of the safety assessment of kojic acid used in cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 29(Suppl 4), 244S-273S. <https://doi.org/10.1177/1091581810385956>.
- Cichorek, M., Wachulska, M., Stasiewicz, A. & Tyminska, A. (2013). Skin melanocytes: Biology and development. *Advances in Dermatology and Allergology*, 30(1), 30-41. <https://doi.org/10.5114/pdia.2013.33376>.
- Couteau, C., & Coiffard, L. (2016). Overview of skin whitening agents: Drugs and cosmetic products. *Cosmetics*, 3(27), 1-16. <https://doi.org/10.3390/cosmetics3030027>.
- Dowd, P.F. (1988). Toxicological and biochemical interactions of the fungal metabolites fusaric acid and kojic acid with xenobiotics in *Heliothis zea* (F.) and *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 32(2), 123-134. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(88\)90005-3](https://doi.org/10.1016/0048-3575(88)90005-3)
- Fu, Y., Yang, Y., Zhou, S., Liu, Y., Yuan, Y., Li, S., & Li, C. (2014). Ciprofloxacin containing Mannich base and its copper complex induce antitumor activity via different mechanism of action. *International Journal of Oncology*, 45, 2092-2100. <https://doi.org/10.3892/ijco.2014.2611>
- Karakaya, G., Ercan, A., Oncul, S., & Aytemir, M.D. (2019). Kojic acid derivatives as potential anticancer agents: Synthesis and cytotoxic evaluation on A375 human malignant melanoma cells. *Journal of Research in Pharmacy*, 23(4), 596-607. <https://doi.org/10.12991/jrp.2019.167>
- Kim, J.H., Chang, P.K., Chan, K.L., Faria, N.C.G., Mahoney, N., Kim, Y.K., Martins, M.D.L., & Campbell, B.C. (2012). Enhancement of commercial antifungal agents by kojic acid. *Journal of Molecular Sciences*, 13(11), 13867-13880. <https://doi.org/10.3390/ijms131113867>
- Lajis, A.F.B., Hamid, M., & Ariff, A.B. (2012). Depigmenting effect of kojic acid esters in hyperpigmented B16F1 melanoma cells. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 952452. <https://doi.org/10.1155/2012/952452>
- Lee, M., Rho, H.S., & Choi, K. (2019). Anti-inflammatory effects of a p-coumaric acid and kojic acid derivative in LPS-stimulated RAW264.7 macrophage cells. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 24, 653-657. <https://doi.org/10.1007/s12257-018-0492-1>
- Liu, X., Xie, W., Yang, X., Zhan, X., & Xia, W. (2019). Physicochemical characteristics and biological activities of chitosan-o-kojic acid conjugate polymer. *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*, 5(4), 655-662. <https://doi.org/10.31031/TTEFT.2019.05.000617>
- Niwa, Y., & Akamatsu, K. (1991). Kojic acid scavenges free radicals while potentiating leukocyte functions including free radical generation. *Inflammation*, 15(4), 303-315. <https://doi.org/10.1007/BF00917315>
- Nohynek, G.J., Kirkland, D., & Marzin, D., Toutain, H., Leclerc-Ribaud, C., & Jinnai, H. (2004). An assessment of the genotoxicity and human health risk of topical use of kojic acid [5-hydroxy-2-(hydroxymethyl)-4H-pyran-4-one]. *Food and Chemical Toxicology*, 2(1), 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2003.08.008>
- Nurchi, V.M., Lachowicz, J.I., Crisponi, G., Murgia, S., Arca, M., Pintus, A., Gans, P., Niclos-Gutierrez, J., Dominguez-Martin, A., Castineiras, A., Remelli, M., Szewczuk, Z., & Lis, T. (2011). Kojic acid derivatives as powerful chelators for iron (III) and aluminium (III). *Dalton Transactions*, 40(22), 5984-5998. <https://doi.org/doi:10.1039/c1dt00005e>
- Pillaiyar, T., Manickam, A., & Namasivayam, V. (2017). Skin whitening agents: Medicinal chemistry perspective of tyrosinase inhibitors. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1), 403-425. <https://doi.org/10.1080/14756366.2016.1256882>
- Qian, W., Liu, W., Zhu, D., Cao, Y., Tang, A., Gong, G., & Su, H. (2020). Natural skin-whitening compounds for the treatment of melanogenesis (review). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 20, 173-185. <https://doi.org/10.3892/etm.2020.8687>
- Rodrigues, A.P.D., Farias, L.H.S., Carvalho, A.S. C., Santos, A.S., do Nascimento, J.L.M., & Silva, E.O. (2014). A novel function for kojic acid, a secondary metabolite from *Aspergillus* fungi, as antileishmanial agent. *PLoS One*, 9(3), e91259. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091259>

- Saeedi, M., Eslamifar, M., & Khezri, K. (2019). Kojic acid applications in cosmetic and pharmaceutical preparations. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 110, 582-593. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.006>
- Saraei, M., Zarrini, G., Esmati, M., & Ahmadzadeh, L. (2017). Novel functionalized monomers based on kojic acid: Synthesis, characterization, polymerization and evaluation of antimicrobial activity. *Designed Monomers and Polymers*, 20(1), 325-331. <https://doi.org/10.1080/15685551.2016.1259832>
- Sie, C.Z.W., Ngaini, Z., Suhaili, N., & Madihalagan, E. (2018). Synthesis of kojic ester derivatives as potential antibacterial agent. *Journal of Chemistry*, 2018, 1245712. <https://doi.org/10.1155/2018/1245712>
- Tanaka, R., Tsujii, H., Yamada, T., Kajimoto, T., Amano, F., Hasegawa, J., Node, M., Katoh, K., & Takebe, Y. (2009). Novel 3 α -methoxyserrat-14-en-21 β -ol (PJ-1) and 3 β -methoxyserrat-14-en-21 β -ol (PJ-2)-curcumin, kojic acid, quercetin, and baicalein conjugates as HIV agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(14), 5238-5246. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.05.049>
- Uchino, K., Nagawa, M., Tonosaki, Y., Oda, M., & Fukuchi, A. (1998). Kojic acid as an anti-speck agent. *Agricultural and Biological Chemistry*, 52(10), 2609-2610. <https://doi.org/10.1080/00021369.1988.10869087>
- Wei, Y.B., & Yang, X.D. (2012). Synthesis, characterization and anti-diabetic therapeutic potential of a new benzyl acid-derivatized kojic acid vanadyl complex. *Biometals*, 25, 1261-1268. <https://doi.org/10.1007/s10534-012-9587-x>
- Wu, Y., Shi, Y., Zeng, L., Pan, Y., Huang, X., Bian, L., Zhu, Y., Zhang, R., & Zhang, J. (2019). Evaluation of antibacterial and anti-biofilm properties of kojic acid against five food-related bacteria and related subcellular mechanisms of bacterial inactivation. *Food Science and Technology International*, 25(1), 3-15. <https://doi.org/10.1177/1082013218793075>
- Yang, C., Qi, X., Zheng, J., Fan, X., Liang, P., & Song, C. (2018). Efficacy of various preservatives on extending shelf life of vacuum-packaged raw pork during 4 $^{\circ}$ C storage. *Journal of Food Protection*, 81(4), 636-645. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-423>
- Zhao, X., He, Z., Ren, X., Li, H., & Zhong, Q. (2019). Storage and preservative study of tropical fruits by kojic acid. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 12(11), 84-90. <https://doi.org/10.9790/2380-1211018490>
- Zirak, A., & Eftekhari-Sis, B. (2015). Kojic acid in organic synthesis. *Turkish Journal of Chemistry*, 39, 439-496. <https://doi.org/doi:10.3906/kim-1502-55>

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์และกิจกรรมของกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสในพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมแพะ

Comparison of malondialdehyde concentration and glutathione peroxidase activity in plasma and mammary epithelial cells isolated from goat milk

หนึ่งนุช สายปิ่น¹, มาริสา แก้วสุวรรณ², รัชดา สาดตระกูลวัฒนา^{3*}

Nungnuch Saipin¹, Marisa Keawsuwan², Rachada Sadtragoolwatana^{3*}

Received: 28 December 2020 ; Revised: 4 March 2021 ; Accepted: 30 March 2021

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของ malondialdehyde (MDA) และกิจกรรมของ glutathione peroxidase (GPx) ในตัวสัตว์และเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมแพะ แม่แพะพันธุ์ซาเนนจำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามเดือนที่ 1, 2 และ 3 ของระยะการให้นม ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนม ผลการทดลองพบว่า แพะกลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นของพลาสมา MDA และกิจกรรมของ GPx สูงกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในทางกลับกันความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมของกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) สรุปได้ว่าความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx สามารถตรวจวัดได้ทั้งจากพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนม นอกจากนี้การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งความเข้มข้นของ MDA ($R^2 = 0.0648$) และกิจกรรมของ GPx ($R^2 = 0.0399$) ระหว่างพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของพลาสมา MDA และกิจกรรมของ GPx

คำสำคัญ: กิจกรรมของกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส น้ำนมแพะ ความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ เซลล์เยื่อบุเต้านม

Abstract

The purpose of this study was to measure malondialdehyde (MDA) concentration and glutathione peroxidase (GPx) activity in the animals and the mammary epithelial cells (MECs) isolated from goat milk. Twenty-four Saanen goats were allocated into three groups according to the first, second, and third months of their lactation periods. Plasma samples and MECs isolated from milk were collected. The results showed that plasma MDA concentration and GPx activity from the second group were significantly higher ($P < 0.05$) than that of the first and the third group. On the other hand, MDA concentration and GPx activity of MECs isolated from milk showed no significant difference ($P > 0.05$) in the experimental groups. In conclusion, MDA concentration and GPx activity occurred in both plasma and MECs isolated from milk. In addition, the correlation coefficient of both MDA concentration ($R^2 = 0.0648$) and GPx activity ($R^2 = 0.0399$) of plasma and MECs isolated from milk showed no correlation. This suggested that MECs isolated from milk cannot be used to replace plasma as the sample for measuring MDA concentration and GPx activity.

Keywords: Glutathione peroxidase (GPx) activity, Goat milk, Malondialdehyde (MDA) concentration, Mammary epithelial cells

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

² อาจารย์, ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

³ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

¹ Lecturer, Division of Agricultural Technology, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240, Thailand.

² Lecturer, Department of Statistic, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240, Thailand.

³ Lecturer, Department of Food Technology, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240, Thailand.

* Corresponding author: Rachada Sadtragoolwatana, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Ramkhamhaeng Road, Hua Mark, Bangkok, Bangkok, 10240, Thailand, e-mail: srachada@hotmail.com

บทนำ

การเลี้ยงแพะนมในประเทศไทยที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้นส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำนม ผนวกกับระยะแรกของการให้นม แม่แพะนมพันธุ์ซาเนนมีอัตราการให้นมสูงร่วมกับอัตราการเผาผลาญพลังงานและการทำหน้าที่ของเซลล์เยื่อบุเต้านม (Mammary epithelial cells ; MECs) สูงขึ้น ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียและความเครียดออกซิเดชันมากและรวดเร็วส่งผลเสียต่อการคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ความมีชีวิต และการทำหน้าที่สังเคราะห์น้ำนมของเซลล์เยื่อบุเต้านม (Bernabucci *et al.*, 2002 ; Hall *et al.*, 1994) นอกจากนี้ระดับความเครียดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นไม่เพียงแต่เกิดผลเสียในระดับตัวสัตว์ ยังก่อความเสียหายต่อเซลล์ต่างๆ ในอวัยวะและหากความรุนแรงของความเครียดออกซิเดชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดความเสียหายของร่างกาย และมีผลกระทบโดยตรงในระดับเซลล์ เซลล์เยื่อบุเต้านมทำหน้าที่ในการสังเคราะห์น้ำนมลดลง (Bernabucci *et al.*, 2002) ทั้งนี้ระดับการเกิดความเครียดออกซิเดชันสามารถตรวจวัดจากตัวชี้วัดที่สำคัญ เช่น สารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde ; MDA) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญไขมันในระดับเซลล์ (Castillo *et al.*, 2006) และกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase ; GPx) ที่ตอบสนองต่อระดับ Reactive Oxygen Species (ROS) ที่เพิ่มขึ้น (Chance *et al.*, 1979)

การศึกษาลักษณะและการทำหน้าที่ของเซลล์เยื่อบุเต้านมส่วนใหญ่เป็นตัวอย่างเซลล์เต้านมที่มีมาจากการตรวจตัดชิ้นเนื้อ (Biopsy) (Knight, *et al.*, 1992) แต่วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญในการตัดชิ้นเนื้อ รวมถึงมีกรรมวิธีการเตรียมตัวสัตว์ การรักษาความสะอาดระหว่างขั้นตอนและการดูแลรักษาผลหลังการตัดชิ้นเนื้อที่เข้มงวด ซึ่งทุกขั้นตอนมีความยุ่งยาก ทั้งยังทำให้เกิดความเจ็บปวดแก่ตัวสัตว์ รวมถึงต้องงดการจำหน่ายผลผลิตน้ำนมอันเนื่องมาจากกระบวนการหายของแผล นอกจากนี้ยังต้องมีมาตรการควบคุมความปลอดภัยทั้งแก่ผู้ปฏิบัติงานและต่อตัวสัตว์ เพื่อให้การศึกษามีความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์ภายใต้บทบัญญัติของพระราชบัญญัติป้องกันการทารุณกรรมและการจัดสวัสดิภาพสัตว์ พ.ศ. 2557 และพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558 ทำให้มีงานวิจัยที่มีแนวคิดการใช้เซลล์เยื่อบุเต้านมที่ได้จากน้ำนม เพื่อใช้เป็นตัวแทนเซลล์เยื่อบุเต้านม โดยมีการศึกษาและวิจัยมาระยะหนึ่ง จากการเก็บตัวอย่างน้ำนมคน (Taylor-Papadimitriou *et al.*, 1977) โคนม (Sigl, *et al.*, 2012) และแพะ (Boutinaud *et al.*, 2002) ผลการศึกษาสามารถแยกเซลล์ได้และเมื่อนำมาจำแนกชนิดและคุณลักษณะจำเพาะของเซลล์พบว่าเซลล์เยื่อบุเต้านม ทั้งยังนำมาใช้ศึกษาการทำหน้าที่ของเซลล์เยื่อ

บุเต้านมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Hu *et al.*, 2016 ; Peng *et al.*, 2011 ; Tao *et al.*, 2011)

อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดความเครียดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นภายในระดับตัวสัตว์และเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมแพะระหว่างการให้นมนั้นยังไม่กว้างขวาง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx และหาความสัมพันธ์ในระดับตัวสัตว์และเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมแพะ

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการทดลอง และวิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย สาขาการดำเนินการต่อสัตว์ทดลอง มหาวิทยาลัยรามคำแหง เลขที่ RU-LARESC-62/001

แม่แพะนมพันธุ์ซาเนนอายุระหว่าง 3-6 ปี น้ำหนักเฉลี่ยก่อนคลอด 38-46 กิโลกรัม เลี้ยงในคอกรวม แบ่งกลุ่มแยกตามระยะการให้นมช่วงเดือนที่หนึ่ง (0-30 วันหลังคลอด) จำนวน 8 ตัว เดือนที่สอง (31-60 วันหลังคลอด) จำนวน 10 ตัว และเดือนที่สาม (61-90 วันหลังคลอด) จำนวน 6 ตัว ตามลำดับอาหารที่ให้แม่แพะระหว่างการทดลองเป็นอาหารชั้นสำเร็จรูปชนิดเม็ดสูตรสำหรับแพะระยะให้นม โปรตีน 16% โดยให้กินเต็มที่ วันละ 2 ครั้ง เวลา 05.00 น. และ 15.00 น. หญ้าแพงโกล่าแห้งจัดไว้ให้แพะสามารถกินได้ตลอดเวลา น้ำดื่มสะอาดตั้งไว้ให้กินอย่างอิสระ และเกลือแร่ก้อนจัดไว้ภายในคอกเพื่อให้แพะสามารถเลียกินได้ตามความต้องการ

การเก็บตัวอย่างเลือดจากแพะกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ทำเวลา 07.00 น. ในวันที่ 30, 60 และ 90 ตามลำดับ โดยเจาะเลือดจากหลอดเลือดดำใหญ่ที่คอ (Jugular vein) ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อตัว เก็บในหลอดเก็บเลือดที่ผสมสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA) นำเลือดที่ได้ปั่นเหวี่ยงแยกส่วนเม็ดเลือดแดงและพลาสมาด้วยเครื่องปั่นตกตะกอน (Beckman CS-15R Centrifuge, Indianapolis, USA) ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างพลาสมาเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของพลาสมา MDA และกิจกรรมของ GPx การเก็บข้อมูลผลผลิตน้ำนมแพะทุกวันโดยวิธีรีดด้วยมือ 2 ครั้งต่อวัน ในเวลาเช้า (06.00 น.) และเย็น (16.00 น.) ซึ่งน้ำหนักน้ำนมและบันทึกผลเป็นหน่วยกิโลกรัม (Kg) ตัวอย่างน้ำนมจากแพะกลุ่มทดลองที่รีดในเวลาเช้าของวันที่ 30, 60 และ 90 แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ปริมาณ 30 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนม (Milk compositions) ด้วยเครื่อง Milkoscan (FT2 ; Foss, Hilleroed, Denmark) ส่วนที่ 2 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร เก็บใน

ขวดพลาสติกปราศจากเชื้อเพื่อนำมาแยกเซลล์เยื่อบุเต้านมทันทีภายในห้องปฏิบัติการ โดยการปั่นเหวี่ยงนํ้านมดิบความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำตะกอนเซลล์ (Cell pellets) ที่ได้ล้างทำความสะอาดไขมันและเศษตะกอนโปรตีนด้วย Phosphate buffer saline solution (PBS) 5 ครั้ง จนเซลล์ที่ได้สะอาดและไม่พบลักษณะของไขมันเกาะที่ตะกอนเซลล์ ตะกอนเซลล์เยื่อบุเต้านมที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx โดยการทดสอบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย การวิเคราะห์สาร MDA จากปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมันในพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านม ด้วยชุดทดสอบ Lipid Peroxidation (MDA) Assay (Colorimetric) (ab118970, Abcam, USA) ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ และวัดค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (SpectraMax M3, Molecular Devices, San Jose, CA, USA) ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ GPx ในพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านม ด้วยชุดทดสอบ Glutathione Peroxidase Assay (Colorimetric) (ab102530, Abcam, USA) ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ และวัดค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบผลผลิตนํ้านม ส่วนประกอบนํ้านม ความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านมของแต่ละกลุ่มด้วยสถิติ One-way ANOVA และ Duncan's Multiple Range test กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ $P < 0.05$ ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ระหว่างพลาสมา กับเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านมใช้การทดสอบแบบ Pearson Correlation ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาน้ำหนักตัวและการให้ผลผลิตนํ้านมของแพะแสดงใน Table 1 พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวแพะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยแพะกลุ่มที่ 1 มีน้ำหนักตัวคิดเป็น 31.05 ± 5.39 กิโลกรัม น้อยกว่าแพะกลุ่มที่ 2 (45.18 ± 4.00 กิโลกรัม) และกลุ่มที่ 3 (55.80 ± 9.02 กิโลกรัม) ตามลำดับ ผลผลิตนํ้านมของแพะกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 3.03 ± 0.82 กิโลกรัม/วัน สูงกว่าแพะกลุ่มที่ 1 (1.60 ± 0.29 กิโลกรัม/วัน) และกลุ่มที่ 3 (1.22 ± 0.19 กิโลกรัม/วัน) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามส่วนประกอบนํ้านมของแพะทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx แสดงใน Table 2 โดยแพะกลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นของพลาสมา MDA (1.70 ± 0.36 nmol/ml) สูงกว่าแพะกลุ่มที่ 1 (1.00 ± 0.30 nmol/ml) และกลุ่มที่ 3 (0.80 ± 0.50 nmol/ml) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) รวมถึงกิจกรรมของ GPx แสดงผลในลักษณะเดียวกับความเข้มข้นของพลาสมา MDA โดยพบว่ากิจกรรมของ GPx ในพลาสมาของแพะกลุ่มที่ 2 (435.22 ± 88.22 nmol/ml) มีค่าสูงกว่าแพะกลุ่มที่ 1 (199.41 ± 87.28 nmol/ml) และกลุ่มที่ 3 (175.65 ± 83.42 nmol/ml) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยแพะกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 มีความเข้มข้นของ MDA คิดเป็น 0.11 ± 0.04 , 0.08 ± 0.02 และ 0.12 ± 0.03 nmol/ml และกิจกรรมของ GPx คิดเป็น 0.46 ± 0.41 , 1.66 ± 1.46 และ 1.20 ± 1.15 nmol/ml ตามลำดับ

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าความเข้มข้นของพลาสมา MDA และเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านมมีค่า $R^2 = 0.0648$ (Figure 1) และกิจกรรมของ GPx มีค่า $R^2 = 0.0399$ (Figure 2) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์กันของทั้งความเข้มข้นของ MDA ($P = 0.263$) และกิจกรรมของ GPx ($P = 0.442$) ระหว่างพลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากนํ้านม

สรุปและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวแพะกลุ่มที่อยู่ในช่วงเดือนที่หนึ่งของการให้นม มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าแพะที่อยู่ในช่วงเดือนที่สองและสาม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของแม่แพะในช่วงก่อนคลอดและหลังคลอดที่แพะเริ่มให้ผลผลิตนํ้านมส่งผลให้น้ำหนักตัวน้อย (Abuelo *et al.*, 2019; Kenyon *et al.*, 2014; Putman *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตามเมื่อแพะเริ่มปรับตัวและมีการให้อาหารช่อกินเต็มที่ ในระหว่างการทดลอง ร่วมกับมีการจัดการด้านการเลี้ยงดูที่เหมาะสม ทำให้สภาพร่างกายและน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ผนวกกับการให้ผลผลิตนํ้านมในช่วงเดือนที่สองและสามเริ่มลดลงขณะที่แพะยังคงมีการกินได้ปกติแต่ให้ผลผลิตต่ำจึงส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่สองและสามของการให้นม

ความเครียดออกซิเดชันของแพะในการทดลองนี้วิเคราะห์ได้จากความเข้มข้นของ MDA ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญไขมัน (Castillo *et al.*, 2006; Kapusta *et al.*, 2018) และกิจกรรมของ GPx ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระโดยกระตุ้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นน้ำและออกซิเจน เพื่อลดความเป็นพิษของสารอนุมูลอิสระที่อาจทำอันตรายต่อเซลล์

(Bernabucci *et al.*, 2002 ; Hall *et al.*, 1994 ; Miyamoto *et al.*, 2003) ทั้งนี้แพะให้นมในช่วงเดือนที่สองมีการให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น มีผลให้ความเข้มข้นของพลาสมา MDA และกิจกรรมของ GPx สูงกว่ากลุ่มอื่น (Celi, 2010 ; Chaiyabutr *et al.*, 2011)

Kapusta *et al.*, 2018 ; Mohebbi-Fani *et al.*, 2016) ในทางกลับกันความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมของแพะทุกกลุ่ม

ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) รวมถึงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx พบว่าระหว่าง พลาสมาและเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมไม่มีความสัมพันธ์กัน จากการทดลองสรุปได้ว่าแม่แพะพันธุ์ซาเนนระหว่างการให้ผลผลิตน้ำนมสูง ความเข้มข้นของพลาสมา MDA และกิจกรรมของ GPx สามารถบ่งชี้ความเครียดออกซิเดชันในภาพรวมระดับตัวสัตว์ได้

Table 1 Body weight (Kg), milk production (Kg/day) and milk compositions (g%) of the goats from the 1st, 2nd, and 3rd month of lactation periods

Item	Lactation periods			P-value
	1 st month	2 nd month	3 rd month	
Body weight (Kg)	31.05±5.39 ^c	45.18±4.00 ^b	55.80±9.02 ^a	<0.05
Milk production (Kg/day)	1.60±0.29 ^b	3.03±0.82 ^a	1.22±0.19 ^b	<0.05
Milk compositions				
Fat (g%)	3.42±0.41	3.66±0.74	3.87±0.38	0.434
Protein (g%)	3.27±0.45	2.99±0.21	3.26±0.18	0.220
Lactose (g%)	4.73±0.16	4.57±0.12	4.69±0.11	0.129
Total solid (g%)	12.48±0.52	11.96±1.07	12.81±0.37	0.179
Solid not fat (g%)	9.04±0.53	8.59±0.18	9.02±0.17	0.067

Values are presented as mean±SD.

Statistical significance of interaction effects among periods of lactations by ANOVA

^{a,b,c} Mean values within a row indicated with different superscripts are significantly different (P<0.05)

Table 2 Plasma and MECs MDA concentration (nmol/ml), Plasma and MECs GPx activity (nmol/ml) of the goats from the 1st, 2nd, and 3rd month of lactation periods

Item	Lactation periods			P-value
	1 st month	2 nd month	3 rd month	
Plasma MDA concentration (nmol/ml)	1.00±0.30 ^b	1.70±0.36 ^a	0.80±0.50 ^p	<0.05
Plasma GPx activity (nmol/ml)	199.41±87.28 ^b	435.22±88.22 ^a	175.65±83.42 ^p	<0.05
MDA concentration of MECs (nmol/ml)	0.11±0.04	0.08±0.02	0.12±0.03	0.109
GPx activity of MECs (nmol/ml)	0.46±0.41	1.66±1.46	1.20±1.15	0.184

Values are presented as mean±SD.

Statistical significance of interaction effects among periods of lactations by ANOVA

^{a,b,c} Mean values within a row indicated with different superscripts are significantly different (P<0.05)

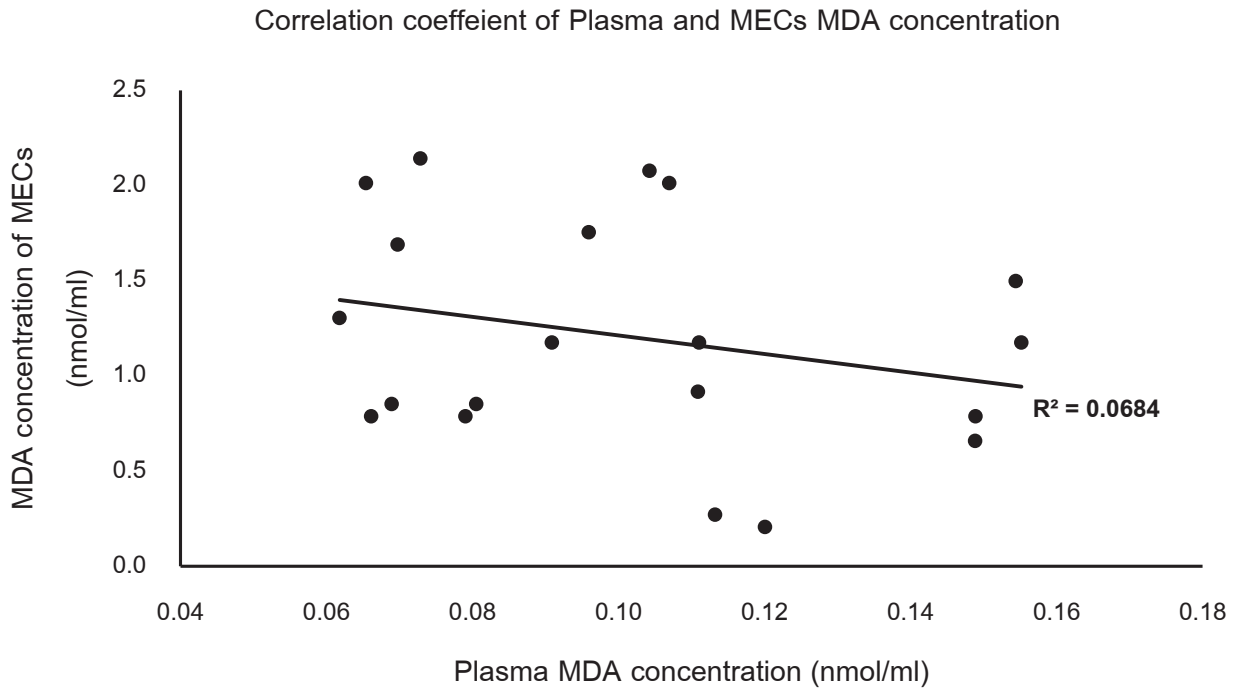


Figure 1 The Pearson correlation between plasma MDA concentration and MDA concentration of MECs of the goats in the experiment ($R^2=0.0684$)

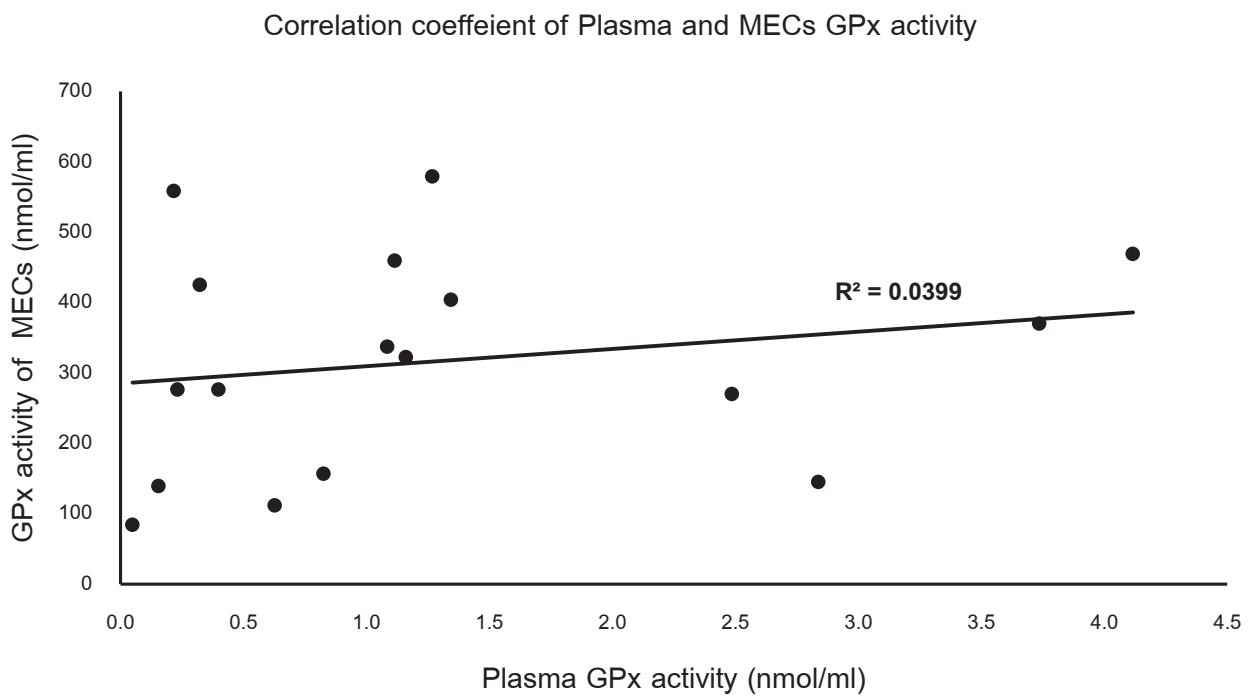


Figure 2 The Pearson correlation between plasma GPx activity and GPx activity of MECs of the goats in the experiment ($R^2=0.0399$)

แต่ในทางกลับกันเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมใช้บ่งชี้ความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในภาพรวมระดับตัวสัตว์ได้ต่ำ และไม่มีความสัมพันธ์กับพลาสมา จึงไม่สามารถใช้ทดแทนตัวอย่างพลาสมาเพื่อบ่งชี้ความเครียดออกซิเดชันในระดับตัวสัตว์ได้ ทำให้การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความเครียดออกซิเดชันในระดับตัวสัตว์ยังคงต้องเลือกวิธีการเก็บตัวอย่างเลือดและพลาสมาจากสัตว์ทดลอง ทั้งนี้ในสภาวะการเกิดความเครียดออกซิเดชันมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกายในช่วงคลอดลูก และการให้ผลผลิตของสัตว์ มีผลให้สารอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นแต่ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระลดลง ย่อมส่งผลให้เกิดภาวะความเครียดออกซิเดชันตามมา นอกจากนี้อนุมูลอิสระในร่างกายที่สูงขึ้นสามารถกระตุ้นให้เกิดการทำหน้าที่ต้านออกซิเดชันได้ในหลายรูปแบบ ทั้งแบบที่อาศัยสารต้านอนุมูลอิสระชนิดเอนไซม์ เช่น เอนไซม์คะตะเลส (CAT) ที่พบได้ทั้งในเซลล์ร่างกาย เซลล์เม็ดเลือดแดง และในพลาสมา (Abeni *et al.*, 2007) เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (SOD) ที่พบได้ทั้งในเซลล์และในพลาสมา (McCord & Fridovich, 1969) รวมถึงเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (GPx) ที่พบมากในพลาสมา (Moolchandani, 2018) นอกจากนี้ยังพบสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้น หรือได้รับจากอาหาร เช่น วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี กลูตาไธโอน กรดยูริค ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอล (Beutler *et al.*, 1963 ; McDowell & Arthington, 2005) จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้ความสามารถต้านออกซิเดชันรวม (Total antioxidant capacity) ในตัวสัตว์และพลาสมามีประสิทธิภาพสูงและมากกว่าในเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนม ซึ่งอาจมีการทำหน้าที่ต้านออกซิเดชันหลักจากสารต้านอนุมูลอิสระชนิดเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์คะตะเลส (Spitz *et al.*, 1988) เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Stralin & Marklund, 1994) และเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Gille & Joenje, 1992 ; Miyamoto *et al.*, 2003)

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาบ่งชี้ได้ว่าตัวอย่างจากเซลล์เยื่อบุเต้านมที่แยกได้จากน้ำนมสามารถนำมาใช้เป็นตัวตัวอย่างเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของ MDA และกิจกรรมของ GPx ในเซลล์เยื่อบุเต้านมและในเต้านมแพะได้ ซึ่งช่วยให้เกิดประโยชน์ในการใช้เป็นตัวเลือกสำหรับวิเคราะห์ความเครียดออกซิเดชันแบบเฉพาะที่ที่เกิดขึ้นในเซลล์และในเต้านม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง และความอนุเคราะห์แพะใช้เป็นสัตว์ทดลองและสถานที่ในการทดลองจากคุณปรีชา นุสและ เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง

- Abeni, F., Calamari, L., & Stefanini, L. (2007). Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress. *International Journal Biometeorology*, 52(2), 87-96. doi:10.1007/s00484-007-0098-3.
- Abuelo, A., Hernández, J., Benedito, J. L., & Castillo, C. (2019). Redox Biology in Transition Periods of Dairy Cattle: Role in the Health of Periparturient and Neonatal Animals. *Antioxidants (Basel)*, 8(1), doi: 10.3390/antiox8010020.
- Bernabucci, U., Ronchi, B., Lacetera, N., & Nardone, A. (2002). Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2173-2179. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)742 96-3.
- Beutler, E., Duron, O., & Kelly, B. M. (1963). Improved method for the determination of blood glutathione. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 61, 882-888.
- Boutinaud, M., Rulquin, H., Keisler, D. H., Djiane, J., & Jammes, H. (2002). Use of somatic cells from goat milk for dynamic studies of gene expression in the mammary gland. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1258-1269.
- Castillo, C., Hernández, J., Valverde, I., Pereira, V., Sotillo, J., Alonso, M. L., & Benedito, J. L. (2006). Plasma malonaldehyde (MDA) and total antioxidant status (TAS) during lactation in dairy cows. *Research in Veterinary Science*, 80(2), 133-139. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2005. 06.003.
- Celi, P. (2010). The role of oxidative stress in small ruminants' health and production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 348-363.

- Chaiyabutr, N., Chanchai, W., Boonsanit, D., Sitprija, S., & Chanpongsang, S. (2011). Different Responses of Oxidative Stress Index in the Plasma of Crossbred Holstein Cattle During Cooling and Supplemental Recombinant Bovine Somatotropin. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(8), 1045-1053. doi:10.3923/javaa.2011.1045.1053.
- Chance, B., Sies, H., & Boveris, A. (1979). Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. *Physiological Reviews*, 59(3), 527-605. doi:10.1152/physrev.1979.59.3.527.
- Gille, J.J., & Joenje, H. (1992). Cell culture models for oxidative stress: superoxide and hydrogen peroxide versus normobaric hyperoxia. *Mutation Research*, 275(3-6), 405-414.
- Hall, D.M., Buettner, G.R., Matthes, R.D., & Gisolfi, C.V. (1994). Hyperthermia stimulates nitric oxide formation: electron paramagnetic resonance detection of NO-heme in blood. *Journal of Applied Physiology*, 77(2), 548-553.
- Hu, H., Zhang, Y., Zheng, N., Cheng, J., & Wang, J. (2016). The effect of heat stress on gene expression and synthesis of heat-shock and milk proteins in bovine mammary epithelial cells. *Animal Science Journal*, 87(1), 84-91. doi:10.1111/asj.12375.
- Kapusta, A., Kuczynska, B., & Puppel, K. (2018). Relationship between the degree of antioxidant protection and the level of malondialdehyde in high-performance Polish Holstein-Friesian cows in peak of lactation. *PLoS ONE*, 13(3), e0193512. doi:10.1371/journal.pone.0193512.
- Kenyon, P.R., Maloney, S.K., & Blache, D. (2014). Review of sheep body condition score in relation to production characteristics. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 57(1), 38-64. doi:10.1080/00288233.2013.857698.
- Knight, C.H., Hillerton, J.E., Teverson, R.M., & Winter, A. (1992). Biopsy of the bovine mammary gland. *British Veterinary Journal*, 148(2), 129-132. doi:10.1016/0007-1935(92)90104-9.
- McCord, J.M., & Fridovich, I. (1969). Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte hemocuprein. *Journal of Biological Chemistry*, 244(22), 6049-6055.
- McDowell, L.R., & Arthington, J.D. (2005). *Minerals for grazing ruminants in tropical regions*. Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Miyamoto, Y., Koh, Y.H., Park, Y.S., Fujiwara, N., Sakiyama, H., Misonou, Y.,... Taniguchi, N. (2003). Oxidative stress caused by inactivation of glutathione peroxidase and adaptive responses. *Journal of Biological Chemistry*, 384(4), 567-574. doi:10.1515/bc.2003.064.
- Mohebbi-Fani, M., Ansari-Lari, M., Nazifi, S., Abbasi, F., & Shabboei, Z. (2016). Oxidative Status and Acute Phase Response in Post-transition Early- and Mid-lactation Holstein Cows and Their Correlations with Some Performance Records. *Istanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 42, doi:10.16988/iuvfd.2016.55237.
- Moolchandani, A. (2018). A Review: Oxidative Stress during Lactation in Dairy Cattle. *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 5, doi:10.19080/JDVS.2018.05.555669.
- Peng, X., Lu, L., Li, Y., & Yan, P. (2011). Mammary Cell Turnover under High Temperature during the Dry Period in Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(4), 485-492. doi:10.5713/ajas.2011.10297.
- Putman, A.K., Brown, J.L., Gandy, J.C., Wisnieski, L., & Sordillo, L.M. (2018). Changes in biomarkers of nutrient metabolism, inflammation, and oxidative stress in dairy cows during the transition into the early dry period. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9350-9359. doi:10.3168/jds.2018-14591.
- Sigl, T., Meyer, H., & Wiedemann, S. (2012). Gene expression of six major milk proteins in primary bovine mammary epithelial cells isolated from milk during the first twenty weeks of lactation. *Czech Journal of Animal Science*, 57(10), 469-480.
- Spitz, D.R., Li, G.C., McCormick, M.L., Sun, Y., & Oberley, L.W. (1988). Stable H₂O₂-resistant variants of Chinese hamster fibroblasts demonstrate increases in catalase activity. *Radiation Research*, 114(1), 114-124.

- Stralin, P., & Marklund, S.L. (1994). Effects of oxidative stress on expression of extracellular superoxide dismutase, CuZn-superoxide dismutase and Mn-superoxide dismutase in human dermal fibroblasts. *Biochemical Journal*, 298 (Pt 2)(Pt 2), 347-352. doi:10.1042/bj2980347.
- Tao, S., Bubolz, J.W., do Amaral, B.C., Thompson, I.M., Hayen, M.J., Johnson, S.E., & Dahl, G.E. (2011). Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 5976-5986. doi:10.3168/jds.2011-4329.
- Taylor-Papadimitriou, J., Shearer, M., & Tilly, R. (1977). Some properties of cells cultured from early-lactation human milk. *Journal of the National Cancer Institute*, 58(6), 1563-1571.

ความผันแปรของไมโครแซทเทลไลท์ และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ในแพะ 3 สายพันธุ์ของพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทย

Microsatellite and mitochondrial DNA variation in three goat breeds of Southern Thailand

ศิริรัตน์ นอสูงเนิน^{1,2}, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์^{2,3}, ประชญาพร เอกบุตร์^{2,4*}
Sirirat Norsungnoen^{1,2}, Chaiyawan Wattanachant^{2,3}, Pradchayaporn Akaboot^{2,4*}

Received: 18 February 2021 ; Revised: 26 April 2021 ; Accepted: 19 May 2021

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อสำรวจเครื่องหมายดีเอ็นเอ สำหรับใช้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยสามสายพันธุ์ คือ แพะเนื้อลูกผสมทรพี-ม.อ.1 แพะพื้นเมืองภาคใต้ และแพะแองโกลนูเบียน เก็บตัวอย่างเลือดแพะทั้งหมด 90 ตัว ผลการวิเคราะห์เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ 15 ตำแหน่ง พบความหลากหลายทางพันธุกรรม 11 ตำแหน่ง และผลการวิเคราะห์ไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ จากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด คือ *Bmrl*, *ASel* และ *FokI* พบการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bmrl* แสดงแอสไพโลไทป์ 2 รูปแบบ และสำหรับเอนไซม์ตัดจำเพาะ *ASel* และ *FokI* แสดงแอสไพโลไทป์เพียงรูปแบบเดียว

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางพันธุกรรม ไมโครแซทเทลไลท์ ไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ

Abstract

The objective of the research was to investigate a DNA Marker used for study genetic diversity of goats in Southern Thailand. Three breeds were studied ; crossbred meat goat Sup-PSU-1, Thai-native southern goat and Anglo-Nubian goat A total of 90 goat blood samples were collected. The results revealed 11 of 15 microsatellite loci were polymorphic. The result of mitochondrial DNA that was cut with 3 restriction enzymes ; *Bmrl*, *ASel* and *FokI* revealed that *Bmrl* disclosed two haplotype patterns. However, *ASel* and *FokI* showed only one haplotype pattern.

Keywords: Genetic diversity, Microsatellite markers, mitochondrial DNA

¹ นักวิชาการสัตวบาล, ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา 90230

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชานวัตกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

⁴ อาจารย์, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

¹ Animal Husbandry Technical Officer, Small Ruminant Research and Development Center Khlong Hoi Khong District, Songkhla 90230, Thailand.

² Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand.

³ Asst. Prof., Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90110, Thailand.

⁴ Lecturer, School of Agricultural Technology and Food Industry, Walailak University, Tha Sala District, Nakhon Si Thammarat 80160, Thailand.

* Corresponding author: pradchayaporn.ak@wu.ac.th

บทนำ

เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ (microsatellite marker) และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ (mitochondrial DNA) เป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA marker) ที่ใช้บ่งชี้ความจำเพาะของสิ่งมีชีวิต สายพันธุ์หนึ่ง สปีชีส์หนึ่ง หรือในระดับต่างสปีชีส์ (หทัยรัตน์ อุไรรงค์ และ ฉวีหทัย เอพาณิช, 2548) ซึ่งการใช้ดีเอ็นเอเป็นเครื่องหมายเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของนิวคลีโอไทด์ในโมเลกุลของดีเอ็นเอหรือเกิดโพลิมอร์ฟิซึม (polymorphism) ของลำดับเบสในโมเลกุลของดีเอ็นเอที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีความแตกต่างกัน (อลงกรณ์ ศรีพลแทน, 2557) ผลของความแตกต่างดังกล่าวมีประโยชน์ต่อการศึกษาความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variation) และความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) สำหรับนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์ การศึกษาจุดกำเนิดและวิวัฒนาการ การศึกษาหาความแตกต่างทางพันธุกรรม และการจัดกลุ่มประชากร เป็นต้น ทั้งนี้ การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม เนื่องจากใช้ระยะเวลาที่สั้นและมีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่าวิธีการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (พัชรี หมั่นอินกุด และกิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ, 2561)

ปัจจุบันมีการศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมจากเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ เพื่อหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะ เช่น Bolormaa *et al.* (2008) ใช้ไมโครแซทเทลไลท์ จำนวน 14 ตำแหน่ง ศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมในแพะ 5 สายพันธุ์ (Angora, Cashmere, Bayandelger, Zavkhan buural and Gobi Gurvan Saikhan goat) Aljumaah *et al.* (2012) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแพะ (Ardi goat) ในประเทศซาอุดีอาระเบีย ด้วยเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ จำนวน 14 ตำแหน่ง El-Sayed *et al.* (2016) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากรแพะพื้นเมืองสองกลุ่ม (Farafra and Siwa goat) นอกจากนี้ Seilsuth *et al.* (2016) มีการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมแพะนมในประเทศไทย จำนวน 5 สายพันธุ์ ด้วยเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ 5 ตำแหน่ง และพบมีการใช้เครื่องหมายไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ในการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและแหล่งกำเนิดของแพะในสาธารณรัฐประชาชนจีน จำนวน 13 สายพันธุ์ (Liu *et al.*, 2007) รวมทั้ง Oka *et al.* (2011) มีการศึกษาความหลากหลายและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างแพะพันธุ์แท้ (Gembrong and Kacang goat) และแพะลูกผสม (Kacang x Etawah) โดยใช้เครื่องหมายไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ทั้งนี้การศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแพะ

มีความสำคัญเนื่องจากสามารถนำไปใช้ตรวจสอบเอกลักษณ์ ตรวจสอบความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม และสามารถนำไปประยุกต์ในด้านต่างๆ อีกมากมาย รวมถึงยังสามารถบ่งบอกถึงศักยภาพของประชากรในการอยู่รอดในอนาคตได้

อย่างไรก็ตาม รายงานการใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ยังมีข้อมูลอย่างจำกัด ดังนั้น จึงควรมีการสำรวจเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะพื้นที่ภาคใต้ เนื่องจากผลของการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้เครื่องหมายและตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดการคลาดเคลื่อนของผลที่ศึกษาได้ อีกทั้งเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการศึกษา

วิธีดำเนินงานวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเลือดแพะ จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ แพะเนื้อลูกผสมทรัพย์-ม.อ.1 แพะพื้นเมืองภาคใต้ และแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน จำนวนพันธุ์ละ 30 ตัว (เลือกใช้แพะจำนวน 30 ตัวต่อสายพันธุ์ ตามคำแนะนำของ ISAG/FAO (2011) ด้วยการประมาณค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม ความถี่ของอัลลีลที่เชื่อถือได้ ควรมาจากการสุ่มตัวอย่างจากสายพันธุ์ที่มีประชากรไม่ต่ำกว่า 40 ตัว และสุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 25 ตัวต่อสายพันธุ์) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก อำเภอลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา และศูนย์วิจัยและพัฒนาแพะแกะ อำเภอรามัน จังหวัดยะลา

การเตรียมตัวอย่างเลือด และการสกัดดีเอ็นเอ

เก็บตัวอย่างเลือดแพะรายตัว โดยเจาะเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณคอ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีสาร EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำตัวอย่างเลือดแพะไปแยกเม็ดเลือดขาว และล้างเลือด (whole blood) โดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ดูดเก็บบัฟไฟโคท (buffy coat) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวก์ (microcentrifuge tube) เติมน้ำ DI (Deionized water) ปริมาตร 900 ไมโครลิตร แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง เก็บตะกอนเม็ดเลือดขาว

จากนั้นสกัดดีเอ็นเอโดยประยุกต์จากวิธีของ Goodwin *et al.* (2007) อ้างโดย (ปรัชญาพร เอกบุตร, 2550) แล้ววัดปริมาณดีเอ็นเอจากการดูดกลืนแสง (optical density) ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร และ 280 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ปรับค่าความเข้มข้นให้มีค่า 50

นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) บนวุ้นอะกาโรส (agarose gel) ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาดีเอ็นเอที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์ (polymerase chain reaction: PCR) โดยใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ จำนวน 15 ตำแหน่ง และไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ จำนวน 2 ตำแหน่ง (Table 1) ในปฏิกิริยาพีซีอาร์มีปริมาตรรวม 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วยดีเอ็นเอต้นแบบ (DNA template) 1 ไมโครลิตร, ไพรมเมอร์ 1 ไมโครลิตร (forward 0.5 ไมโครลิตร และ reverse 0.5 ไมโครลิตร), dNTPs 0.5 ไมโครลิตร, 10X PCR-buffer 2.5 ไมโครลิตร, Taq DNA polymerase 0.125 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำ DI 4.875 ไมโครลิตร ใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ ดังนี้ initial activation 95°C 5 นาที, denature 95°C 30 วินาที, annealing ที่ระดับอุณหภูมิตามแต่ละไพรมเมอร์ (Table 1) 45 วินาที, extension 72°C 45 วินาที และ final extension 72°C เป็นเวลา 7 นาที

นำผลผลิตของปฏิกิริยาพีซีอาร์ ที่ได้ไปตรวจสอบด้วยอิเล็กโทรโฟรีซิสบนแผ่นวุ้นอะกาโรส ที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ละลายใน TBE buffer โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 50 โวลต์ เป็นเวลา 90 นาที ย้อมแถบดีเอ็นเอด้วยเอธิเดียมโบรไมด์

โบรไมด์ (ethidium bromide) ตรวจสอบการปรากฏของแถบดีเอ็นเอภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต 260 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง gel documentation อ่านผลโดยเทียบขนาดกับขนาดดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 DNA ladders

การตรวจสอบรูปแบบแฮพลไทป์ของไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ด้วยเทคนิคพีซีอาร์-อาร์เอฟแอลพี

นำข้อมูลลำดับเบสของไพรมเมอร์ GQ1 (Accession No. NC0050442.2) จากฐานข้อมูล GenBank มาออกแบบเอนไซม์ตัดจำเพาะด้วยโปรแกรม NEB cutter v2.0 สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด คือ *Bmrl*, *ASel* และ *FokI* ซึ่งมีตำแหน่งตัดและขนาด ดังแสดงใน Table 2 (ไพรมเมอร์ CAP ไม่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้) ส่วนประกอบในปฏิกิริยาพีซีอาร์-อาร์เอฟแอลพี (restriction fragment length polymorphism: PCR-RFLP) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร มีดังนี้ น้ำ DI 6.5 ไมโครลิตร, 10X buffer 1 ไมโครลิตร, restriction enzyme 0.5 U และผลผลิตจากปฏิกิริยาพีซีอาร์ ปริมาตร 2 ไมโครลิตร นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150, 120 และ 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นวัดการปรากฏของแถบดีเอ็นเอด้วย 3 เปอร์เซ็นต์ อะกาโรสเจล ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 50 โวลต์ เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำเจลที่ได้ย้อมด้วยเอธิเดียมโบรไมด์ ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต และบันทึกภาพ

Table 1 Primer, sequence, temperature and their expected sizes

Locus Name	Primer sequence (5'→3')	Annealing Temp. (°C)	Allele Size (bp)
Microsatellite markers			
SRCRSP5	F: GGACTCTACCAACTGAGCTACAAG R: TGAAATGAAGCTAAAGCAATGC	55	158-182 ¹ 156-178 ⁴
INRA063	F: GACCACAAAGGGATTTGCACAAGC R: AAACCACAGAAATGCTTGGAAG	56	164-172 ¹ 164-186 ²
INRABERN185	F: CAATCTTGCTCCCACTATGC R: CTCCTAAAACACTCCCACACTA	53	266-284 ¹ 261-289 ²
ETH225	F: GATCACCTTGCCACTATTTCT R: ACATGACAGCCAGCTGCTACT	53	141-159 ⁵ 146-160 ⁶
MAF70	F: CACGGAGTCACAAAGAGTCAGACC R: GCAGGACTCTACGGGCCCTTTGC	62	120-190 ³ 134-168 ⁴
OarFCB48	F: GAGTTAGTACAAGGATGACAAGAGGCAC R: GACTCTAGAGGATCGCAAAGAACCAG	58	149-173 ⁴ 149-181 ⁶
INRA023	F: GAGTAGAGCTACAAGATAAAGCTTC R: TAACTACAGGGTGTAGATGAATC	52	196-215 ² 196-215 ³

Table 1 Primer, sequence, temperature and their expected sizes (cont.)

Locus Name	Primer sequence (5'→3')	Annealing Temp. (°C)	Allele Size (bp)
ILSTS011	F:GCTTGCTACATGGAAAGTGC R:CTAAAATGCAGAGCCCTACC	54	250-300 ³ 256-294 ⁷
ILSTS005	F:GGAAGCAATTGAAATCTATAGCC R:TGTTCTGTGAGTTTGTAAAGC	51	174-190 ⁶ 174-218 ⁷
TGLA53	F:GCTTTCAGAAATAGTTTGCATTCA R:ATCTTCACATGATATTACAGCAGA	51	142-166 ³ 154-188 ⁵
ETH10	F:GTTCCAGGACTGGCCCTGCTAACA R:CCTCCAGCCCACTTTCTCTTCTC	60	212-224 ⁵ 192-216 ⁶
SPS113	F: CCTCCACACAGGCTTCTCGACTT R: CCTAACTTGCTTGAGTTATTGCC	58	134-158 ² 134-158 ³
OarFCB20	F: GGAAAACCCCATATATACCTATA R: AAATGTGTTTAAGATTCCATACATGTG	52	82-124 ¹ 93-112 ²
ILSTS029	F: TGTTTTGATGGAACACAG R: TTGATTTAGACCAGGGTTGG	51	135-185 ³ 148-170 ⁴
BM1818	F: AGCTGGGAATATAACCAAAGG R: AGTGCTTTCAAGGTCCATGC	54	250-270 ¹ 253-272 ⁵
Mitochondrial DNA marker			
GQ1	F: TACAATCAATACACTGGTCTT R: ATTACGTTTATGCTGGATT	66	470 ⁸
CAP	F: CGTGATGCAAGTACATTAC R: CTGATTAGTCATTAGTCCATC	61	550 ⁹

¹Bolormaa *et al.* (2008), ²ISAG/FAO (2011), ³Aljumaah *et al.* (2012), ⁴El-Sayed *et al.* (2016), ⁵Seilsuth *et al.* (2016), ⁶Jayashree *et al.* (2019),

⁷Mahmoud *et al.* (2020), ⁸Liu *et al.* (2007), ⁹Oka *et al.* (2011)

Table 2 Restriction enzymes used for PCR-RFLP analysis by NEB cutter v2.0 program

Restriction enzyme	Sites in sequence	Cut position	Fragment size
Bmrl	1 cutter	173/172	172 and 298
ASel	1 cutter	147/149	147 and 323
FokI	2 cutters	258/262 368/372	258 and 212 368 and 102

เก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลนำผลแถบดีเอ็นเอของเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาพีซีอาร์ และผลแถบดีเอ็นเอของไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ที่ได้หลังจากทำปฏิกิริยาพีซีอาร์-อาร์เอฟแอลพี แปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลตัวเลข โดยแถบดีเอ็นเอที่ปรากฏแทนด้วย 1 และแถบดีเอ็นเอ

ที่ไม่ปรากฏในแถวเดียวกันแทนด้วย 0 สำหรับเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์นำมาวิเคราะห์หาความหลากหลายของขนาดอัลลีล จำนวนอัลลีล และ ค่า polymorphism information content (PIC) และเครื่องหมายไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ นำมาวิเคราะห์หาความถี่แฮพโลไทป์ (haplotype frequency)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ในปฏิกิริยาพีซีอาร์

จากการทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเข้าจับของไพรเมอร์ พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ จำนวน 11 ตำแหน่ง จาก 15 ตำแหน่ง คิดเป็นร้อยละ 73.33 คือ ตำแหน่ง SRCRSP5, MAF70, OarFCB48, INRA023, INRA063, ILSTS011, ILSTS005, TGLA53, ETH10, INRABERN185 และ ETH225 ส่วน 4 ตำแหน่งที่เหลือ พบไม่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ คือ BM1818 และเป็น monomorphic allele คือ SPS113, OarFCB20 และ ILSTS029

ความหลากหลายของขนาดและจำนวนอัลลีลของเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์

จากการวิเคราะห์พบเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ที่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์ จำนวน 11 ตำแหน่ง พบขนาดของอัลลีลมีขนาดอยู่ระหว่าง 129-340 คู่เบส (Table 3) นอกจากนี้ขนาดอัลลีลที่พบในแพะที่ศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอัลลีลอ้างอิง (Table 1) มีขนาดเริ่มต้นเล็กกว่าและขนาดสุดท้ายที่ใหญ่กว่าอัลลีลอ้างอิงในทุกไพรเมอร์ แสดงให้เห็นว่าแพะที่ศึกษามีความหลากหลายในด้านของขนาดอัลลีลสูง ทั้งนี้จากการศึกษาพบอัลลีลรวมทั้งหมด 62 อัลลีล ซึ่งมีจำนวนของอัลลีลอยู่ระหว่าง 4-8 อัลลีลต่อตำแหน่ง (Table 3) โดยพบตำแหน่ง ILSTS011 เป็นตำแหน่งที่พบอัลลีลมากที่สุด คือ 8 อัลลีล ตำแหน่ง SRCRSP5, TGLA53 และ INRABERN185 เป็นตำแหน่งที่

พบอัลลีล น้อยที่สุด คือ 4 อัลลีล ทั้งนี้จากจำนวนอัลลีลที่พบสามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ คือ ความหลากหลายของเครื่องหมายดีเอ็นเอที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ อาจมีจำนวนอัลลีลที่แตกต่างกัน โดยเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ ที่ให้จำนวนอัลลีล 4 อัลลีลขึ้นไป สามารถนำมาใช้ศึกษาแยกความแตกต่างได้ดีกว่าเครื่องหมายที่ให้จำนวนอัลลีล 2 อัลลีล

นอกจากนี้ค่า PIC ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของเครื่องหมายที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมในครั้งนี้พบในแพะเนื้อลูกผสมทรัพย์-ม.อ.1 (SUP) มีค่าระหว่าง 0.486-0.818 แพะพื้นเมืองภาคใต้ (TN) มีค่าระหว่าง 0.499-0.817 และแพะพันธุ์แองโกลนูเบีย (AN) มีค่าระหว่าง 0.187-0.759 ทั้งนี้พบค่า PIC ของเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ที่ศึกษาอยู่ในระดับปานกลาง (0.3-0.59) และระดับสูง (>0.60) ยกเว้นที่ตำแหน่ง INRABERN185 เฉพาะในแพะพันธุ์แองโกลนูเบีย ที่มีค่า PIC อยู่ในระดับต่ำ (<0.29) คือ 0.187 แต่อย่างไรก็ตามค่า PIC เฉลี่ยในแพะทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 0.657, 0.660 และ 0.604 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับสูง ซึ่งให้เห็นว่าเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์มีประสิทธิภาพในการนำมาศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแพะทั้งสามสายพันธุ์ได้ เนื่องจากวิธีหาค่า PIC ขึ้นอยู่กับจำนวนและความถี่ของอัลลีลในเครื่องหมาย ดังนั้นค่า PIC ที่สูงของเครื่องหมายบ่งบอกถึงประโยชน์สำหรับการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม

Table 3 Genetic variability parameters of crossbred meat goat Sup-PSU-1, Thai native goat and Anglo-Nubian goat

Locus name	Allele Size (bp)	Observed number of alleles	polymorphism information content (PIC)		
			SUP	TN	AN
SRCRSP5	153-228	4	0.673	0.608	0.559
MAF70	129-199	7	0.818	0.810	0.759
OarFCB48	138-200	6	0.761	0.701	0.734
INRA023	179-263	6	0.778	0.688	0.733
INRA063	171-218	5	0.705	0.534	0.595
ILSTS011	260-340	8	0.759	0.817	0.693
ILSTS005	151-222	7	0.682	0.620	0.751
TGLA53	132-175	4	0.574	0.659	0.447
ETH10	202-253	6	0.486	0.607	0.627
INRABERN185	176-267	4	0.499	0.499	0.187
ETH225	130-221	5	0.497	0.719	0.561
Mean number of alleles		5.64	0.657	0.660	0.604

SUP-PSU 1: crossbred meat goat Sup-PSU-1, TN: Thai native goat, AG: Anglo Nubian goat

ผลของเครื่องหมายไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ ในปฏิกิริยาพีซีอาร์-อาร์เอฟแอลพี

จากการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอในปฏิกิริยาพีซีอาร์ จำนวน 2 ไพรเมอร์ พบไพรเมอร์ GQ1 สามารถเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอได้ ส่วนไพรเมอร์ CAP ไม่สามารถเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอได้ ซึ่งผลจากปฏิกิริยาพีซีอาร์ พบขนาดดีเอ็นเอของไพรเมอร์ GQ1 มีขนาดเท่ากับ 470bp ในประชากรแพะทั้งสามกลุ่ม ดังแสดงใน Figure 1

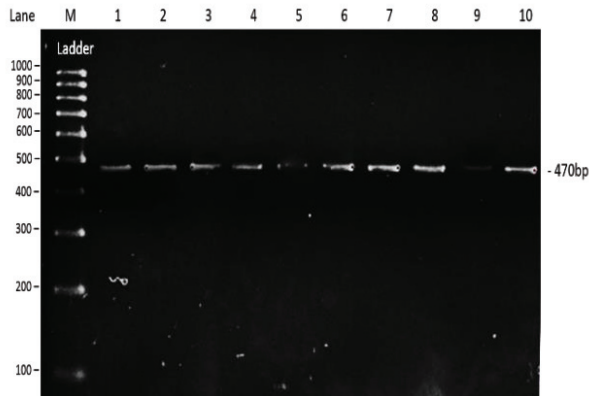


Figure 1 PCR size of 470bp (Lane M: 100bp DNA ladder)

สำหรับผลปฏิกิริยาพีซีอาร์-อาร์เอฟแอลพี ในการวิเคราะห์หาความหลากหลายทางพันธุกรรม โดยการนำผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาพีซีอาร์ มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด คือ *Bmrl*, *AseI* และ *FokI* สามารถตรวจพบรูปแบบแฮพโลไทป์ (haplotype) ดังนี้

(1) *Bmrl* สามารถตรวจพบจีโนไทป์ 2 รูปแบบคือ GG ที่มีขนาด 470bp, 298bp และ 172bp และ GC ที่มีขนาด 470bp, 400bp, 298bp, 172bp และ 70bp ดังแสดงใน Figure 2

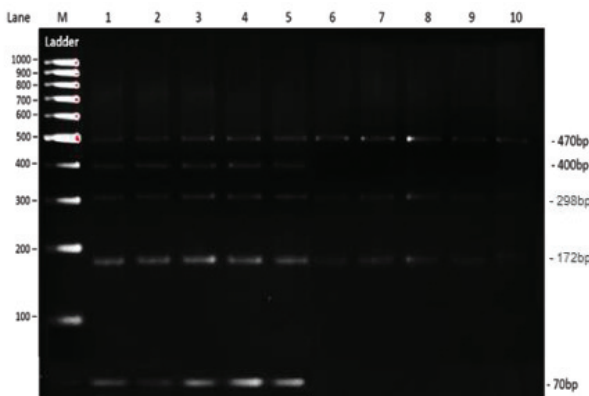


Figure 2 PCR-RFLP patterns of mitochondrial DNA digested by *Bmrl*. (Lane M: 100bp DNA Ladder, Lane 1-5 patterns genotype GC and Lane 6-10 patterns genotype GG)

(2) *AseI* สามารถตรวจพบรูปแบบแฮพโลไทป์ที่มีขนาด 470bp, 323bp และ 147bp ดังแสดงใน Figure 3

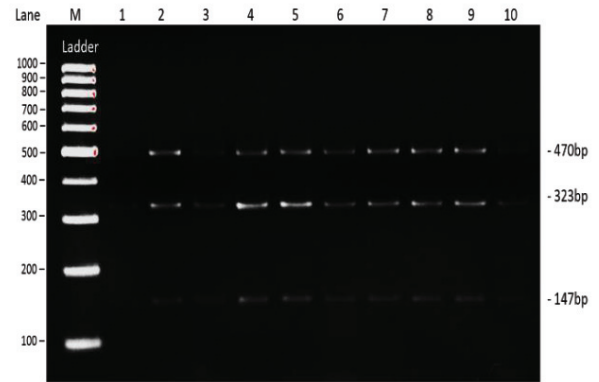


Figure 3 PCR-RFLP patterns of mitochondrial DNA digested by *AseI*. (Lane M: 100bp DNA Ladder, Lane 1: PCR product, Lane 2-4: Thai native goat, Lane 5-7: Anglo Nubian goat and Lane 8-9: Sup-PSU-1 goat)

(3) *FokI* สามารถตรวจพบรูปแบบแฮพโลไทป์ ที่มีขนาด 280bp, 110bp และ 80bp ดังแสดงใน Figure 4

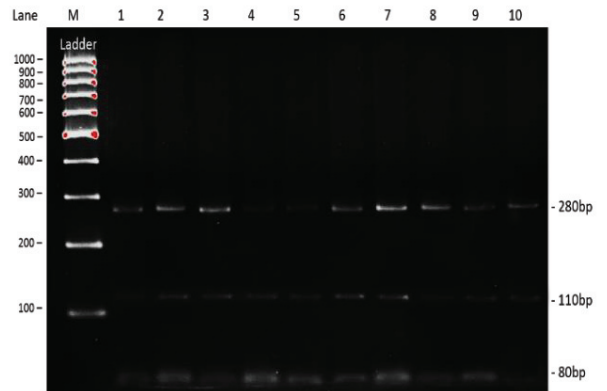


Figure 4 PCR-RFLP patterns of mitochondrial DNA digested by *FokI*. (Lane M: 100bp DNA Ladder, Lane 1: PCR product, Lane 2-4: Thai native goat, Lane 5-7: Anglo Nubian goat and Lane 8-9: Sup-PSU-1 goat)

อย่างไรก็ตามพบขนาดดีเอ็นเอหลังตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bmrl* และ *FokI* ให้ขนาดดีเอ็นเอที่แตกต่างจากอ้างอิงใน Table 2 ซึ่งอาจเป็น single nucleotide polymorphisms (SNPs) ตำแหน่งใหม่ ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลจึงอาจต้องส่งวิเคราะห์หีนลำดับต่อไป และทั้งนี้พบว่าหลังตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *AseI* และ *FokI* พบแฮพโลไทป์เพียงรูปแบบเดียว ในประชากรแพะทั้ง 3 กลุ่ม ทำให้มีค่าความถี่ยัลลีลเท่ากันในประชากรทั้ง 3 กลุ่มจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากรแพะเนื้อลูกผสมทรัพย์-ม.อ. 1 แพะพื้นเมืองภาคใต้ และแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนได้ ค่าความถี่ยัลลีล ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Haplotype frequencies of mitochondrial DNA in crossbred meat goat Sup-PSU 1, Thai native and Anglo-Nubian goat breeds

Restriction enzyme	Haplotype	Haplotype frequencies		
		SUP-PSU 1 (n=30)	TN (n=30)	AG (n=30)
<i>Bmrl</i>	G (470bp, 298bp and 172bp)	0.70	1.00	0.73
	C (470bp, 400bp and 70bp)	0.30	0.00	0.27
<i>AseI</i>	A (470bp, 323bp and 147bp)	1.00	1.00	1.00
<i>FokI</i>	B (280bp, 110bp and 80bp)	1.00	1.00	1.00

SUP-PSU 1: crossbred meat goat Sup-PSU-1, TN: Thai native goat, AG: Anglo Nubian goat

จาก Table 4 แสดงให้เห็นถึงค่าความถี่ของ แสพโพลไทป์จากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bmrl* พบ แสพโพลไทป์ G มีค่าความถี่สูงกว่าแอสพโพลไทป์ C ทั้งนี้อาจเกิดจากการคัดเลือกบางลักษณะของแต่ละประชากรที่อาจส่งผลกระทบต่อความถี่อัลลีล (หนึ่งฤทัย พรหมวาทิ และคณะ, 2554) และค่าความถี่ของแอสพโพลไทป์ได้อย่างไรก็ตามการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bmrl* ซึ่งให้เห็นว่าประชากรแพะทั้ง 3 กลุ่ม มีความหลากหลายทางพันธุกรรมซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากหากมีการคัดเลือกประชากร และมีความแตกต่างทางพันธุกรรมที่สามารถนำไปใช้ศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจำแนกพันธุ์ได้ อย่างไรก็ตามค่าความถี่ของ แสพโพลไทป์จากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *AseI* และ *FokI* พบมีค่าความถี่เท่ากับ 1.00 ซึ่งเท่ากันในทุกประชากร ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการตรวจพบรูปแบบแอสพโพลไทป์เพียงรูปแบบเดียว แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ตัดจำเพาะที่เลือกใช้ ไม่เหมาะสมแก่การนำมาศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรม

สรุป

ผลจากการสำรวจเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ พบเครื่องหมายที่ตำแหน่ง SRCRSP5, MAF70, OarFCB48, INRA023, INRA063, ILSTS011, ILSTS005, TGLA53, ETH10, INRABERN185 และ ETH225 รวม 11 ตำแหน่ง เป็นตำแหน่งที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสามารถนำมาศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะเนื้อลูกผสม ทรัพย์-ม.อ.1 แพะพื้นเมืองภาคใต้ และแพะพันธุ์แองโกลนูเบียญได้ ยกเว้นเครื่องหมายที่ตำแหน่ง BM1818, SPS113, OarFCB20 และ ILSTS029 ไม่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในประชากรแพะทั้ง 3 กลุ่ม สำหรับผลการสำรวจเครื่องหมายไมโทคอนเดรียล ดีเอ็นเอ จำนวน 2 ตำแหน่ง คือ GQ1 และ CAP พบตำแหน่ง CAP ไม่สามารถเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยา PCR ได้

และ GQ1 หลังจากทำปฏิกิริยา PCR-RFLP จากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Bmrl* พบสามารถให้รูปแบบแอสพโพลไทป์สองรูปแบบ ที่สามารถนำไปใช้ศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะทั้งสามกลุ่มได้ สำหรับการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *AseI* และ *FokI* พบปรากฏรูปแบบแอสพโพลไทป์เพียงรูปแบบเดียว หรือกล่าวได้ว่าเป็น monomorphic จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมในแพะเนื้อลูกผสม ทรัพย์-ม.อ. 1 แพะพื้นเมืองภาคใต้ และแพะพันธุ์แองโกลนูเบียญได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาแพะแกะ จังหวัดยะลา และศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ที่สนับสนุนตัวอย่างเลือดแพะ

เอกสารอ้างอิง

- ปรัชญาพร เอกบุตร. (2550). การจำแนกสายพันธุ์และการตรวจหาเครื่องหมายดีเอ็นเอของไก่พื้นเมืองโดยใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พัชรี หมื่นอินกุด และ กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ. (2561). การพัฒนาเครื่องหมาย ILP จากยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางลำต้นในอ้อย เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างทางพันธุกรรมในอ้อย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26, 1162-1175.
- หทัยรัตน์ อุไรรงค์ และ ณัฐหทัย เอพาณิช. (2548). การวิจัยสายพิมพ์ดีเอ็นเอของพันธุ์ข้าวไทย. สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร.

- หนึ่งฤทัย พรหมวาที, มนต์ชัย ดวงจินดา, วุฒิไกร บุญคุ้ม และ บัญญัติ เหล่าไพบูลย์. (2554). ความสัมพันธ์ระหว่างจุดกลายพันธุ์ (SNPs) ของยีน GHSR, IGFI, cGH และ IGFBP2 ต่อการเจริญเติบโตในไก่พื้นเมืองไทย (ซีและประดู่หางดำ). *แก่นเกษตร*, 39, 261-270.
- อลงกรณ์ ศรีพลแทน (2557). การประยุกต์ใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลต์ในการระบุสายพันธุ์งูที่จัดทำไว้ในประเทศไทย [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Aljumaah, R.S., Musthafa, M.M., Al-Shaikh, M.A., Badri, O.M., & Hussein, M.F. (2012). Genetic diversity of Ardi goat based on microsatellite analysis. *African Journal of Biotechnology*, 11(100), 16539-16545.
- Bolormaa, S., Ruvinsky, A., Walkden-Brown, S., & Van der Werf, J. (2008). Genetic relationships among Australian and Mongolian fleece-bearing goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(11), 1535-1543.
- El-Sayed, M., Al-Soudy, A., & El Badawy, A. (2016). Microsatellite markers Polymorphism between two Egyptian goat populations (*Capra hircus*). *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, 45(1), 89-103.
- IASG/FAO. (2011, February 1). *Molecular genetic characterization of animal genetic resources*. <http://www.fao.org/docrep/014/i2413e/i2413e00.pdf>
- Jayashree, R., Jayashankar, M. R., Nagaraja, C.S., Shrikrishna, I., & Satyanarayana, K. (2019). Genetic characterization of local goats of Karnataka by microsatellite marker analysis1. *Indian Journal of Animal Research*, 53(1), 19- 23.
- Liu, R.Y., Lei, C.Z., Liu, S.H., & Yang, G.S. (2007). Genetic diversity and origin of Chinese domestic goats revealed by complete mtDNA D-loop sequence variation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(2), 178-183.
- Mahmoud, A.H., Farah, M.A., Rady, A., Alanazi, K.M., Mohammed, O., Amor, N., & Alarjani, K.M. (2020). Molecular characterization of goats from Saudi Arabia using microsatellite markers. *Journal of King Saud University-Science*, 32(2), 1681-1686.
- Oka, I.G.L., Yupardhi, W.S., Mantra, I.B., Suyasa, N., & Dewi, A.A.S. (2011). Genetic relationship between gembrong goat, kacang goat and kacang x etawah crossbred (PE) based on their mitochondrial DNA. *Journal of Veterinary Medical Science*, 12(3), 180-184.
- Seilsuth, S., Seo, J.H., Kong, H.S., & Jeon, G.J. (2016). Microsatellite analysis of the genetic diversity and population structure in dairy goats in Thailand. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(3), 327.

การทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

Prediction of factors influencing decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram

เกรียง กิจบำรุงรัตน์¹
Krieng Kitbumrungrat¹

Received: 24 January 2021 ; Revised: 2 March 2021 ; Accepted: 29 March 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมในเขตกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณมีรูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจโดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นพฤติกรรมผู้บริโภคในการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งมีตัวแปรอิสระที่เป็นปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด 7Ps ซึ่งประกอบด้วย ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ปัจจัยด้านบุคลากร ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพ และปัจจัยด้านกระบวนการ ส่วนตัวแปรตามคือการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างด้วย 1) สถิติพรรณนา ประกอบด้วย ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ 2) สถิติอนุมาน ประกอบด้วย เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ผลการวิจัยการทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมมีทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยเรียงลำดับจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (Beta Coefficient) จากมากไปน้อย ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาดและความมีชื่อเสียงของแบรนด์ และปัจจัยด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้าและความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน ตามลำดับ

ผลการศึกษาการทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับธุรกิจร้านค้าออนไลน์สินค้าแฟชั่น ประเภทเสื้อผ้า ทั้งตัวผู้ประกอบการทั่วไป บริษัทสินค้าแฟชั่นประเภทเสื้อผ้าและบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจ สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เป็นข้อมูล เพื่อประกอบการตัดสินใจ และวางแผน เพื่อกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดเพื่อการสร้างรายได้เปรียบในการแข่งขันต่อคู่แข่งในการดำเนินธุรกิจ เพื่อผลการประกอบการที่ดีและมีกำไรได้อย่างยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: เสื้อผ้าแฟชั่น การซื้อสินค้าออนไลน์ เครื่องขายสังคมออนไลน์ ธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

Abstract

This research was conducted to predict factors affecting decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram in Bangkok. This was quantitative research conducted in the form of a research survey. The sample group consisted of consumers who purchased fashion apparel via Facebook and Instagram. Data were collected by using questionnaires with independent variables as marketing mix factors, '7P's,' consisting of Product, Price, Place, Promotion, People, Physical Evidence, and Process. Dependent variables were decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram. This research used analysis of basic data of the sample group through: 1) descriptive statistics consisting of frequency, percentage, mean, and standard deviation ; and 2) inferential statistics consisting of Factor Analysis and Multiple Regression Analysis.

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

¹ Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding Author, E-mail: Kriengstat@yahoo.com

The results revealed that there were 3 factors affecting decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram which when ordered of descending order of Beta Coefficient were product, promotion and brand's reputation, production presentation, and convenience for ordering and payment.

The results obtained from studying the prediction of factors affecting decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram will be beneficial for persons involved in the online fashion product business including general entrepreneurs, fashion apparel companies, and general persons interested in utilizing results of this research for making decision, planning, and establishing marketing strategies for gaining competitive advantages from business operation in order to sustainably gain good performance and profits in a long term.

Keywords: Fashion clothes, Online shopping, Social network, E-commerce business

บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันอยู่ในยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งโลกถูกเชื่อมโยงเข้าหากันด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร พัฒนาการทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและชุมชนในประเทศไทย ถูกเชื่อมโยงกับโครงข่ายการสื่อสาร กระแสของ Internet of things ซึ่งหมายถึงการเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างเข้าสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้คนสามารถสั่งการ ควบคุมใช้งาน อุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การสั่งเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ กำลังเป็นที่สนใจของคนในสังคมและแวดวงธุรกิจไม่เพียงแต่ในภาคเอกชนเท่านั้น ในส่วนของภาครัฐเองก็มีความตื่นตัวและให้ความสำคัญกับเรื่องนี้เช่นกัน โดยมีนโยบายที่จะผลักดันการพัฒนาประเทศไทยสู่เศรษฐกิจและสังคมที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Digital Economy) เพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนการปฏิรูปประเทศ เนื่องจากการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคดิจิทัลนั้นไม่เพียงแต่จะเอื้อประโยชน์ต่อภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ยังส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สาธารณูปโภค และวิถีชีวิตของผู้คนในประเทศด้วยเช่นกัน ซึ่งถือเป็นแนวโน้มใหญ่ที่จะเปลี่ยนแปลงไลฟ์สไตล์ของผู้บริโภคไทยในยุคปัจจุบัน

จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคในยุคเศรษฐกิจดิจิทัลและการพัฒนาของเครือข่ายสังคมออนไลน์ ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองไลฟ์สไตล์ของคนในยุคปัจจุบัน จากยุคแรกที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างตนเอง ปัจจุบันได้ประยุกต์สู่ภาคธุรกิจจึงเป็นช่องทางการตลาดของผู้ประกอบการธุรกิจหลายราย รวมทั้งผู้ประกอบการรายใหม่ที่เริ่มเข้าสู่การธุรกิจร้านค้าออนไลน์ โดยใช้ช่องทางของเครือข่ายสังคมออนไลน์ เนื่องจากมีต้นทุนการดำเนินธุรกิจที่ต่ำและสามารถเข้าถึงผู้บริโภคได้อย่างกว้างขวางและรวดเร็วทุกที่ ทุกเวลา รวมไปถึงการพัฒนาระบบพื้นฐานที่เอื้อต่อการซื้อขายสินค้าผ่านอินเทอร์เน็ตมากขึ้น อาทิ ระบบการขนส่ง

ระบบการชำระเงินที่สะดวกหลากหลายช่องทาง มีระบบความปลอดภัยมากขึ้น ส่งผลให้ความนิยมการซื้อขายสินค้าและบริการผ่านระบบ “พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์” (E-Commerce) อัตราการเติบโตมากขึ้นอย่างรวดเร็ว

ธัญญพัทธ์ เกตุประดิษฐ์ และ อิทธิกร ขาเดช (2554) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าทางอินเทอร์เน็ตของผู้หญิงในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการตัดสินใจในด้านผลิตภัณฑ์ตรงกับความต้องการสอดคล้องกับเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อเสื้อผ้าสตรีผ่านช่องทางออนไลน์ของผู้หญิงวัยทำงานของ ปุญญนุช บุญยะสุนานนท์ (2557) ที่พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการซื้อเสื้อผ้าสตรีผ่านช่องทางออนไลน์ ในด้านการออกแบบที่สวยงาม มีความโดดเด่นและสร้างสรรค์ รวมถึงการตัดเย็บอย่างประณีต และมีขนาดเสื้อผ้าให้เลือกหลากหลาย

พรรณิสา นิมมานโสภณ (2557) ทำการศึกษาในเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าผู้หญิงจากร้านค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันอินสตาแกรม พบว่า การเลือกดูผลิตภัณฑ์ได้ตลอดเวลา และประหยัดเวลาในการเดินทาง มีความสะดวกรวดเร็วในการซื้อสินค้า ซึ่งเป็นปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ เจษฎาภรณ์ ศรีศรีเกิด (2555) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าผ่านโซเชียลมีเดีย พบว่า ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่ายที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าผ่านโซเชียลมีเดีย คือ มีช่องทางการเลือกซื้อสินค้าที่หลากหลาย และความสะดวกในการเดินทางทั้งนี้ รัชณี ไพศาลวงศ์ดี และ อิทธิกร ขาเดช (2556) ทำการศึกษาในเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าเสื้อผ้าสตรีทางอินเทอร์เน็ตของประชากรในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ในด้านการให้ส่วนลด การโฆษณาประชาสัมพันธ์ให้สินค้าเป็นที่รู้จัก และการให้ของสมนาคุณของแถม ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าสตรีทางอินเทอร์เน็ต

อย่างไรก็ดี จากการเติบโตของมูลค่าตลาด E-Commerce ในธุรกิจค้าปลีก-ค้าส่งนั้น ส่วนหนึ่งมาจากการเติบโตของการค้าผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ เนื่องจากมีต้นทุนในการเริ่มธุรกิจที่ต่ำ ไม่มีค่าใช้จ่ายของการเช่าพื้นที่ร้านค้า ค่าใช้จ่ายของการจ้างพนักงานขาย จึงทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจสามารถเข้าสู่ธุรกิจร้านค้าออนไลน์ได้ง่าย ส่งผลให้มีจำนวนร้านค้าออนไลน์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งก็ทำให้ธุรกิจร้านค้าออนไลน์มีการแข่งขันที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน ดังนั้น ผู้ประกอบการร้านค้าออนไลน์จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนด้านกลยุทธ์การตลาด การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค เพื่อที่จะรักษาและขยายฐานลูกค้า และสร้างความสามารถในการแข่งขันกับธุรกิจร้านค้าออนไลน์ที่มีจำนวนมากในปัจจุบันได้

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมและการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบการร้านค้าออนไลน์ ได้นำผลที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาด พัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงาน เพื่อสามารถตอบสนองได้ตรงความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน สามารถดำเนินธุรกิจร้านค้าออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดขอบเขตในการศึกษาวิจัยเป็นสินค้าแฟชั่นประเภทเสื้อผ้า โดยอ้างอิงจากข้อมูลพฤติกรรมการซื้อสินค้าของผู้บริโภคในปี 2558 ของ สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน) ที่พบว่า หมวดสินค้าที่ได้รับความนิยมในการสั่งซื้อออนไลน์มากที่สุด ได้แก่ สินค้าแฟชั่น อาทิ เสื้อผ้า รองเท้า กระเป๋า เครื่องประดับ ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 42.6 จากจำนวนการซื้อสินค้าออนไลน์ในปี 2558

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม
2. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคลที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประสมทางการตลาด การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษารายการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคผ่านทางช่องทางออนไลน์ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่เป็นส่วนประสมทางการตลาด 7 ด้าน ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย ปัจจัยด้านบุคคล ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพและปัจจัยด้านกระบวนการ รวมถึงศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคในการตัดสินใจเลือกซื้อเสื้อผ้าจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาคือผู้บริโภคที่เคยมีประสบการณ์การซื้อและใช้เสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมในเขตกรุงเทพมหานคร เนื่องจากไม่สามารถหาจำนวนประชากรที่แน่นอนได้และอยู่บนสมมติฐานว่าประชากรมีขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ประมาณสัดส่วนประชากรของ Cochran ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ $p = 0.50$ ซึ่งเป็นสัดส่วนความแปรปรวนสูงสุด ($p \times q = 0.25$) เพื่อให้ได้ขนาดตัวอย่างมากที่สุด (Cochran, 1963, อ้างถึงในศรีเพ็ญทรัพย์มณชัย, มนวิภา ผดุงสิทธิ์, และนภดล ร่มโพธิ์, 2557) โดยมีรายดังนี้ $n = \frac{Z^2 pq}{e^2}$ ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 409 ตัวอย่าง

3. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม โดยมุ่งศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด 7 ด้านได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย ปัจจัยด้านบุคคล ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพและปัจจัยด้านกระบวนการ รวมถึงศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคในการตัดสินใจเลือกซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ผู้วิจัยได้นำแนวคิด และทฤษฎีต่างๆ ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมมากำหนดเป็นกรอบแนวคิดของงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย เรื่อง การทำนายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม ดังนี้



Figure 1 Conceptual framework of factors affecting decision making to purchase fashion apparel via Facebook and Instagram

4. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลพฤติกรรมกรรมการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่าน เฟซบุ๊กและอินสตาแกรม ซึ่งมีตัวแปรตาม (Y) คือ การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ส่วนตัวแปรอิสระประกอบด้วย ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด 7Ps) ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย ปัจจัยด้านบุคคล ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพและปัจจัยด้านกระบวนการ:ซึ่งสามารถแสดงค่าแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

1) ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (Product) คือ X1.1 มีความหลากหลายของเสื้อผ้า, X1.2 เสื้อผ้ามีความทันสมัย, X1.3 เสื้อผ้ามีเอกลักษณ์มีการออกแบบที่โดดเด่น, X1.4 เสื้อผ้ามีคุณภาพดี มีการตัดเย็บอย่างประณีต, X1.5 เสื้อผ้าตรงกับความต้องการ และ X1.6 แบรินด์มีชื่อเสียงและได้รับความนิยม

2) ปัจจัยด้านราคา (Price) คือ X2.1 ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ และ X2.2 ราคาสินค้าถูกกว่าแหล่งจำหน่ายอื่นทั่วไป

3) ปัจจัยด้านการจัดจำหน่าย (Place) คือ X3.1 สะดวกในการเข้าถึงร้านค้าได้ตลอดเวลา, X3.2 สามารถค้นหาข้อมูลสินค้าได้รวดเร็ว และ X3.3 เว็บไซต์ส่วนตัวของร้านค้าสามารถติดต่อได้สะดวก

4) ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) คือ X4.1 มีการส่งเสริมการขายที่น่าสนใจ เช่น การให้ส่วนลดเงินสด เมื่อซื้อตามกำหนดการให้ของสมาชิกพิเศษสำหรับสมาชิก, การบริการจัดส่งสินค้าฟรี เป็นต้น, X4.2 จัดกิจกรรมทางการตลาดอย่างสม่ำเสมอ เช่น การออกบูธตามงานต่างๆ และ X4.3 ใช้ดาราหรือบุคคลมีชื่อเสียง ในการโฆษณาสินค้าทางโซเชียลมีเดีย

5) ปัจจัยด้านบุคลากร (People) คือ X5.1 มีการให้ข้อมูลและให้คำแนะนำลูกค้าอย่างเหมาะสม, X5.2 มีการติดตามหลังการขายอย่างสม่ำเสมอ, X5.3 ผู้ขายมีความน่าเชื่อถือ และ X5.4 ผู้ขายมีมนุษยสัมพันธ์ และมีมารยาทดี

6) ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพ (Physical Evidence and Presentation) คือ X6.1 มีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของสินค้า และราคาอย่างครบถ้วน, X6.2 มีการแสดงตัวตนของผู้ขายที่ชัดเจนเช่น การที่ผู้ขายเป็นผู้ถ่ายแบบสินค้าด้วยตัวเอง, X6.3 มีการอัปเดตข้อมูลสินค้าให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ, X6.4 มีการใช้รูปสินค้าจริงในการนำเสนอทุกครั้ง และ X6.5 มีการแสดงราคาสินค้าต่อหน่วยอย่างชัดเจน

7) ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพ (Physical) คือ X7.1 สั่งซื้อสินค้าได้สะดวก, X7.2 ตอบคำถามรวดเร็ว, X7.3 ติดต่อกับผู้ขายสินค้าได้สะดวก, X7.4 ช่องทางการชำระเงินหลากหลาย เช่น ชำระผ่านการโอนเงิน ผ่านบัตรเครดิต และ X7.5 ช่องทางการชำระเงินปลอดภัย

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมผ่านทางช่องทางออนไลน์ โดยเป็นการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ จากการเก็บรวบรวมการตอบแบบสอบถามของผู้บริโภคที่เคยมีประสบการณ์การซื้อและการใช้เสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมผ่านทางช่องทางออนไลน์ โดยทำแบบสอบถามออนไลน์ ด้วยโปรแกรมแบบฟอร์มออนไลน์เป็นแบบสอบถามสำรวจความคิดเห็น (Google Forms) กระจายแบบสอบถามที่มีการขายสินค้าเสื้อผ้าจากร้านค้าในเครือข่ายทางสังคมออนไลน์ (Social Network) ต่างๆ เช่น เฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การประมวลผลแบบสอบถามโดยวิธีการทางสถิติจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง โดยจะทำการอธิบายและนำเสนอในรูปตารางแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมาน (Inferential Statistic)

6.2.1 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

เพื่อการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้เป็นปัจจัยตัวเดียวกัน โดยตัวแปรอาจมีความสัมพันธ์บวกหรือเชิงลบต่อกัน เพื่อให้สื่อความหมายตัวแปรได้อย่างครอบคลุมและลดจำนวนตัวแปร

6.2.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ได้แก่ ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดกับตัวแปรตามคือ การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของกลุ่มตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยทดสอบว่า ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดต่างๆ มีความสัมพันธ์หรืออิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมหรือไม่

ผลการวิจัย

1. ข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มตัวอย่างที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นผู้ที่เคยซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลและสามารถรวบรวมได้จำนวน 409 ตัวอย่าง โดยมีข้อมูลดังนี้

ข้อมูลส่วนบุคคลกลุ่มตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานครที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 87.8 เพศชาย ร้อยละ 12.2 มีอายุระหว่าง 22-30 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.6 และรองลงมาคืออายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 42.3 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการศึกษาปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 66.7 โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานเอกชน คิดเป็นร้อยละ 69.9 และมีรายได้ต่อเดือน 20,001-30,000 บาท มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.4 และมีสถานภาพโสดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 79.5

ข้อมูลพฤติกรรมการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยช่องทางในการซื้อ ความถี่ในการซื้อ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อครั้งในการซื้อ บุคคลที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม พบว่าผู้บริโภคซื้อเสื้อผ้าจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม ทางช่องทางเฟซบุ๊กมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52.81 รองลงมาเป็นอินสตาแกรม ร้อยละ 42.54 และมีความถี่ในการซื้อเสื้อผ้า 2-3

เดือนต่อครั้ง มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 29.1 รองลงมาคือ เดือนละครั้งและมากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 25.18 และ 24.69 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคซื้อเสื้อผ้าต่อครั้ง มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยไม่เกิน 1,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 54.5 และส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าด้วยตนเอง คิดเป็นร้อยละ 87.04

Table 1 Descriptive statistics of mean and standard deviation

Independent variable	Mean	S.D.
Product factor		
X1.1	4.19	0.716
X1.2	4.35	0.647
X1.3	4.12	0.783
X1.4	4.01	0.892
X1.5	4.37	0.733
X1.6	3.48	0.995
Price factor		
X2.1	4.29	0.742
X2.2	3.47	0.959
3 Place factor		
X3.1	4.59	0.502
X3.2	4.08	0.580
X3.3	3.14	0.962
4. Promotion factor		
X4.1	3.78	0.990
X4.2	3.20	1.127
X4.3	2.99	1.234
5. People factor		
X5.1	4.01	0.939
X5.2	3.42	1.043
X5.3	4.19	0.880
X5.4	4.20	0.966
6. Physical Evidence factor		
X6.1	4.33	0.771
X6.2	4.09	0.910
X6.3	4.35	0.691
X6.4	4.38	0.808
X6.5	4.36	0.847
7. Process factor		
X7.1	4.50	0.586
X7.2	4.21	0.801
X7.3	4.32	0.758
X7.4	4.28	0.719
X7.5	4.33	0.744
Deciding to buy fashion clothing on Facebook and Instagram	4.39	0.689

จาก Table 1 พบว่าตัวชี้วัดการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ ปัจจัยทางด้านผลิตภัณฑ์ พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า เสื้อผ้าตรงกับความต้องการ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.37 รองลงมาคือ เสื้อผ้ามีความทันสมัย โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.35 และน้อยที่สุดคือ แบรินด์มีชื่อเสียงและได้รับความนิยม โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.48 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ ปัจจัยทางด้านราคา พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า ราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.29 และราคาสินค้าถูกกว่าแหล่งจำหน่ายอื่นทั่วไปโดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.47 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ 3 คือ ปัจจัยทางด้านช่องทางในการจัดจำหน่าย พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า ความสะดวกในการเข้าถึงร้านค้าได้ตลอดเวลา โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.59 รองลงมาคือ สามารถค้นหาข้อมูลสินค้าได้รวดเร็ว โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.08 และน้อยที่สุดคือ เว็บไซต์ส่วนตัวของร้านค้าสามารถติดต่อได้สะดวก โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.14 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ 4 คือ ปัจจัยทางด้านการส่งเสริมการตลาด พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า มีการส่งเสริมการขายที่น่าสนใจเช่น การให้ส่วนลดเงินสด เมื่อซื้อตามกำหนดการให้ของสมนาคุณพิเศษสำหรับสมาชิก, การบริการจัดส่งสินค้าฟรี เป็นต้น โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.78 รองลงมาคือ การจัดกิจกรรมทางการตลาดอย่างสม่ำเสมอเช่น การออกบูธตามงานต่างๆ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.20 และน้อยที่สุดคือ ใช้ดารารหรือบุคคลมีชื่อเสียง ในการโฆษณาสินค้าทางโซเชียลมีเดียโดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 2.99 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ 5 คือ ปัจจัยด้านบุคคล พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า ผู้ขายมีมนุษยสัมพันธ์ และมีมารยาทดี โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.20 รองลงมาคือ ผู้ขายมีความน่าเชื่อถือ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.19 และน้อยที่สุดคือ มีการติดตามหลังการขายอย่างสม่ำเสมอ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.42 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ 6 คือ ปัจจัยด้านการนำเสนอลักษณะทางกายภาพ พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า มีการใช้รูปสินค้าจริงในการนำเสนอทุกครั้ง

โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.38 รองลงมาคือ มีการแสดงราคาสินค้าต่อหน่วยอย่างชัดเจน โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.36 และน้อยที่สุดคือ มีการแสดงตัวตนของผู้ขายที่ชัดเจน เช่น การที่ผู้ขายเป็นผู้ถ่ายแบบสินค้าด้วยตัวเอง โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.09 ตามลำดับ และปัจจัยที่ 7 คือ ปัจจัยด้านกระบวนการ พบว่าส่วนใหญ่มีความคิดเห็นมากที่สุดว่า สั่งซื้อสินค้าได้สะดวก โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.50 รองลงมาคือ ช่องทางการชำระเงินปลอดภัย โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.33 และน้อยที่สุดคือ ตอบคำถามรวดเร็ว โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.21 ตามลำดับ

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามซึ่งสามารถนำมาสรุปเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความคิดเห็นต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตัวแปรตาม พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่กำลังประเมินนี้มีความพอใจเห็นด้วยมากที่สุด ซึ่งน่าจะตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมเป็นที่น่าพอใจที่จะซื้ออย่างแน่นอนในครั้งต่อไป โดยมีค่าเฉลี่ยของการตัดสินใจซื้อเท่ากับ 4.39 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.689

2. การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อค้นหาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดทั้งหมด 7 ปัจจัย และทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ ทั้งสิ้น 28 ตัวแปรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ทำการสกัดปัจจัย (Extraction) แบบ Principal Component Analysis (PCA) และเพื่อให้น้ำหนักขององค์ประกอบในปัจจัยที่สกัดได้มีความชัดเจนมากขึ้น จึงใช้วิธีการหมุนแกนปัจจัยแบบ Varimax แล้วใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจจำนวนปัจจัยที่เหมาะสมจากการพิจารณาค่า Eigenvalue ที่มากกว่า 1 และค่า Factor Loading ของตัวแปรในปัจจัยต้องไม่น้อยกว่า 0.5 ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวต้องไม่มีค่า Factor Loading สูงใกล้เคียงกันในปัจจัย

Table 2 Factor Analysis and Total Variance Explained

	Initial	Eigenvalues	Extraction	Sum of Squared	Rotation	Sum of Squared
	Total	% of	Total	% of	Total	% of
	% of	Cumulative	% of	Cumulative	% of	Cumulative
	Variance	%	Variance	%	Variance	%
1	10.887	38.883	10.887	38.883	5.211	18.612
2	2.289	8.174	2.289	8.174	3.082	11.005
3	1.589	5.673	1.589	5.673	2.966	10.591
4	1.385	4.946	1.385	4.946	2.808	10.027

Table 2 Factor Analysis and Total Variance Explained (cont.)

	Initial Eigenvalues			Extraction			Sum of Squared Loading		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
5	1.280	4.571	62.248	1.280	4.571	62.248	2.486	8.878	59.114
6	1.045	3.732	65.980	1.045	3.732	65.980	1.923	6.866	65.980
7	0.885	3.161	69.141						
8	0.777	2.774	71.915						
9	0.758	2.706	74.621						
10	0.710	2.535	77.156						
11	0.637	2.274	79.430						
12	0.592	2.116	81.546						
13	0.563	2.011	83.558						
14	0.510	1.821	85.378						
15	0.484	1.730	87.109						
16	0.455	1.626	88.735						
17	0.411	1.467	90.201						
18	0.365	1.305	91.506						
19	0.345	1.232	92.738						
20	0.331	1.181	93.919						
21	0.311	1.109	95.028						
22	0.257	0.919	95.948						
23	0.230	0.822	96.770						
24	0.214	0.763	97.533						
25	0.195	0.695	98.228						
26	0.183	0.655	98.883						
27	0.166	0.593	99.477						
28	0.147	0.523	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis

จาก Table 2 แสดงค่า Eigenvalue ที่มีค่ามากกว่า 1 และค่า Factor Loading ของตัวแปรในปัจจัยจะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 พบว่าในการสกัดปัจจัยมีค่า Eigen value มากกว่า 1.00 ดังนั้นจึงสามารถจัดเป็นกลุ่มปัจจัยใหม่ได้ทั้งหมด 6 กลุ่มปัจจัย ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรอิสระเดิม

ทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 65.98 และเมื่อประกอบกับค่าน้ำหนักขององค์ประกอบหลังหมุนแกนของปัจจัยหมุนแกน สามารถจัดกลุ่มปัจจัยได้เป็น 6 กลุ่มปัจจัย ซึ่งจะได้กลุ่มปัจจัยใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัย ตาม Table 3

Table 3 Rotation Component Matrix

Factor	Component					
	1	2	3	4	5	6
X6.4	0.784					
X6.1	0.775					
X6.5	0.757					
X6.3	0.708		0.343			
X7.1	0.663	0.339				
X7.5	0.590	0.458				
X7.4	0.540					0.340
X7.2		0.812				
X7.3		0.740				0.308
X5.4	0.337	0.522	0.498			
X2.1	0.475	0.499		0.406		
X2.2	0.314	0.472		0.302	0.363	
X5.1	0.361	0.313	0.643			
X5.2		0.337	0.620		0.321	
X6.2	0.488		0.586			
X5.3	0.480	0.377	0.502			
X3.2				0.721		0.355
X3.1				0.651		
X3.3				0.558	0.508	
X1.4	0.324		0.467	0.556		
X1.5	0.490		0.309	0.508		
X4.3					0.822	
X4.2					0.676	
X1.6				0.349	0.568	
X4.1	0.330				0.544	
X1.2						0.793
X1.1						0.599
X1.3			0.459	0.398		0.517

Extraction Method: Principal Component Analysis

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

2.1 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 1 เรียกว่า ปัจจัยด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้าและความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 1 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 10.887 ประกอบด้วย มีการใช้รูปสินค้าจริงในการนำเสนอทุกครั้ง (X6.4), มีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับราย

ละเอียดของสินค้าและราคาอย่างครบถ้วน (X6.1), มีการแสดงราคาสินค้าต่อหน่วยอย่างชัดเจน (X6.5), มีการอัปเดตข้อมูลสินค้าให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ (X6.3), สั่งซื้อสินค้าได้สะดวก (X7.1), ช่องทางการชำระเงินปลอดภัย (X7.5) และช่องทางการชำระเงินหลากหลาย เช่น ชำระผ่านการโอนเงินผ่านบัตรเครดิต (X7.4)

2.2 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 2. เรียกว่า **ปัจจัยด้านการสื่อสารกับผู้ชายและความเหมาะสมของราคาสินค้า** โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 2 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนริแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 2.289 ประกอบด้วย ตอบคำถามรวดเร็ว (X7.2), ติดต่อกับผู้ชายสินค้าได้สะดวก (X7.3), ผู้ชายมีมนุษยสัมพันธ์ และมีมารยาทดี (X5.4), ราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพ (X2.1) และ ราคาสินค้าถูกกว่าแหล่งจำหน่ายอื่นทั่วไป (X2.2)

2.3 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 3. เรียกว่า **ปัจจัยด้านบุคคลและการเปิดเผยตัวตนของผู้ชาย** โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 3 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนริแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 1.589 ประกอบด้วย มีการให้ข้อมูลและให้คำแนะนำลูกค้าอย่างเหมาะสม (X5.1), มีการติดตามหลังการขายอย่างสม่ำเสมอ (X5.2), ผู้ชายมีความน่าเชื่อถือ (X5.3) และมีการแสดงตัวตนของผู้ชายที่ชัดเจนเช่น การที่ผู้ชายเป็นผู้ถ่ายแบบสินค้าด้วยตัวเอง (X6.2),

2.4 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 4. เรียกว่า **ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและคุณภาพสินค้า** โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 4 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนริแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 1.385 ประกอบด้วย เสื้อผ้ามีคุณภาพดี มีการตัดเย็บอย่างประณีต (X1.4), เสื้อผ้าตรงกับความต้องการ (X1.5), ความสะดวกในการเข้าถึงร้านค้าได้ตลอดเวลา (X3.1), สามารถค้นหาข้อมูลสินค้าได้รวดเร็ว (X3.2) และ เว็บไซต์ส่วนตัวของร้านค้าสามารถติดต่อได้สะดวก (X3.3)

2.5 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 5. เรียกว่า **ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาดและความมี**

ชื่อเสียงของแบรนด์ โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 5 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนริแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 1.280 ประกอบด้วย มีการส่งเสริมการขายที่น่าสนใจ เช่น การให้ส่วนลดเงินสด เมื่อซื้อตามกำหนดการให้ของสมนาคุณ พิเศษสำหรับสมาชิก, การบริการจัดส่งสินค้าฟรี เป็นต้น (X4.1), การจัดกิจกรรมทางการตลาดอย่างสม่ำเสมอเช่น การออกบูธตามงานต่างๆ (X4.2), ใช้ดาราหรือบุคคลที่มีชื่อเสียงในการโฆษณาสินค้าทางโซเชียลมีเดีย (X4.3) และแบรนด์มีชื่อเสียงและได้รับความนิยม (X1.6)

2.6 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ 6. เรียกว่า **ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์** โดยที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักในปัจจัยที่ 6 เมื่อมีการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนริแมกซ์ (Varimax Rotation) ที่มีค่า Eigenvalue คือ 1.045 ประกอบด้วย มีความหลากหลายของเสื้อผ้า (X1.1), เสื้อผ้ามีความทันสมัย (X1.2) และเสื้อผ้ามีเอกลักษณ์มีการออกแบบที่โดดเด่น (X1.3)

3. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม

ผู้วิจัยนำ Factor Score ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อสร้างสมการหาความสัมพันธ์ระหว่างการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมจำนวน 6 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยซึ่งผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ จะสามารถบอกได้ว่ามีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ แล้ว ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

Table 4 Linear regression analysis summary by Analysis of variance (ANOVA) ANOVA^a

Model	df	SS	MS	F	Sig.
Regression	6	45.998	7.666	20.816	0.000 [*]
Residual	399	146.947	0.368		
Total	405	192.946			

Dependent Variable: Deciding to buy fashion clothing on social network facebook and Instagram

Predictors: (Constant), product, distribution channels and product quality, promotion and brand reputation, people and revealing the identity of the seller, presentation, product ordering and payment convenience, communication with sellers and product price suitability

* p-value < 0.05

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นจาก Table 4 มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัย ไม่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม อย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : มีอย่างน้อย 1 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบตาม Table 5 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้น ปรากฏว่ามีอย่างน้อย 1 ปัจจัย ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม อย่างมีนัยสำคัญ

Table 5 Coefficients of Multiple regression analysis results Coefficients^a

Model	Factors	B	S.E	Beta	t-test	Sig.
	(Constant)	1.658	0.318		5.216	0.000*
	product factor	0.337	0.067	0.270	5.033	0.000*
	distribution channels and product quality factors	-0.039	0.081	-0.030	-0.489	0.625
1	promotion and brand reputation factors	0.091	0.043	-0.105	2.125	0.034*
	people and revealing the identity of the seller factors	-0.092	0.065	-0.104	-1.414	0.158
	presentation, product ordering and payment convenience factors	0.373	0.083	0.317	4.518	0.000*
	communication with sellers and product price suitability factors	0.038	0.075	0.037	0.510	0.611

a Dependent Variable: Deciding to buy fashion clothing on facebook and Instagram

* p-value < 0.05

จาก Table 5 พบว่ามีตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ 2) ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด และความมีชื่อเสียงของแบรนด์ และ 3) ปัจจัยด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้า ความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน

ซึ่งจะสามารถสร้างสมการตัวแบบถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้ดังนี้ การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม = 1.658 + 0.337 ด้านผลิตภัณฑ์ + 0.091 ด้านการส่งเสริมการตลาดและความมีชื่อเสียงของแบรนด์ + 0.373 ด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้า ความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน

สรุปผล

ข้อมูลลักษณะประชากรต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 87.8 เพศชาย ร้อยละ 12.2 ซึ่งมีอายุระหว่าง 22-30 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.8 และรองลงมาคืออายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 42.3 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการศึกษาปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 66.7 โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานเอกชน คิดเป็นร้อยละ 69.9 และมีรายได้ต่อเดือน 20,001-30,000 บาท

มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.4 และมีสถานภาพโสดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 79.5

ข้อมูลพฤติกรรมการซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมของผู้บริโภค ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยช่องทางในการซื้อ ความถี่ในการซื้อ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อครั้งในการซื้อ บุคคลที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรม พบว่าผู้บริโภคซื้อเสื้อผ้าจากร้านค้าในเครือข่ายเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมทางช่องทางเฟซบุ๊กมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52.81 รองลงมาเป็นอินสตาแกรม ร้อยละ 42.54 และมีความถี่ในการซื้อเสื้อผ้า 2-3 เดือนต่อครั้ง มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 29.1 รองลงมาคือ เดือนละครั้งและมากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 25.18 และ 24.69 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคซื้อเสื้อผ้าต่อครั้ง มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยไม่เกิน 1,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 54.52 และส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าด้วยตนเอง คิดเป็นร้อยละ 87.04

ข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟซบุ๊กและอินสตาแกรมมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ 2) ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด และความมีชื่อเสียงของแบรนด์ และ 3) ปัจจัยด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้า ความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน ซึ่งจะสามารถสร้างสมการตัวแบบถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

0.05 ได้ดังนี้ การตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าจากร้านค้าในเครือข่าย เฟชบุ๊กและอินสตาแกรม = $1.658 + 0.337$ ด้านผลิตภัณฑ์ + 0.091 ด้านการส่งเสริมการตลาด และความมีชื่อเสียงของแบรนด์ + 0.373 ด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้า ความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน

จากผลการวิจัยทำให้ทราบถึงการทำนายปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟชบุ๊กและอินสตาแกรม เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการนำข้อมูลผลการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางการตลาด เพื่อให้เกิดการแข่งขันในตลาดที่มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยขอสรุปข้อเสนอแนะต่อผู้ประกอบการตามปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟชบุ๊กและอินสตาแกรมดังนี้ ในส่วนของปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ในเรื่องการออกแบบ ความทันสมัย มีความหลากหลาย เพื่อให้ตอบสนองความต้องการได้ตรงความต้องการ ผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว ให้เหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบแฟชั่น ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยต้องมีการศึกษา ติดตามเทรนด์อยู่เสมอ ในส่วนของปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาดและความมีชื่อเสียงของแบรนด์ ผู้ประกอบการควรสร้างให้ผู้บริโภครู้จักผลิตภัณฑ์ รู้จักร้านค้าผ่านทางการประชาสัมพันธ์ ตอกย้ำอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงกิจกรรมส่งเสริมการตลาด ที่จะช่วยกระตุ้นและดึงดูดให้ผู้บริโภคสนใจในผลิตภัณฑ์ และในส่วนของปัจจัยด้านการนำเสนอข้อมูลสินค้าและความสะดวกในการสั่งซื้อและชำระเงิน เป็นปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญ เนื่องจากการนำเสนอข้อมูลต่างๆ ทั้งรูปสินค้า ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า ราคาขายที่ชัดเจน สร้างความสะดวกในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค รวมไปถึงการมีช่องทางทางการชำระที่หลากหลาย เพื่อให้ผู้บริโภคได้มีทางเลือกที่เหมาะสมและสะดวก ทำให้ตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเฟชบุ๊กและอินสตาแกรมได้ง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2551). *การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. ภาควิชาสถิติคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษฎาภรณ์ ศรีศรีเกิด. (2555). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าผ่านโซเชียลมีเดียของนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชมพูนุท เกียวกิ่งแก้ว และ วิโรจน์ เจษฎาลักษณ์. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างการให้ความสำคัญกับความเคลื่อนไหวแฟชั่นและความพึงพอใจในกลยุทธ์การตลาดเสื้อผ้าแฟชั่นของผู้บริโภค. *วารสารการจัดการ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 2(7), 90-105.
- ธัญญพัทธ์ เกตุประดิษฐ์ และ อิทธิกร ขาเดช. (2554). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าทางอินเทอร์เน็ตของผู้หญิงในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารการเงิน การลงทุน การตลาด และการบริหารธุรกิจ*, 1(2), 21-39.
- บุญญนุช บุญยะสุนานนท์. (2557). *ปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อเสื้อผ้าสตรีผ่านช่องทางออนไลน์ของผู้หญิงวัยทำงาน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พรนภัส โลกนิยม และคณะ. (2558). พฤติกรรมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าตราสินค้าที่ออกแบบโดยนักออกแบบชาวไทยของวัยรุ่นในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 8 (1), 39-62.
- พินิตานันท์ อังคสกุลเกียรติ. (2556). *ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการซื้อเสื้อผ้าของผู้หญิงจากร้านค้าในสังคมออนไลน์เฟชบุ๊ก*. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พรรณีสา นิมมานโสภณ. (2557). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าผู้หญิงจากร้านค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันอินสตาแกรม* มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พิรัชชัญญา คล่องกำไร และจุมพฏ บริราช (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเสื้อผ้าแฟชั่นของกลุ่มเจนเอเรชั่นวายในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 12(1).
- เยาวภา ปฐมศิริกุล และรัฐพล สันสน (2560). พฤติกรรม การซื้อและโอกาสการตัดสินใจซื้อสินค้ากลุ่มเสื้อผ้าและรองเท้าของลูกค้าผู้สูงอายุในประเทศไทย. *วารสารสมาคมนักวิจัย*, 22(1).
- รัชนิ ไผ่ศาลวงศ์ดี และ อิทธิกร ขาเดช. (2556). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าเสื้อผ้าสตรีทางอินเทอร์เน็ตของประชากรในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารการเงิน การลงทุน การตลาดและการบริหารธุรกิจ*, 3(1), 529-546.
- ลักษณะารีย์ ยิงเกรียงไกร. (2557). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจซื้อสินค้าแฟชั่นผ่านทางอินเทอร์เน็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์*, 4 (1), 1-12

- อารดา โรบินสัน และพีรภาวี ทวีสุข (2562). ปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้อกระเป๋าแบรนด์เนมมือสอง ผ่านช่องทางเฟซบุ๊ก. *วารสารการจัดการและการพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 6(2).
- Armstrong, G., & Kotler, P. (2003). *Marketing and introduction* (6th ed.). Pearson Education.
- Schmitt, B. (2009). The concept of brand experience. *Journal of Brand Management*, 16, 417-419.
- Biedenbach, G & Marell, A. (2010). The impact of customer experience on brand equity in a business-to-business services setting. *Journal of Brand Management*, 17, 446-458.
- Escalas, J.E. (2004). Narrative processing: Building consumer connections to brands. *Journal of Consumer Psychology*, 14, 168-180 .
- Irna, A. (2012). Understanding Relationship between Personality Types, Marketing-mix Factors, and Purchasing Decisions. *Social and Behavioral Sciences*, 65, 352- 357.
- Fetscherin, M and Usunier, J.C. (2012). Corporate branding: an interdisciplinary literature review. *European Journal of Marketing*, 46 (2012), 733-753.
- Warayanti, W. (2015). The Influence of Lifestyles and Consumers Attitudes on Product Purchasing Decision via Online Shopping in Indonesia. *European Journal of Business and Management*, 7(8), 74-80.

ผลของรูปทรงเครื่องมือเชื่อมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำของอลูมิเนียมผสม AA 5083

Effect of stir welding tool geometry on microstructure transformation and mechanical properties of submerged friction of AA 5083 aluminum alloy

วิทยา สิริคุณ^{1*}, ยงยุทธ ดุลยกุล², เดช เหมือนขาว³
Witthaya Sririkun^{1*}, Yongyuth Dunyakul², Dech Maunkhaw³

Received: 8 February 2021 ; Revised: 29 May 2021 ; Accepted: 9 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบเครื่องมือเชื่อม 3 แบบ ได้แก่ เครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอก เครื่องมือเชื่อมรูปทรงสามเหลี่ยมและเครื่องมือเชื่อมรูปทรงสี่เหลี่ยมจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำ เกรด AA 5083 ของอลูมิเนียมผสมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยมีตัวแปรในการวิจัยนี้ คือ ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 1400 และ 2000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 80 112 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอกที่ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 101.23 MPa ประสิทธิภาพรอยต่อ 37.08 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เครื่องมือเชื่อมรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด คือ 76.54 MPa บริเวณรอยกวนมีค่าความแข็งเฉลี่ย 44 HV_{0.1} จากเครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอก โครงสร้างจุลภาคที่ก่อตัวในรูปของสารประกอบ Mg₂Si และ Al₆(Mn, Fe) ถูกแรงทางกลและความร้อนกระทำส่งผลให้อนุภาคเล็กลงและเปลี่ยนรูปร่างเฟสเป็นสารประกอบ Al₃Fe และเฟส Al(Fe)Si นอกจากนี้พบการเกิดจุดบกพร่องบริเวณรอยเชื่อมของเครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอก เกิดรอยแตกขนาดเล็กด้านล่างรอยเชื่อมในทำนองเดียวกันเครื่องมือเชื่อมรูปทรงสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมเกิดรอยแตกด้านล่างรอยเชื่อม แต่มีขนาดที่โตขึ้น และเครื่องมือเชื่อมรูปทรงสามเหลี่ยมพบช่องว่างบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนด้าน retreating ในขณะที่เครื่องมือเชื่อมรูปทรงสี่เหลี่ยมพบแนวรอยลากกวนที่ไม่ยึดติดกันกลางรอยเชื่อม

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำ อลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 รูปทรงเครื่องมือเชื่อม โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล

Abstract

The objectives of this research were to study the effect of tool geometries ; a cylindrical tool pin, a triangular tool pin, and a square tool pin on mechanical properties and metallurgical structures of AA 5083 aluminum alloy using submerged friction stir welding. The parameters of this research were the rotation speed of 1000, 1400 and 2000 rpm and the welding speed of 80, 112 and 160 mm/min, respectively. The results showed that the cylindrical tool pin at the rotation speed of 2000 rpm and welding speed of 112 mm/min provided the highest tensile strength at 101.23 MPa, and joint efficiency at 37.08 percent. While the rotation speed of 1400 rpm and the welding speed of 160 mm/min from the square tool pin had the average minimum tensile strength at 76.54 MPa. At the stirring zone, the average hardness was 44 HV_{0.1} from the cylindrical tool pin. The microstructures, formed as Mg₂Si and Al₆(Mn, Fe) compounds, were subjected to mechanical and thermal forces, resulting in smaller particles and phase shaping to

¹ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

³ รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

¹ Lecture, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

² Assist. Prof., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

³ Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

* Corresponding author ; Witthaya.s@rmutsv.ac.th

Al₃Fe compounds and Al(Fe)Si phases. In addition, for welding area of a cylindrical tool pin, small cracks in the bottom of the weld were found. Likewise, in triangular and square tool pins, large cracks were found below the weld. It was also shown that gaps were in the triangular tool pin in the retreating heat-affected zone while non-stick lines were found in the square tool pin in the middle of the weld.

Keywords: Submerged friction stir welding, AA 5083 aluminum alloy, Tool geometry, Microstructure, Mechanical properties.

บทนำ

ช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นนวัตกรรมการเชื่อมใหม่ที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนถูกค้นพบที่สถาบันการเชื่อมประเทศอังกฤษ (The Welding Institute ; UK) ในปี ค.ศ.1991(Ma *et al.*, 2018) การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นวิธีการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) ที่มีกลไกการยึดติดของชิ้นงานด้วยการกวนให้เนื้อวัสดุเชื่อมประสานเข้าด้วยกันและสร้างความร้อนในขณะที่เชื่อมด้วยการเสียดทานระหว่างผิววัสดุเชื่อม กับผิวของปากเครื่องมือเชื่อม ความร้อนในขณะที่เชื่อมเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากส่งผลต่อการอ่อนตัวของเนื้อวัสดุ จนนำไปสู่การยึดติดกันของชิ้นงานหลังการเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ที่แตกต่างกัน (Luo *et al.*, 2016) โดยทั่วไปการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเกิดความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 0.5-0.8 เท่าของจุดหลอมเหลว (Kumar *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีความจำเป็นต้องมีการเชื่อมในสภาวะชิ้นงานกำลังอยู่ในสภาวะใช้งานหรือชิ้นงานเชื่อมอยู่ในสภาวะได้นำ ซึ่งเป็นความยากและถือได้ว่าเป็นความท้าทาย เนื่องจากกลไกการสร้างความร้อนทำได้ยาก เกิดการสูญเสียความร้อน จากการพาความร้อนของน้ำ นำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องบริเวณรอยเชื่อม ของชิ้นงานจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Podržaj & Klobcar *et al.*, 2015) ปัจจุบันจึงมีหลายงานวิจัยได้ศึกษาปัจจัยสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำ (Eyvazian *et al.*, 2020 ; Derazkola *et al.*, 2020) ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างจุลภาคอย่างต่อเนื่อง ซึ่งตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำจะนำไปสู่การลดข้อผิดพลาดหลังการเชื่อม ปัจจัยที่สำคัญในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำ เช่น ความเร็วหมุนเชื่อม (Rotation Speed) ความเร็วเดินเชื่อม (Travel Speed) ทิศทางการหมุนเชื่อม (Direction of Welding) แรงกด (Compressive Force) หรือระยะกดลึก (Depth of Plug) มุมเอียงเชื่อม (Tilt Angle) และน้ำ (Tan *et al.*, 2017) เพราะตัวแปรเหล่านี้ส่งผลต่อการเกิดความร้อนในขณะที่เชื่อม อย่างไรก็ตามรูปทรงเครื่องมือเชื่อมก็มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดความร้อน

(Zhang, H & Liu, H., 2013) โดยรูปทรงเครื่องมือเชื่อมที่เหมาะสมสามารถสร้างความสัมพันธ์ของความร้อนที่ดีระหว่างผิวงานเชื่อมกับผิวของเครื่องมือเชื่อมได้ นำไปสู่การยึดติดของชิ้นงานหลังการเชื่อมที่ดี ในทางตรงกันข้ามรูปทรงเครื่องมือเชื่อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำจะส่งผลให้เกิดการเสียหายของเครื่องมือเชื่อมด้วย ดังนั้นรูปทรงเครื่องมือเชื่อมจึงมีความน่าสนใจและถูกศึกษาวิจัยในงานวิจัยนี้ ปัจจุบันอลูมิเนียมผสมเกรด AA 5083 ถูกใช้งานในอุตสาหกรรมผลิตเรือ (Jebaraj *et al.*, 2020) เนื่องจากน้ำหนักเบา มีความสามารถทนการกัดกร่อนสูง (Ramesh & Kumar, 2020) ซึ่งประกอบกับอุตสาหกรรมผลิตเรือมักจะใช้วิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมประกอบชิ้นรูปชิ้นส่วนเรือหรือวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำสำหรับการเชื่อมซ่อมเรืออยู่แล้ว การเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำเป็นวิธีการเชื่อมที่ยาก เนื่องจากเกิดความร้อนแบบไม่สมดุล Chander and Kumar (2019) ได้อธิบายว่าเครื่องมือเชื่อมส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงและโครงสร้างจุลภาค ดังนั้นการศึกษารูปทรงเครื่องมือเชื่อมจึงมีความสำคัญ ในขณะที่ Tan *et al.* (2017b) อธิบายว่าสารละลายของแข็งที่อยู่ในเฟสยูเทคติกจะตะกอนได้ยาก เพราะอุณหภูมิของน้ำและการเกิดออกไซด์ที่ผิวของอะลูมิเนียมจะนำไปสู่ความซับซ้อนในการเชื่อม จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความน่าสนใจในการศึกษาวิจัยนี้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษารูปทรงเครื่องมือเชื่อมเชื่อมและตัวแปรอื่นๆ ของการเชื่อมอลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 ด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของสารละลายของแข็งเฟส Mg₂Si กับ Al₆(Mn, Fe) ซึ่งเฟส Mg₂Si กับ Al₆(Mn, Fe) เป็นเฟสยูเทคติกเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ปกติในสภาวะการเชื่อมได้นำ สารละลายของแข็งเฟส Mg₂Si และ Al₆(Mn, Fe) จะส่งผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำ ผลการทดลองที่ได้จะประเมินความสัมพันธ์ของสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคกับรูปทรงเครื่องมือเชื่อมที่แตกต่างกัน ด้วยการศึกษาวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง แรงดัดโค้ง ความแข็งแรงการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคและการกระจายตัวของสารละลายของแข็ง

ด้วยกล้องจุลทรรศน์ กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งผลการประเมินที่ได้จะนำเสนอต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษารูปร่างเครื่องมือกวนเชื่อม ความเร็วหมุนเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อมที่แตกต่างกันของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA 5083 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมและสมบัติทางกลหลังการเชื่อม

ระเบียบวิธีวิจัย

อลูมิเนียมผสม AA 5083

อลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 เป็นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ชิ้นงานถูกเตรียมให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 75x150x6 มิลลิเมตร ตามลำดับ (กว้างxยาวxสูง) โดยมีแมกนีเซียมเป็นธาตุผสมหลักและมีธาตุอื่นๆ เป็นธาตุผสมรอง ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก ซิลิกอน สังกะสีและโครเมียมตามลำดับ โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสยูเทคติก (β -Eutectic Phase) รวมตัวเป็นสารละลายของแข็ง Mg_2Si กับ Al (Mn, Fe) แทรกตัวระหว่างขอบเกรนของเฟสเนื้อพื้นแอลฟา (α) อลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 591-631 องศาเซลเซียส (Engler, O & Miller-Jupp, S., 2016) ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of AA 5083 aluminum alloy

Materials	Element (Wt %)			
	Mg	Si	Mn	Fe
AA 5083	4.15	0.13	0.73	0.31
	Cu	Al		
	0.025	Bal.		
Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)		Hardness (HV)	
270-350	12		70	

เหล็กเครื่องมือ H13

เหล็กเครื่องมือเกรด H13 ตามมาตรฐาน DIN ISO 4957 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ใช้สำหรับการผลิตเป็นเครื่องมือเชื่อม ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีของโครเมียม โมลิบดีนัมและวานาเดียม จึงทนต่อการ สึกหรือที่อุณหภูมิสูง นำไปสู่การใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานของเครื่องมือ

กวนเชื่อมที่มีการเชื่อมในขณะอุณหภูมิเชื่อมสูง นอกจากนั้นยังมีสมบัติด้านการต้านทานการกัดกร่อนที่ดี ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of H13 tool steel (Jungsub et al., 2019)

Materials	Element (Wt %)		
	C	Mn	Si
H13	0.51	0.42	1.26
	Cr	Mo	V
	5.50	1.52	1.00
Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRC)	
1200-1590	9	240	

วิธีการทดลอง

การเตรียมเครื่องมือกวนเชื่อม

เครื่องมือกวนเชื่อมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำถูกออกแบบให้หัวกวนมีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ รูปทรงกระบอก (Cylinder Pin) รูปทรงสามเหลี่ยม (Triangle Pin) และรูปทรงสี่เหลี่ยม (Square Pin) ตามลำดับ บ่าของเครื่องมือกวน (Shoulder) มีขนาด 20 มิลลิเมตร ความลึกของหัวกวน 4.8 มิลลิเมตร และความยาวเครื่องมือเชื่อมรวม 120 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีขนาดเท่ากันทุกเครื่องมือกวน อย่างไรก็ตาม ขนาดความโตของหัวกวนจะไม่แตกต่างกัน โดยหัวกวนแต่ละแบบมีขนาด 5 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัย Khan et al. (2015) ที่นำเสนอความสัมพันธ์ของการเกิดความร้อนที่เหมาะสม ประเมินจากอัตราส่วนความโตของบ่าต้องมากกว่าขนาดหัวกวนไม่น้อยกว่า 3 เท่า ดังแสดงใน Figure 1

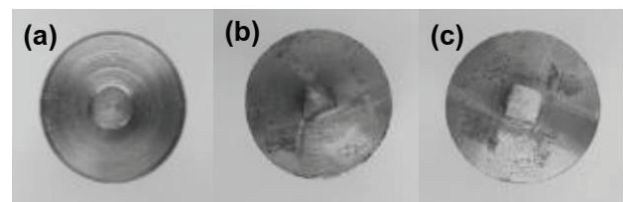


Figure 1 Characteristics of different welding tool pin.

(a) Cylinder, (b) Triangle and (c) Square

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้นำของอลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 จะออกแบบชุดจำลองชิ้นงานให้อยู่ได้นำ โดยผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด SUS 304 และผนังกั้นนำขึ้นรูปด้วยอะคริลิก ชุดจำลองชิ้นงานได้นำเป็นรูปทรง

ลูกบาศก์สี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 220 มิลลิเมตร ขนาดความยาว 350 มิลลิเมตร และขนาดความสูง 150 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 2

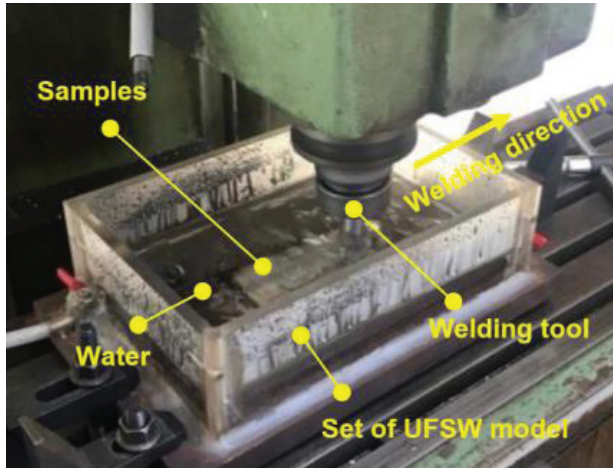


Figure 2 Submerged friction stir welding process

สำหรับขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำ เริ่มจากการจับยึดชิ้นงานเชื่อมให้แน่น แล้วเติมน้ำที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ลงไปในชุดจำลองชิ้นงานใต้น้ำ กำหนดปริมาณน้ำที่ 1000 มิลลิลิตร ชิ้นงานถูกจับยึดใต้ผิวหน้าที่ความลึก 25 มิลลิเมตร จากผิวหน้า จากนั้นควบคุมเครื่องมือกวนหมุนตามเข็มนาฬิกา แล้วออกแรงกดให้เครื่องมือกวนสอดลงไปใต้น้ำวัสดุในบริเวณจุดเริ่มต้นของการเชื่อม จนกระทั่งปลายของเครื่องมือกวนถูกสอดจมลงในเนื้อวัสดุ ที่ความลึก 0.8 มิลลิเมตร จากปากเครื่องมือเชื่อม กดแช่เป็นระยะเวลา 30 วินาที ในช่วงนี้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงานและปากของเครื่องมือจะทำให้วัสดุเกิดการอ่อน นำไปสู่การไหลวนของเนื้อวัสดุรอบๆ หัวกวน เมื่อระยะเวลากดแช่เป็นไปตามตัวแปรที่กำหนดแล้วควบคุมความเร็วเดินเชื่อมซึ่งในขณะที่เชื่อมจะตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำด้วยสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำ จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการเชื่อมก่อนดึงหัวกวนออกจากรอยเชื่อมจะกดแช่บริเวณจุดสุดท้ายของรอยเชื่อม เป็นระยะเวลา 30 วินาที เพื่อรักษาความร้อนบริเวณจุดสุดท้ายของรอยเชื่อม นำไปสู่ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมบริเวณจุดสุดท้ายของชิ้นงานเชื่อม จากนั้นดึงเครื่องมือกวนออกจากรอยเชื่อม สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำของอลูมิเนียมผสม เกรด AA 5083 โดยแต่ละการทดลองจะเชื่อมตามปัจจัยในการเชื่อมที่กำหนด ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาเบื้องต้น แล้วนำมากำหนดตัวแปรในการทดลองตัวแปรละ 3 ระดับ

Table 3 Parameters in Submerged Friction Stir Welding with AA 5083 aluminum alloy

Parameter	Level		
	1	2	3
Rotation Speed	1000	1400	2000
Welding Speed	80	112	160
Tool geometry	Cylinder	Triangle	Square

การทดสอบแรงดึง

ทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานผ่านการเชื่อม ได้เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8M (ASTM International, 2019b) ชิ้นงานถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Lloyd รุ่น EZ50 และทดสอบชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงใน Figure 3

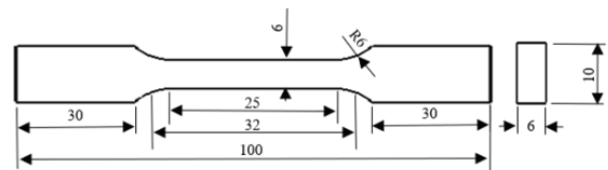


Figure 3 The specimen for tensile test following ASTM E8M standard ASTM (International. November, 2019b)

การทดสอบการดัดโค้ง

การทดสอบสมบัติการดัดโค้งจะทำการทดลองแบบดัดสามจุด (Three point bending test) ตามมาตรฐาน ASTM E290-14 (ASTM International, 2019a) ชิ้นงานดัดโค้งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 20x150x6 มิลลิเมตร จะดัดโค้งชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแต่ละรูปแบบของเครื่องมือกวน โดยมีการดัดโค้งขึ้นทดสอบด้านหน้ารอยเชื่อม (Face bending) และด้านหลังรอยเชื่อม (Root bending) ซึ่งจะทดสอบการดัดโค้งแบบรูปตัวยู (U-bending) ชิ้นงานหลังการทดสอบการดัดโค้งจะประเมินการแตกหักของรอยเชื่อมและวิเคราะห์ลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน การทดสอบแสดงใน Figure 4

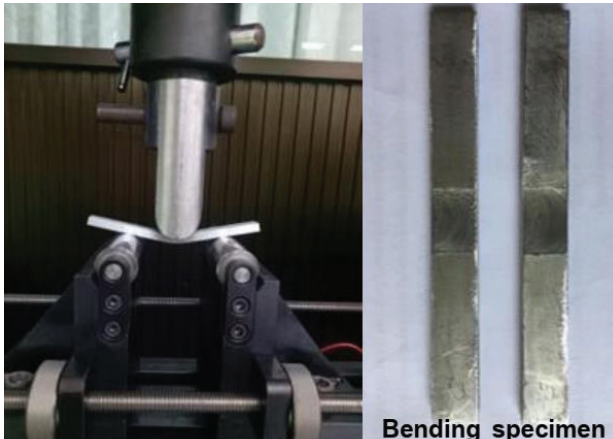


Figure 4 Three point bending test on specimen following ASTM E290-14 standard (ASTM International, November, 2019a)

การทดสอบความแข็ง

ชิ้นงานถูกนำมาทดสอบความแข็งด้วยวิธี วิคเกอร์ (Vickers Hardness: HV) เป็นวิธีการตรวจสอบความแข็งที่ห้วงกดทำจากวัสดุเพชร ออกแรงกดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม ระยะห่างระหว่างรอยกด 1.5 มิลลิเมตร แรงกดที่ใช้ 100 กรัมแรง เวลา 10 วินาที ดังแสดงใน Figure 5

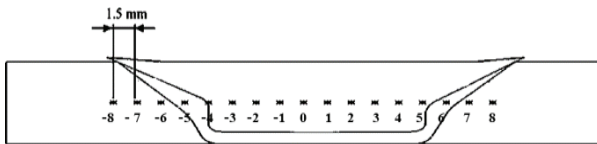


Figure 5 Vickers hardness test position profiles

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

ชิ้นงานบริเวณกลางรอยเชื่อมถูกเตรียมสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยาเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่ส่งผลมาจากปัจจัยในการเชื่อม การเตรียมชิ้นงานเริ่มจากการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายหยาบเบอร์ 220 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปขัดผิวละเอียดด้วยผงขัดอะลูมินา (Alumina Oxide) ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 5 1 และ 0.3 ไมโครเมตร ด้วยผ้าสักหลาด สุดท้ายนำชิ้นงานทดสอบกัด (Etching) ผิวหน้าด้วยน้ำยาแคลเลอร์ (Keller's reagent) เวลาในการกัดกรด 5 วินาที ชิ้นงานถูกนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์จุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscopy) และตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคและการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: FESEM)

ผลการวิจัย

ผลของเครื่องมือกวนต่อลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อม

ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมของเครื่องมือกวน แสดงใน Figure 6 ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเกิดคุณสมบัติของรอยเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่าเครื่องมือกวนรูปทรงกระบอก ผิวหน้ารอยเชื่อมเรียบ แต่สังเกตเห็นว่าเกิดครีบก้นจำนวนมาก (Flash) ซึ่งเกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นสูงในขณะเชื่อม (Zhao *et al.*, 2015)

ในกรณีที่เครื่องมือกวนรูปทรงสามเหลี่ยม ดังแสดงใน Figure 7 ผลการทดลองพบว่ารอยเชื่อมมีความขรุขระและเกิดครีบก้นที่น้อย ส่งผลมาจากความร้อนในขณะเชื่อมน้อย ซึ่งน้ำที่เป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนให้เกิดพฤติกรรมกรรมการสูญเสียความร้อน อาจนำไปสู่ความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อมและเกิดจุดบกพร่องหลังการเชื่อมได้ (Zhang *et al.*, 2011)

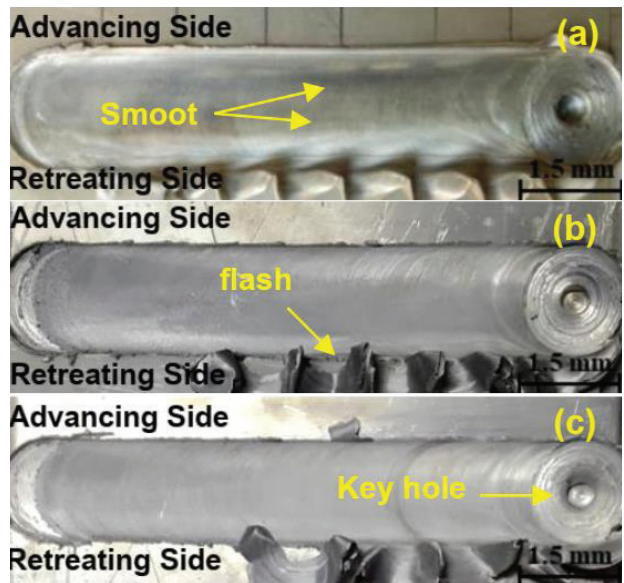


Figure 6 Characteristics of welding from top view surface using a cylindrical tool pin at rotation speed 2000 rpm and welding speed: (a) 80, (b) 112 and (c) 160 mm/min

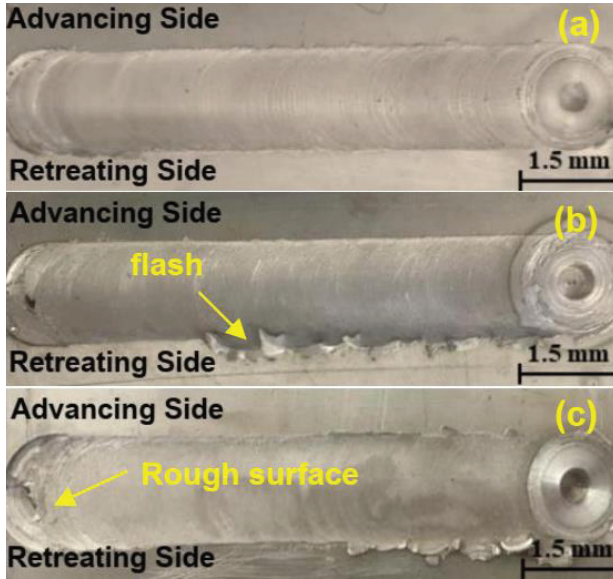


Figure 7 Characteristics of welding from top view surface using a triangular tool pin at rotation speed 2000 rpm and welding speed: (a) 80, (b) 112 and (c) 160 mm/min

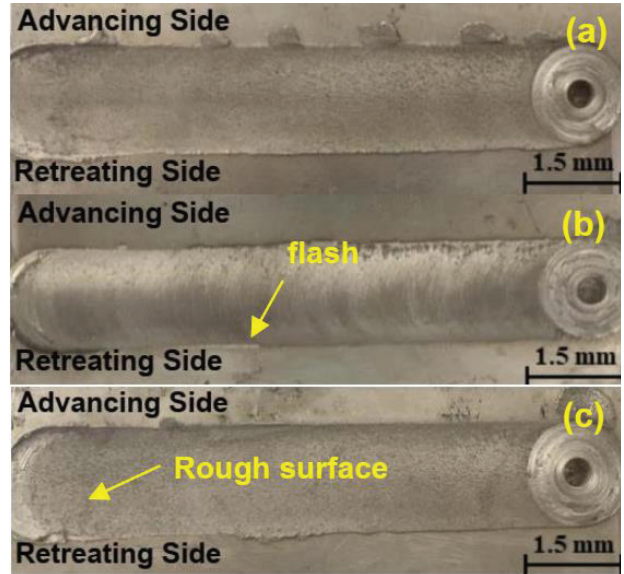


Figure 8 Characteristics of welding from top view surface using a square pin at rotation speed 2000 rpm and welding speed: (a) 80, (b) 112 and (c) 160 mm/min

ในการทำงานเดียวกันเครื่องมือกวนรูปทรงสามเหลี่ยม ดังแสดงใน Figure 8 พบว่าผิวรอยเชื่อมมีความราบเรียบที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือกวนรูปทรงสี่เหลี่ยม สังเกตได้ว่ารูปทรงเครื่องมือกวนสี่เหลี่ยมเกิดครีบจากความร้อนเช่นกัน ซึ่งคาดว่าได้จากพฤติกรรมของการเกิดความร้อนที่ดี แต่เครื่องมือกวนรูปสี่เหลี่ยมเกิดครีบน้อยและผิวรอยต่อขรุขระน้อยเช่นกัน เนื่องจากความร้อนในขณะที่เชื่อมน้อย อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียตทานแบบกวนได้น้ำสำหรับอลูมิเนียมความร้อนเข้าขณะเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอลูมิเนียมมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงและน้ำก็ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนในขณะที่เชื่อมได้มาก (Wahid *et al.*, 2018)

ความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม

ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงานหลังการเชื่อม ดังแสดงใน Table 4 ประสิทธิภาพรอยต่อสามารถ คำนวณได้จากสมการ (Meengam *et al.*, 2017)

$$\text{ประสิทธิภาพรอยต่อ} = \frac{\text{ความต้านทานแรงดึงชิ้นงานเชื่อม}}{\text{ความต้านทานแรงดึงเนื้อโลหะเดิม}} \times 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ผลการทดลองพบว่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยทุกการทดลองมีประสิทธิภาพรอยต่อน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาจากตัวแปรเครื่องมือเชื่อมแบบทรงกระบอก ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 101.23 MPa เมื่อคำนวณจากสมการประสิทธิภาพรอยต่อ แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพรอยต่อ 37.08 เปอร์เซ็นต์ ในทางตรงกันข้ามหัวกวนรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด 76.54 MPa เนื่องจากพฤติกรรมทางกลในการลากกวนเนื้อวัสดุของเครื่องมือกวนต่างกัน ซึ่งความเร็วรอบที่สูงและความเร็วเดินเชื่อมต่ำ ทำให้การลากกวนเนื้อโลหะเข้ากันได้ดี นำไปสู่ค่าความต้านทานแรงดึงที่ดีเช่นกัน

Table 4 Average tensile strength of specimen under various weld conditions

Tool geometry	Welding Speed (mm/min)	Rotation Speed (rpm)		
		1000	1400	2000
Cylinder	80	86.78	93.00	97.71
	112	83.07	93.71	101.23
	160	87.02	92.60	95.99
Triangle	80	80.27	88.33	92.69
	112	81.00	87.41	91.06
	160	84.51	92.35	91.28
Square	80	89.58	82.98	84.64
	112	81.61	83.60	79.87
	160	79.33	76.54	80.10

* **Note:** Base tensile strength of AA 5083 aluminum alloy is 273 MPa

อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงดึงหลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้น้ำที่แตกต่างกัน ส่งผลมาจากความเค้นตกค้างในชิ้นงานเชื่อมที่สูงกว่าการเชื่อมในสภาวะปกติ (Anand & Sridhar, 2020) และจุดบกพร่องที่เกิดหลังการเชื่อม โดยเฉพาะการเกิดจุดพบกพร่องแบบการไม่หลอมละลายลึก (Lack of Penetration) ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Meengam & Sillapasa, 2020)

การตัดโค้งรอยเชื่อม

ผลการทดสอบการตัดโค้งของรอยเชื่อมโดยเครื่องมือกวนรูปทรงทั้งสามแบบแสดงดัง Table 5 พบว่าชิ้นงานหลังการทดสอบการตัดโค้งด้านหน้าชิ้นงานในบางตัวแปรสามารถรับแรงตัดได้ ลักษณะผิวรอยตัดเกิดการโค้งงอ ไม่มีรอยแตก แต่ชิ้นงานที่ตัดโค้งด้านหลังพบว่าชิ้นงานจะเกิดรอยแตกหักในบริเวณรอยต่อและบริเวณอิทธิพลทางความร้อน เนื่องจากการเกิดจุดพบกพร่องบริเวณรอยเชื่อม เมื่อได้รับแรงตั้งฉากกับ

รอยเชื่อม จุดบกพร่องเหล่านั้นไม่สามารถรับแรงได้ จึงนำไปสู่การเสียหายของชิ้นงานเชื่อม ส่งผลให้เกิดการแตกหักและเสียรูปแบบถาวร (Babu *et al.*, 2019) จาก Table 5 จะเห็นว่าเครื่องมือกวนรูปทรงกระบอกสามารถรับแรงตัดได้ดีในทางตรงกันข้ามเครื่องมือกวนรูปทรงสี่เหลี่ยมมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานเกิดการเสียหายจากการแตกหักบริเวณรอยเชื่อม (Stir Zone: SZ) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับความต้านทานแรงดึง ในขณะที่เครื่องมือกวนรูปทรงสามเหลี่ยมพบว่ามีการแตกหลังการทดสอบการตัดโค้งชิ้นงานบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (Thermal Mechanical Affect Zone: TMAZ) เนื่องจากบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคหลังการเชื่อม จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกลเช่นกัน

Table 5 Bending results of submerged friction stir welded of AA 5083 aluminum alloy

Tool geometry	Welding Speed (mm/min)	Face bending	Root bending	Location of broken
Cylinder	80	Accept	Accept	No broken
	112	Accept	Accept	No broken
	160	Accept	Accept	No broken
Triangle	80	Accept	Reject	Crack in SZ, TMAZ
	112	Accept	Reject	Crack in SZ
	160	Accept	Reject	Crack in SZ
Square	80	Accept	Reject	Crack in SZ
	112	Reject	Reject	Crack in SZ
	160	Reject	Reject	Crack in SZ

ผลการทดสอบความแข็ง

ความแข็งชิ้นงานหลังการเชื่อมแสดงดัง Figure 9 แนวโน้มของค่าความแข็งใกล้เคียงกันทั้งสามเครื่องมือ กวน อย่างไรก็ตามบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนพบว่าค่าความแข็งมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนไปจากโครงสร้างเดิมของวัสดุ เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนด้าน retreating มีความแข็งมากกว่าบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนด้าน advancing เนื่องจากด้าน retreating มีความร้อนในขณะที่เชื่อมมากกว่าด้าน advancing (Maharia *et al.*, 2018) สังเกตได้จากลักษณะการเกิดครีปที่เกิดขึ้นอธิบายไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้การเกิดความเค้นตกค้างจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำ การเกิดพฤติกรรมทางความร้อน (Thermal behavior) และการแปลงเฟสส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความแข็งหลังการเชื่อม (Pedapati *et al.*, 2020)

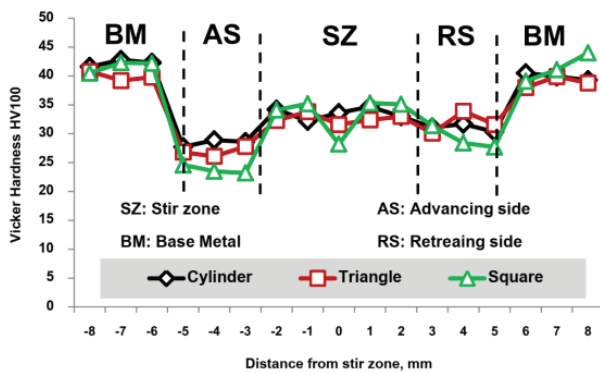


Figure 9 Hardness of welded specimen at different tool geometries of submerged friction stir welded joint of AA 5083 aluminum alloy

การวิเคราะห์ผลโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 50 เท่า ดังแสดงใน Figure 10 พบว่าเนื้อโลหะเดิมประกอบไปด้วยเฟสแอลฟาผสมกับเฟสยูเทคติก (Mg_2Si , $Al_6(Mn, Fe)$ -Eutectic) โดยเฟสยูเทคติกทั้งสองแบบคือ Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ (Attallah *et al.*, 2007) รวมตัวในรูปแบบสารประกอบ (Intermetallic phases) มีลักษณะเป็นเข็มปลายแหลมสลับกัน กระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพื้น

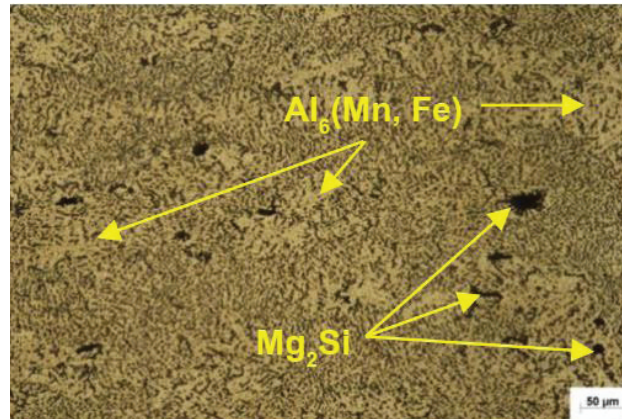


Figure 10 The base microstructure of AA 5083 aluminum Alloy

อย่างไรก็ตามตัวแปรในการเชื่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมหรือบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน พบว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยเครื่องมือทรงกระบอกความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที เนื้อโลหะถูกกวรวมตัวกันอย่างชัดเจน โดยจะมีการเรียงตัวสลับกันของเนื้อวัสดุและเนื้อวัสดุมีการไหลวน ทำให้เนื้อวัสดุมีเกรนที่เล็กและละเอียด โดยสารประกอบเฟส Mg_2Si และเฟส $Al_6(Mn, Fe)$ มีลักษณะของโครงสร้างละเอียดมาก กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณรอยกวนเชื่อม เพราะแรงทางกลจากการไหลวนรอบเครื่องมือกวนส่งผลให้เกิดการแตกหักของสารประกอบเฟส Mg_2Si และเฟส $Al_6(Mn, Fe)$ และเกิดการไหลวนตามทิศทางของการหมุน ทำให้บริเวณรอยเชื่อมประสานเข้ากันได้ดี อย่างไรก็ตาม สังเกตได้ว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมของเครื่องมือทรงกระบอกสามารถตรวจพบจุดบกพร่องขนาดเล็ก ซึ่งเป็นรอยแตกที่ส่งผลมาจากความร้อนเข้าไม่ถึงในบริเวณดังกล่าว ส่งผลให้เกิดรอยแตกเล็กๆ หลังการเชื่อมได้ (Das *et al.*, 2019) โดยเฉพาะในสถานะของการเชื่อมใต้น้ำที่ชนิดและปริมาณของน้ำในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อการเกิดขึ้นของความร้อนในขณะที่เชื่อม ดังแสดงใน Figure 11

รูปแบบของเครื่องมือกวนที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและการเกิดจุดบกพร่อง จากการทดลองพบว่าเครื่องมือทรงกระบอกสามเหลี่ยมที่ตัวแปรเดียวกัน คือ ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าบริเวณรอยกวนมีการรวมตัวกันของเนื้อวัสดุ โดยจะมีการเรียงตัวสลับกันของเนื้อวัสดุ เนื้อวัสดุมีการไหลวนไปตามทิศทางของการหมุนเชื่อมและไหลวนรอบเครื่องมือกวนเช่นกัน บริเวณรอยกวนจะมีโครงสร้างจุลภาคที่มีความละเอียดมีขนาดเฟสที่เล็กกว่าเนื้อโลหะเดิม

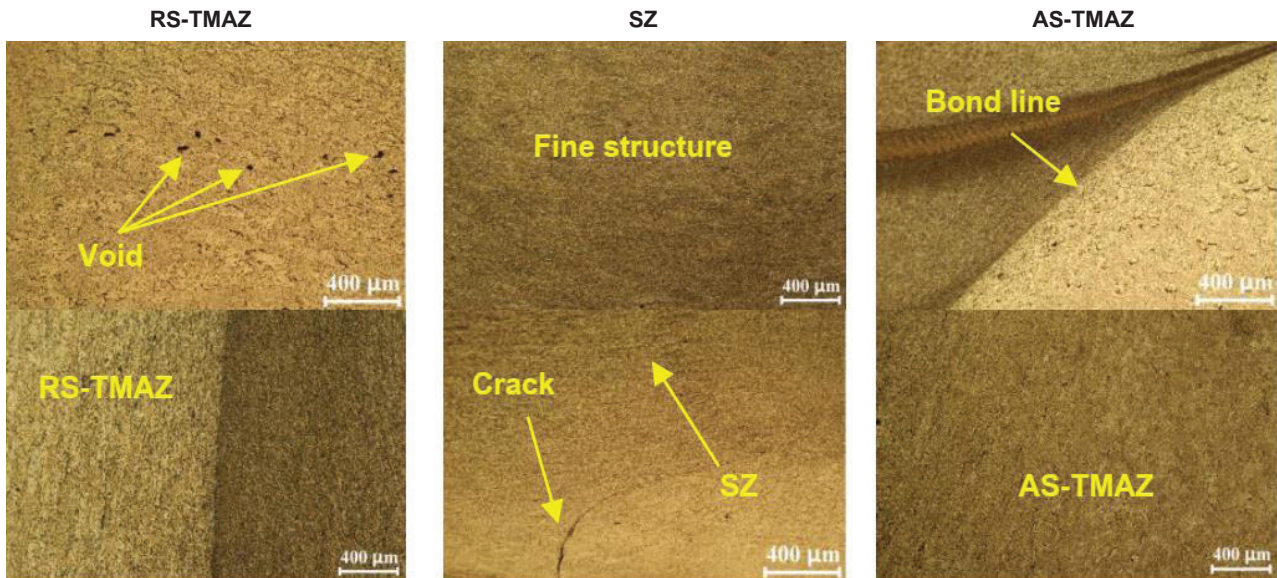


Figure 11 Microstructures of welding using the cylinder tool pin with the rotation speed at 2000 rpm and welding speed at 112 mm/min

อย่างไรก็ตามเครื่องมือทรงแทงสามเหลี่ยมส่งผลต่อการเกิดจุดบกพร่องหลังการเชื่อมที่มากกว่าเครื่องมือทรงแทงแบบรูปทรงกระบอก พบว่ามีลักษณะการเกิดจุดบกพร่องคล้ายๆ กับเครื่องมือทรงแทงกระบอก โดยแสดงรอยแตกบริเวณด้านล่างรอยต่อ และยังพบช่องว่างจากการลากกวน

เนื้อโลหะไม่สมบูรณ์ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนด้าน retreating ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ นำไปสู่สมบัติทางด้านแรงดึงที่ต่ำลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพพรอยต่อจากการคำนวณแสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่น้อยลงเช่นกัน ดังแสดงใน Figure 12

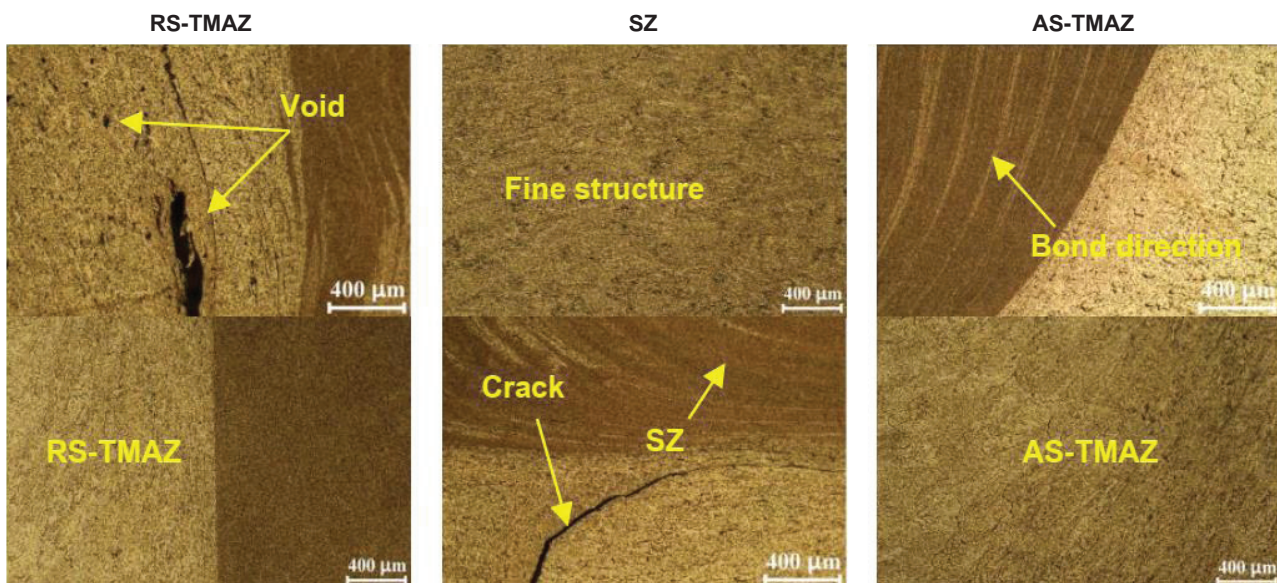


Figure 12 Microstructure welding using the triangle tool pin with the rotation speed at 2000 rpm and welding speed at 112 mm/min

ในทำนองเดียวกันจุดบกพร่องจากการเชื่อมเสียหายบนแบบกวนได้นำของเครื่องมือทรงแทงสี่เหลี่ยมที่ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที เกิดจากการไหลวนของเนื้อวัสดุที่ไม่สมบูรณ์ โดยพบรอยแตกบริเวณด้านล่างรอยต่อเช่นกัน แต่สังเกตได้ว่ารอยแตกมีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือทรงแทงทั้งสองแบบที่ได้ศึกษาวิจัย นอกจากนั้นยังพบ

แนวรอยลากกวนที่ไม่ยึดติดกัน (Kissing bond) ในบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนด้าน retreating ยังตรวจพบช่องว่างขนาดเล็ก จะเห็นได้ว่ารูปทรงของเครื่องมือทรงแทงที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของคุณภาพรอยเชื่อมและนำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องที่ต่างกันอย่างนัยสำคัญในการทดลอง

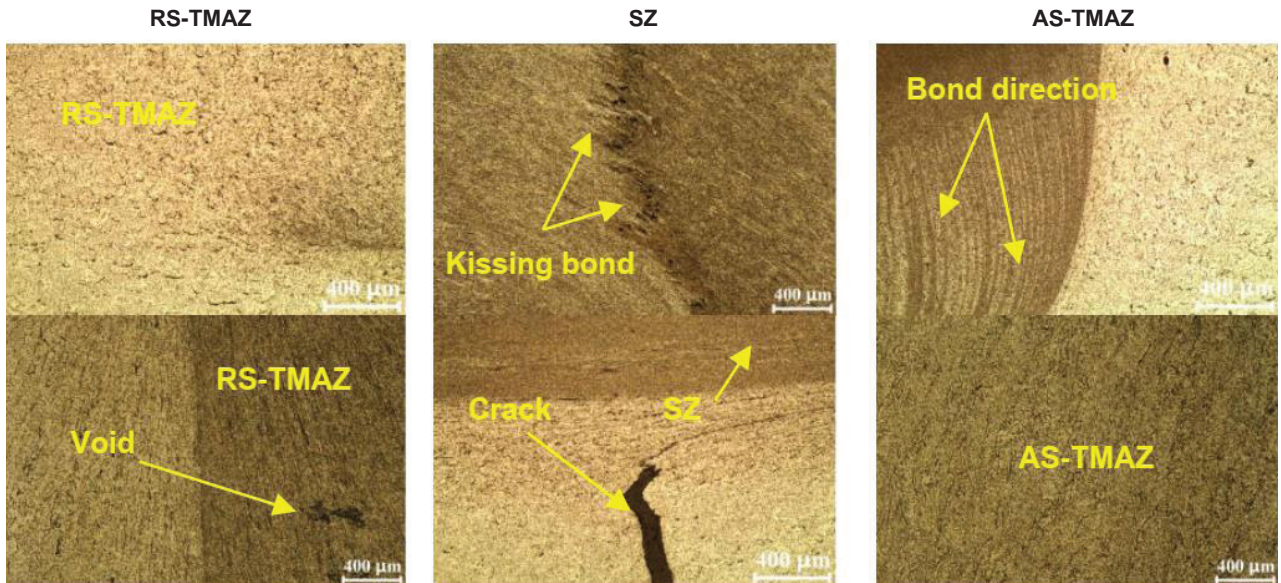


Figure 13 Microstructure welding using square tool pin with the rotation speed at 2000 rpm and welding speed at 112 mm/min

การกระจายตัวของเฟสยูเทคติก

การประเมินการกระจายตัวของเฟส Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ จากการตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงใน Figure 14 บริเวณรอยเชื่อมจะประเมินที่ตัวแปรความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการแตกหักหรือเปลี่ยนแปลงของขนาดเฟส Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ หลังการเชื่อม โดยพบว่าสารประกอบที่รวมตัวในรูปแบบของเฟส Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคจากขนาดเดิม โดยมีขนาดที่เล็กลง ดังแสดงใน Figure 14 (b) เนื่องจากแรงทางกลจากการหมุนกวระแทกกับเฟส Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ ส่งผลให้เฟสดังกล่าวเกิดการแตกหักและมีขนาดที่เล็กลง (Zhang & Liu, 2012) อย่างไรก็ตาม

อิทธิพลของความร้อนส่งผลให้เฟส $Al_6(Mn, Fe)$ เกิดการแตกแบบเปราะ โดยด้าน advancing มีความร้อนสะสมต่ำ พลังงานสะสมจึงกระตุ้นให้เฟส $Al_6(Mn, Fe)$ เกิดการขยายตัวและผลจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของเฟส $Al_6(Mn, Fe)$ จึงเกิดการแตกแบบเปราะ นอกจากนี้ความร้อนสะสมยังส่งผลให้เฟส Mg_2Si เกิดการตกตะกอนใหม่ในสภาวะของแข็ง (Dunyakul et al., 2021) (Precipitation) ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเล็กลงและกระจายตัวได้ดีขึ้นในบริเวณที่ได้รับผลทางความร้อนหลังจากเชื่อมเสียดทานแบบกวนไต้ น้ำ ดังแสดงใน Figure 14 (a) สำหรับด้าน retreating ซึ่งเป็นด้านที่มีความร้อนสะสมสูงขนาดอนุภาคก็เล็กลง ความร้อนจะทำให้เฟส Mg_2Si และ $Al_6(Mn, Fe)$ อ่อนตัวและแตกหักได้ง่ายเมื่อเกิดการกระแทกจากแรงทางกล ดังแสดงใน Figure 14 (c)

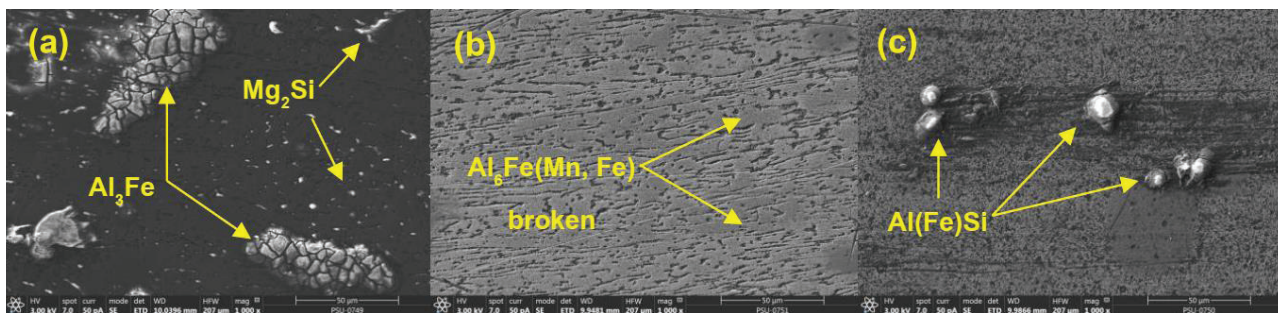


Figure 14 The intermetallic phases by scanning electron microscope on the surface of AA 5083 aluminum alloy with submerged friction stir welding

Figure 15 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบริเวณรอยเชื่อมด้วยวิธีการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณและการทำแบบจำลองการกระจายตัวของธาตุ (Mapping) พบว่าอลูมิเนียมซึ่งเป็นธาตุหลัก มีปริมาณธาตุถึง 69.2 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของเหล็กและซิลิกอน 0.28 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 15 (h) ซึ่งจะรวมตัวกันในรูปแบบสารประกอบแบบเฟส Al₃Fe และเฟส Al(Fe)Si (Lingaraju & Salavaravu, 2016) โดยการรวมตัวของสารประกอบนี้จะมี ความแข็งแรงสูง เนื่องจากมีส่วนประกอบของธาตุเหล็ก

(Figure 15 (f)) แต่จะมีความเปราะที่ง่าย (Heidarzadeh, 2016) อย่างไรก็ตามสังเกตได้ว่าตรวจพบออกซิเจน (O) (Figure 15 (d)) เนื่องจากน้ำมีส่วนประกอบของออกซิเจนในรูปแบบของสารประกอบ H₂O ดังนั้นออกซิเจนในน้ำจึงแทรกตัวเข้าไปในรอยเชื่อม ในทำนองเดียวกันก็มีการตรวจพบคาร์บอนที่เป็นส่วนผสมของเหล็ก เกรด H 13 ที่ถูกผลิตเป็นเครื่องมือกลาน ส่งผลให้คาร์บอนแพร่ลงไปนรอยเชื่อม ดังแสดงใน Figure 15 (e)

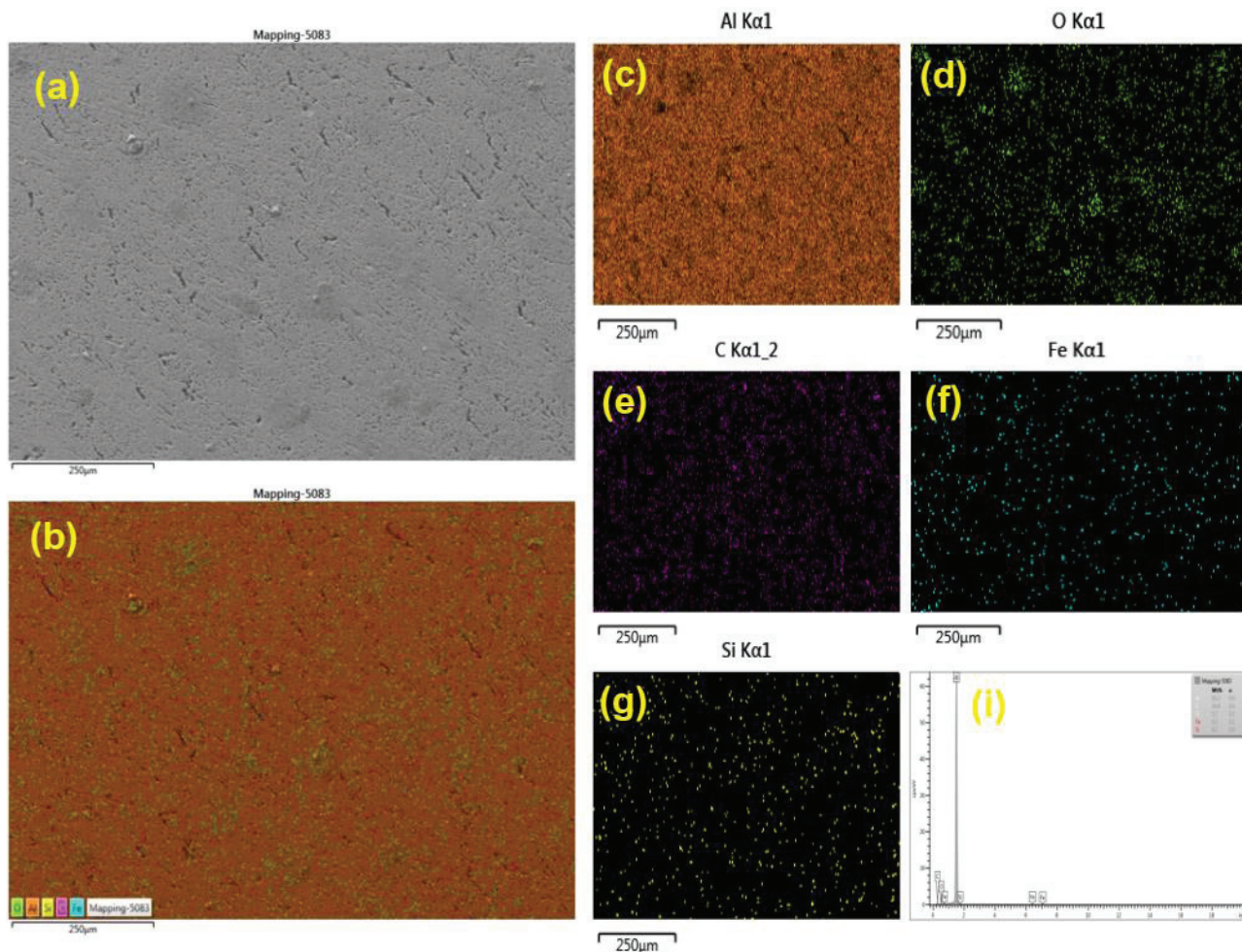


Figure 15 The energy-dispersive x-ray spectroscopy analysis of AA 5083 aluminum alloy with submerged friction stir welding

สรุปผล

จากการศึกษาวิจัยรูปแบบเครื่องมือกลานที่แตกต่างกันของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนใต้น้ำอลูมิเนียมผสมเกรด AA 5083 ต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาสามารถสรุปได้ว่า

(1) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่าเครื่องมือกลานรูปทรงกระบอกที่ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ 101.23 MPa ประสิทธิภาพ

รอยต่อ 37.08 เปอร์เซ็นต์ ในทางตรงกันข้ามเครื่องมือกลานรูปทรงสี่เหลี่ยมความเร็วหมุนเชื่อม 1400 รอบต่อนาทีและความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด คือ 76.54 MPa ตามลำดับ

(2) ผลการทดสอบการตัดโค้งแบบตัดสามจุด พบว่าเครื่องมือกลานรูปทรงกระบอกสามารถรับแรงตัดและยอมรับได้ทั้งการตัดโค้งผิวด้านหน้าและตัดโค้งผิวด้านหลังรอยต่อของชิ้นงานเชื่อม โดยเกิดการโค้งงอที่ไม่แตกหัก

(3) ผลการทดสอบความแข็งพบว่าบริเวณรอยกาวมีค่าความแข็งเฉลี่ย คือ 44 HV_{0.1} จากเครื่องมือกาวทรงกระบอกที่ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 112 มิลลิเมตรต่อนาที

(4) ผลการตรวจสอบจุดบกพร่องบริเวณรอยเชื่อมพบว่าเครื่องมือกาวรูปทรงกระบอกมีรอยแตกขนาดเล็ก ในขณะที่เครื่องมือกาวรูปทรงสามเหลี่ยมและรูปทรงสี่เหลี่ยมรอยแตกมีจำนวนมากและขนาดที่โต

(5) ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่าสารประกอบเฟส Mg₂Si และ Al₆(Mn, Fe) เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเล็กลง เนื่องจากแรงทางกลที่กระทำและความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเชื่อม โดยมีการเปลี่ยนรูปร่างเฟสเป็นสารประกอบ Al₃Fe และเฟส Al(Fe)Si ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือวิจัยจากสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา ทางคณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

บรรณานุกรม

- Anand. R & Sridhar. V.G. (2020). Studies on process parameters and tool geometry selecting aspects of friction stir welding. *Materials Today Processing*, 21(1),576-583.
- ASTM International. (2019a). *ASTM E290-14, Standard test methods for bend testing of material for ductility*. ASTM International.
- ASTM International. (2019b) *ASTM E8/E8M-09, Standard test methods for tension testing of metallic materials*. ASTM International.
- Attallah, M.M., Davis, C.L. & Strangwood, M. (2007) Microstructure-microhardness relationships in friction stir welded AA5251. *Journal of Materials Science*, 42(17), 7299-7306.
- Babu, K.T., Muthukumaran, S, & Kumar, C.H.B. (2019). A study on influence of underwater friction stir welding on microstructural, mechanical properties and formability in 5052-o aluminium alloys. *Materials Science Forum*, 969, 27-33.
- Chander, M.S. & Kumar, P.S. (2019). Influence of tool pin geometry on friction stir welded dissimilar aluminium alloys-(AA5083 & AA6061). *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(2), 581-588.

- Das, J., Banik, S.R., Reddy, S.R.S.K., Sankar, M.R. & Robi, P.S. (2019). Review on process parameters effect on fatigue crack growth rate in friction stir welding. *Materials Today Processing*,18(7), 3061-3070.
- Derazkola, H.A., Eyvazian, A. & Simchi, A. (2020). Submerged friction stir welding of dissimilar joints between an Al-Mg alloy and low carbon steel: Thermo-mechanical modeling, microstructural features, and mechanical properties. *Journal of Manufacturing Processes*, 50, 68–79.
- Dunyakul, Y., Meengam, C. & Maunkhaw, D. (2021). Investigation toiler weld blank of SSM 2024 aluminum alloys by friction stir welding joint. *Materials Science Forum*, 1020. 41-48.
- Engler, O & Miller-Jupp, S. (2016). Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083. *Journal of Alloys and Compounds*, 689, 998-1010.
- Eyvazian, A., Hamouda, A., Tarlochan, F., Derazkola, H.A., & Khodabakhshi, F.(2020). Simulation and experimental study of underwater dissimilar friction-stir welding between aluminium and steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3767-3781.
- Heidarzadeh, A. (2016). Effect of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of dissimilar Al 5083-H321 and 316L stainless steel alloy joints. *Journal of Alloys and Compounds*, 680, 595-603.
- Jebaraj, A.V., Aditya, K.V.V., Kumar, T.S., Ajaykumar, L. & Deepak, C.R. (2020). Mechanical and corrosion behaviour of aluminum alloy 5083 and its weldment for marine applications. *Materials Today Processing*, 22(4), 1470-1478.
- Jungsub, L., Jungho, C., Junhyeok, P., Ji-Hun Y., Sangshik K., Im D. J. & Hyokyung S. (2019). Microstructural effects on the tensile and fracture behavior of selective laser melted H13 tool steel under varying conditions. *Materials Characterization*, 155, 109817.
- Khan, N.Z., Khan, Z.A., Siddiquee, A.N. (2015). Effect of shoulder diameter to pin diameter (D/d) ratio on tensile strength of friction stir welded 6063 aluminum alloy. *Materials Today Processing*, 2, 1450-1457.

- Kumar L, Yazar K.U, Pramanik S. (2019). Effect of fusion and friction stir welding techniques on the microstructure, crystallographic texture and mechanical properties of mild steel. *Materials Science and Engineering: A*, 754, 400–410.
- Lingaraju, D. & Salavaravu, L. (2016). A Review on underwater friction stir welding Modified with normal friction stir welding setup. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 5(10), 1-9.
- Luo. C., Li. X., Song. D, Zhou N, Li. Y, Qi. W. (2016). Microstructure evolution and mechanical properties of friction stir welded dissimilar joints of Mg–Zn–Gd and Mg–Al–Zn alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 664(10), 103-113.
- Ma. Z.Y, Feng A.H, Chen D.L, Shen J. (2018). Recent advance in friction stir welding/processing in aluminum alloys: Microstructure evaluation and mechanical properties. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 43(4), 269-233.
- Maharia, A.K, Sahu, S & Ansari, M.Z. (2018). Temperature and thermal stress distribution in underwater friction stir welding of aluminium plates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 404,1-5.
- Meengam, C. & Sillapasa, K. (2020). Evaluation of optimization parameters of semi-solid metal 6063 aluminum alloy from friction stir welding process using factorial design analysis. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 4(123), 1-16.
- Meengam. C, Chainarong. S & Muangjunburee, P. (2017). Friction welding of semi-solid metal 7075 aluminum alloy. *Materials Today Processing*, 4, 1303–1311.
- Pedapati, S.R., Paramaguru, D., Awang, M., Mohebbi, H., & Korada, S.V. (2020). Effect of process parameters on mechanical properties of AA5052 joints using underwater friction stir welding. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(1), 6259-6271.
- Podržaj, P. & Klobcar, D. (2015). Welding defects at friction stir welding. *Metalurgija*, 54(2), 387-389.
- Ramesh, N.R. & Kumar, V.S.S. (2020). Experimental erosion-corrosion analysis of friction stir welding of AA 5083 and AA 6061 for sub-sea applications. *Applied Ocean Research*, 93, 102121.
- Tan, Y., Wang, X., Ma, M, Zhang, J., Liu, W., Fu, R, & Xiang, S. (2017). A study on microstructure and mechanical properties of AA 3003 aluminum alloy joints by underwater friction stir welding. *Materials Characterization*, 127, 41-52.
- Tan, Y.B., Wang, X.M., Ma, M., Zhang, J.X., Liu, J.X., Fu, R.D. & Xiang, S. (2017). A study on microstructure and mechanical properties of AA 3003 aluminum alloy joints by underwater friction stir welding. *Materials Characterization*, 127, 41–52.
- Wahid, M.A., Khan, Z.A. & Siddiquee, A.N. (2018). Review on underwater friction stir welding: A variant of friction stir welding with great potential of improving joint properties. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 28(2), 193-219.
- Zhang, H & Liu, H. (2013). Mathematical model and optimization for underwater friction stir welding of a heat-treatable aluminum alloy. *Materials & Design*, 45, 206-211.
- Zhang, H. & Liu, H. (2012). Characteristics and formation mechanisms of welding defects in underwater friction stir welded aluminum alloy. *Metallography Microstructure and Analysis*, 1(6), 269–281.
- Zhang, H.J., Liu, H.J. & Yu, L. (2011). Microstructure and mechanical properties as a function of rotation speed in underwater friction stir welded aluminum alloy joints. *Materials & Design*, 32, 4402-4407.
- Zhao, Y., Lu, Z., Yan, K., Linzhao, H. (2015). Microstructural characterizations and mechanical properties in underwater friction stir welding of aluminum and magnesium dissimilar alloys. *Materials & Design*, 65, 675-681.

สมการอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม

A simple equation for predicting the hot water temperature produced from a solar photovoltaic-thermal hybrid system

สรวิศ สอนสารี^{1*}, สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์²

Sorawit Sonsaree^{1*}, Somchai Jiajitsawat¹

Received: 5 February 2021 ; Revised: 2 April 2021 ; Accepted: 19 April 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการหาสมการอย่างง่ายของการผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้มาตรฐาน ASHRAE 93-77 ในการศึกษาได้ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multicrystalline ยี่ห้อ Trinasolar รุ่น TSM—345PE15H ที่ทำด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8" ที่มีความยาว 1,185 mm จำนวน 6 ท่อ ต่อร่วมกับท่อร่วมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7/8" ที่มีความยาว 799 mm จำนวน 3 ท่อ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) ของชุดระบายความร้อนที่ได้ถูกติดตั้งหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน ($F_R(\tau\alpha)_o$) อยู่ที่ร้อยละ 19.85 และพลังงานที่สูญเสีย ($X: F_R U_L$) เท่ากับ $5.24 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ หรือสามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม คือ $\eta = -5.24X + 19.85$

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, มาตรฐาน ASHRAE 93-77

Abstract

The purpose of this research was to find a simple equation for predicting the hot water temperature produced from solar photovoltaic-thermal hybrid system. A multicrystalline solar cell of Trinasolar model TSM—345PE15H was used in combination with a water cooling system installed under the solar panel. The cooling system consisted of 6 copper pipes, 3/8" diameter with a length of 1,185 mm. It is connected with 2 manifolds, 7/8" diameter with a length of 799 mm. It was found that, thermal efficiency (η) of the cooling system and the absorber coefficient ($F_R(\tau\alpha)_o$) was 19.85% and the heat loss coefficient ($X: F_R U_L$) was equal to $5.24 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$. The result can be written as a simple equation for predicting the hot water temperature produced from a solar photovoltaic-thermal system: $\eta = -5.24X + 19.85$

Keywords: Solar Photovoltaic-thermal Hybrid System, ASHRAE Standard 93-77.

^{1*} อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยวิจัยพลังงานสะอาด คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Lecturers, Major of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok Province, 65000

² Assistant Professor, Energy Research and Promotion Center, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok Province, 65000

* Corresponding author Tel.: 063-3344448, E-mail address: sorawitsonsaree@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์รายวันค่อนข้างสูงประมาณ 17.6 MJ/m²-day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในส่วนของรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงจะพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ชนิดรังสีตรงค่อนข้างต่ำ (Sonsaree *et al.*, 2018 ; Thawongamyingsakul and Kiatsiriroat, 2012) จึงทำให้การเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์มาอยู่ในรูปของความร้อนอุณหภูมิสูงเพื่อผลิตไฟฟ้าไม่ได้รับความสนใจ ดังนั้นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานจึงมักจะอยู่ในรูปของความร้อนอุณหภูมิต่ำถึงอุณหภูมิปานกลาง อาทิ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heating system) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar drying system) เป็นต้น (Sonsaree *et al.*, 2018) สำหรับการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์มาอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้านั้นประเทศไทยได้ให้ความสนใจไปที่เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ดังจะเห็นได้จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018) ที่ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงถึง 12,139 MW (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) ทั้งนี้ก็เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด และไม่มีค่าใช้จ่ายทางด้านต้นทุนพลังงาน (Mahmud *et al.*, 2018) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น บ้านพักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาล และอพาร์ทเมนท์ มักจะมีการใช้พลังงานทั้งในรูปแบบของพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า จึงทำให้การติดตั้งเทคโนโลยีอย่างใดอย่างหนึ่ง อาทิ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการในการลดการใช้พลังงานของอาคารได้ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการลดอุณหภูมิหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kaldellis *et al.*, 2014 ; Skoplaki & Palyvos, 2009) ยังจะสามารถนำเอาพลังงานความร้อนในรูปแบบของน้ำร้อนที่ได้จากการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ซึ่งปกติไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีประกอบไปด้วย Pang *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิความร้อนที่เกิดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ทำการเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจะช่วยให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่ม

สูงขึ้น ที่ซึ่งส่งผลต่อระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้น และช่วยให้ระยะเวลาคืนทุนของระบบมีแนวโน้มลดลง (Prakash, 1994) เมื่อใช้น้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าการใช้อากาศในการระบายความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่า Herrando *et al.*, (2019) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการระบายความร้อนด้วยน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การเพิ่มจำนวนท่อน้ำ Nizetić *et al.* (2016) นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิเหนือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิเหนือและใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ปริมาณรังสีอาทิตย์มีปริมาณที่สูง ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ที่ร้อยละ 16.3 ในกรณีสเปรย์น้ำเหนือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะอยู่ที่ร้อยละ 14.1 เมื่อสเปรย์น้ำเหนือและใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่ปริมาณรังสีอาทิตย์มีปริมาณสูง C. (Duck *et al.*, 2018) ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ และสภาพภูมิอากาศของสถานที่ติดตั้ง เช่น ศักยภาพรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อมและความเร็วลม Huide *et al.* (2017) ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Hybrid photovoltaic/thermal) เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาช่วยแก้ไขข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ติดตั้งได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน Kasaeian *et al.* (2017) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการติดตั้งชุดระบายความร้อนด้วยอากาศจากการพาแบบบังคับ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบจะมีค่าประมาณร้อยละ 15-31 เมื่อซีแผงระบายความร้อนมีความสูง 5 mm และอัตราการไหลของมวลอากาศอยู่ในช่วง 0.018-0.060 kg/s ในขณะที่ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประมาณร้อยละ 12.0-12.4 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย อนุรัตน์ เทวตา และ ยุธนา ศรีอุดม (2018) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนที่ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่

ติดตั้งท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนจะช่วยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงานจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดร้อยละ 11.8 โดยที่มีอุณหภูมิผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 49.2 °C

จากผลการศึกษางานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการลดหรือการระบายอุณหภูมิความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาข้างต้นยังไม่มีการศึกษาถึงการหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายหาอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่สามารถนำเอาไปใช้ในการทำนายพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้มาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collectors) ASHRAE 93-77

การทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASHRAE 93-77

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอามาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ASHRAE 93-77 (Jenkins & Hill, 1980) มาใช้ในการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากมาตรฐานดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collectors) ทั่วไปที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด หรือสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งคือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะถูกทดสอบภายใต้มาตรฐานดังกล่าวที่ซึ่งยึดถือเป็นมาตรฐานเดียวกันก่อนจัดทำหมาย สำหรับงานวิจัยนี้ชุดระบายความร้อน คือ ท่อทองแดงที่ภายในบรรจุน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ดำเนินการออกแบบนั้นในส่วนของชุดระบายความร้อนจะทำหน้าที่เสมือนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั่นเอง โดยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดระบายความร้อนที่ได้รับการออกแบบ และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาเรื่องของการแลกเปลี่ยนความร้อนและรวมถึงเรื่องของการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบได้

วิธีการทดสอบชุดระบายความร้อน

การทดสอบชุดระบายความร้อนซึ่งทำการทดสอบกลางแจ้งเพื่อหาประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้มาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 (Parthiban *et al.*, 2020) แสดงดัง Figure 1 โดยรังสีอาทิตย์จะตกกระทบบนระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอดเวลาการทดสอบและมีข้อกำหนดดังนี้

- (1) อัตราการไหลของของไหลมีค่าคงที่เท่ากับ 0.02 kg/s ต่อ 1 m² ของพื้นที่เก็บรังสีอาทิตย์ (สำหรับงานวิจัยนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่ 2 m² ดังนั้น อัตราการไหลของของไหลจึงเท่ากับ 0.04 kg/s)
- (2) ทดสอบที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 790 W/m²
- (3) อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าทดสอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
- (4) สำหรับงานวิจัยนี้ไม่คิดผลที่เกิดจากความเร็วลม เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบกลางแจ้ง

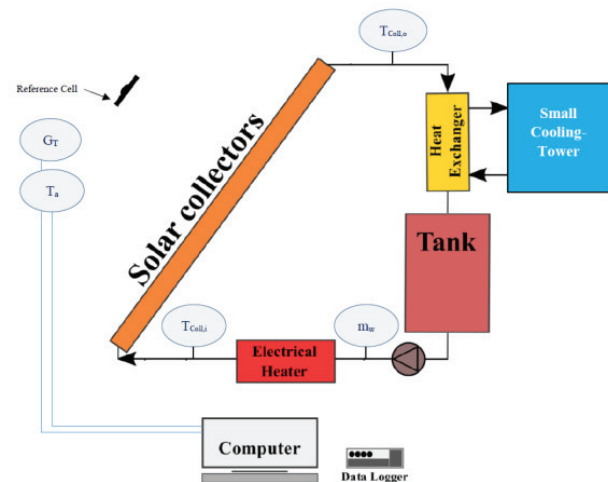


Figure 1 A simple diagram for experiment (Reference ASHRAE STANDARD)

โดยก่อนเริ่มดำเนินการทดสอบให้ทำความสะอาดระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนการทดสอบทุกครั้ง จากนั้นให้เริ่มดำเนินการทดสอบและบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิแวดล้อม (T_{Amb}) อุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,in}$) และอุณหภูมิน้ำออก ($T_{w,out}$) ของชุดระบายความร้อน ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (I_T) และอัตราการไหลของน้ำ (m_w) ทั้งนี้ในการเก็บข้อมูลจะเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. ซึ่งจะเป็นการทดสอบแบบระยะสั้นเพื่อนำผลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดระบายความร้อนต่อไป

ทฤษฎีสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (หรือชุดระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หรือในงานวิจัยนี้คือชุดระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับของไหลภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เมื่อกำหนดให้ F_R เป็นแฟคเตอร์ในการดึงความร้อนมาใช้งาน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [S - U_L (T_{w,in} - T_{Amb})] \tag{1}$$

เมื่อ S คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนด้วยแผ่นดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2) (สำหรับงานวิจัยนี้คือเซลล์แสงอาทิตย์) ซึ่งอาจเขียนได้เป็น $G_T(\tau\alpha)_e$ เมื่อ $(\tau\alpha)_e$ คือ Angular-dependent คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) $T_{w,in}$ คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$) ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนขณะใดขณะหนึ่ง จึงสามารถหาได้จากสมการที่ (2) ถึงสมการที่ (4)

$$\eta_{Coll} = \frac{\dot{Q}_u}{A_c I_T} \tag{2}$$

$$\eta_{Coll} = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_{w,in} - T_{Amb})}{I_T} \tag{3}$$

$$\eta_{Coll} = \frac{\dot{m}_w c_p (T_{w,out} - T_{w,in})}{A_c I_T} \tag{4}$$

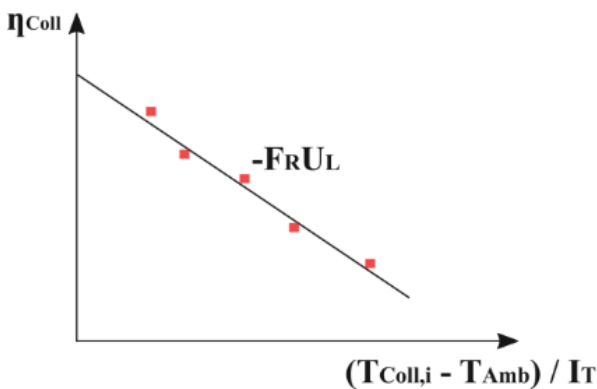


Figure 2 Graph of a relationship between η_{Coll} with $(T_{w,in} - T_{Amb})/I_T$

เมื่อ $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ว่าทำงานอย่างไร เมื่อ $F_R(\tau\alpha)_e$ เป็นตัวที่บ่งบอกถึงพลังงานที่ถูกดูดกลืน และ $F_R U_L$ เป็นเทอมที่บ่งบอกถึงพลังงานที่สูญเสีย ซึ่งการเขียนกราฟของ η_{Coll} กับ $(T_{w,in} - T_{Amb})/I_T$ จะเป็นเส้นตรงตัดแกน Y ที่ $F_R(\tau\alpha)_e$ และมีความชันเท่ากับ $-F_R U_L$ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multicrystalline ยี่ห้อ Trinasolar รุ่น TSM-345PE15H แสดงดัง Figure 3 (งานวิจัยนี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multicrystalline เป็นแผงเซลล์ที่หาง่ายตามท้องตลาด และเป็นที่ยอมรับนำมาใช้งาน) ได้ถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีรายละเอียดของคุณลักษณะดังนี้ Maximum power (P_{max}) $345 \pm 2.5\%$ Maximum power voltage (V_{mp}) $37.7V$ Maximum power current (I_{mp}) $9.15A$ Short circuit current (I_{sc}) $9.62A \pm 4\%$ และ Open circuit voltage (V_{oc}) $46.4V \pm 4\%$ โดยมีขนาด กว้าง×ยาว เท่ากับ $2,024 \times 959$ mm

ชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับในงานวิจัยนี้ชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อถูกนำไปติดตั้งร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำหน้าที่เสมือนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ซึ่งจะสามารถผลิตได้ทั้งพลังงานความร้อน (น้ำร้อน) และพลังงานไฟฟ้า โดยชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่รับและถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนใช้งาน ในการดำเนินงานวิจัยได้ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8" ยาว 1,815 mm จำนวน 6 ท่อ ต่อร่วมกับท่อร่วมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7/8" ยาว 799 mm จำนวน 2 ท่อ (ขนาดของท่อดังกล่าวจะเป็นขนาดเดียวกันกับท่อที่ถูกใช้ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ซึ่งมีจัดจำหน่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาด) แผงท่อทองแดงจะถูกวางยึดติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะวางอยู่กึ่งกลางของเซลล์แสงอาทิตย์ และจะถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดแผ่นยี่ห้อ AeroFlex ที่มีความหนา 3/8" และชั้นสุดท้ายจะถูกปิดด้วยแผ่นไม้อัดที่มีความหนา 6 mm ซึ่งลักษณะการวางตำแหน่งของชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดัง Figure 4 และ Figure 5

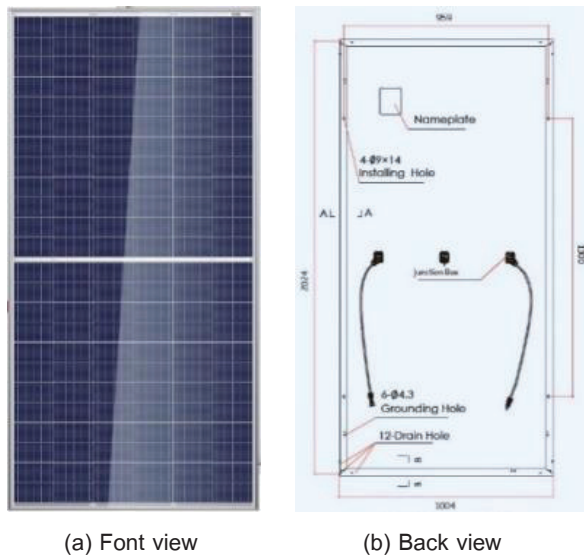


Figure 3 A multicrystalline solar cell of Trinasolar model TSM—345PE15H

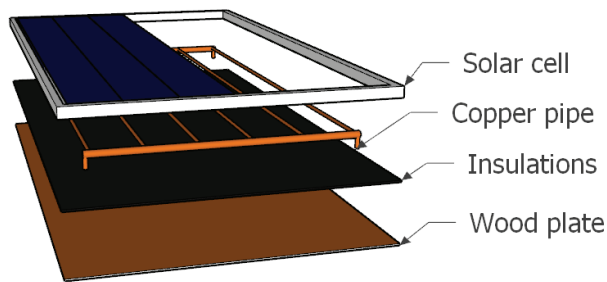


Figure 4 Heat sink under solar cell (Design)



Figure 5 Heat sink under solar cell (Fabricated)

การดำเนินการทดสอบ

ระบบทดสอบขนาดเล็กเพื่อใช้ในการหาสมการอย่างง่ายสำหรับใช้คำนวณหาพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ (1) ถังน้ำร้อนขนาด 50 L (2) ซีตเตอร์ขนาด 1,500 Watt สำหรับใช้เพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดก่อนป้อนให้กับชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (3) ปั้มน้ำยี่ห้อ MIZUMA Model: YDQ-60 0.37kW/0.5HP (4) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multicrystalline ยี่ห้อ Trinasolar รุ่น TSM-345PE15H ที่ได้ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตั้งหัวข้อ 3.2) (5) อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ยี่ห้อ SUOER รุ่น PWMST-W1230 30A 12V/24V (6) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ SUOER รุ่น SDB-1000A (7) แบตเตอรี่ ยี่ห้อ FB Battery รุ่น ProHero NS60L ต่ออนุกรมจำนวน 2 ลูก และ (8) หลอดไส้ขนาด 20 W จำนวน 8 หลอด ทำหน้าที่เป็นโหลดจำลองสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ทดสอบ เพื่อหาสมการอย่างง่ายสำหรับใช้คำนวณหาพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถทำได้

ในส่วนของการดำเนินการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนั้น อุปกรณ์สำคัญจะประกอบไปด้วย (1) เซลล์อ้างอิง (Reference cell) สำหรับตรวจวัดปริมาณรังสีอาทิตย์ (I_p) (2) สายเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ชนิด Type K สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อม (T_{Amb}) อุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,in}$) และอุณหภูมิน้ำออก ($T_{w,out}$) จากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8431-20 ทุกๆ 1 นาที โดยในขณะที่ทดสอบชุดทดสอบจะหันหน้าไปทางทิศใต้ และมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะวางมุมเอียงประมาณ 16° (องศา) (เมื่อเทียบกับแนวระดับ) ซึ่งเป็นมุมเดียวกับตำแหน่งละติจูดของจังหวัดพิษณุโลก (ละติจูด 16° 55' 0" N และลองจิจูด 100° 30' 0" E) โดยแผนภาพอย่างง่ายของระบบทดสอบ และตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ได้ดำเนินการติดตั้งแสดงดัง Figure 6 และ Figure 7 ตามลำดับ

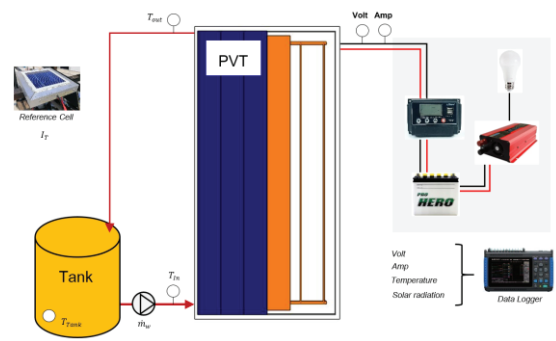


Figure 6 A simple diagram of the equipment under this research



Figure 7 Examples of installed tools

ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการทดสอบได้กำหนดให้ชุดระบายความร้อนที่ทำงานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เสมือนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ จึงสามารถนำเอาหลักการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 มาใช้ในการดำเนินการทดสอบได้ โดยผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังนี้

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีมีและไม่มี ชุดระบายความร้อน

การทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แบบ คือ (1) กรณีที่ไม่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อน (PV) ในวันที่ 25 มกราคม 2564 และ (2) ในกรณีที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อน (PVT) ในวันที่ 13 มกราคม 2564 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน 100 LPM (ลิตรต่อนาที) โดยผลการศึกษาเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดัง Table 1

Table 1 Solar cell efficiency (%) when with and without the water cooling system

	PV	PVT
Total solar radiation (kW)	645.63	633.77
Electricity (kWh)	10.64	11.37
Solar cell efficiency (%)	11.54	12.55

จาก Table 1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่มีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อน ในช่วงเวลา 9.00-15.00 น. พบว่า ในกรณีที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนประสิทธิภาพโดยรวมของแผงเซลล์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 12.55 ในขณะที่ในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 11.54 จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดระบายความร้อนดังกล่าวด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความร้อน และรวมถึงอุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดระบายความร้อน

โดยในการดำเนินการทดสอบได้กำหนดให้อุณหภูมิน้ำเข้ามีอุณหภูมิแตกต่างกัน 5 ช่วงอุณหภูมิ และแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม คือ 40.0, 45.0, 50.0, 55.0 และ 60.0 °C (ทั้งนี้ที่ 60.0 °C ชุดระบายความร้อนไม่สามารถเพิ่มคุณภาพความร้อนได้ จึงไม่มีผลการทดสอบในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว) ผลการทดสอบในช่วงวันที่ 16-22 มกราคม 2564 ที่อุณหภูมิน้ำเข้ามีสภาวะคงตัว (Steady state) และปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่ามากกว่า 790 W/m² แสดงดัง Table 2 และสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดสอบระหว่าง η_{coll} กับ $(T_{w,in} - T_{Amb})/T$ Figure 8 ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) ของชุดระบายความร้อนที่ได้ถูกติดตั้งหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน ($F_R(T\alpha)_0$) อยู่ที่ร้อยละ 19.85 และพลังงานที่สูญเสีย ($X: -F_R U_L$) เท่ากับ 5.24 W/m²-°C หรือสามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือ $\eta = -5.24X + 19.85$ ทั้งนี้ สมการดังกล่าวจะสามารถใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ดำเนินการออกแบบในงานวิจัยนี้เท่านั้น

ซึ่งผลการศึกษาที่ข้างต้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ถูกออกแบบมีค่าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 19.85 ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่ไม่ได้สูงมาก เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่หากเพียงการเพิ่มชุดระบายความร้อนเข้าไปที่หลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ได้พลังงานความร้อน (น้ำร้อน) มาใช้งานเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหาก

พิจารณาในแง่ของการนำเอาความร้อนเหลือทิ้ง (ความร้อนหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์) ที่โดยปกติไม่ได้ใช้ประโยชน์มาก่อนให้เกิดการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น การอุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ (Boiler) หรือใช้ผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับอาคารต่าง เช่น โรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น (IEA-ETSAP, 2015) ก็จะก่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

Table 2 Results of relationship between η_{Coll} with $(T_{w,in} - T_{Amb})/I_T$ when inlet hot water temperature constant at 40.0, 45.0, 50.0, and 55.0 °C

$T_{w,in}$	$T_{w,out}$	T_{Amb}	I_T	Q_u	η_{Coll}	$(T_{w,in} - T_{Amb})/I_T$
39.2	41.1	37.4	812.1	1.92	321.0	19.8
39.2	41.1	37.3	810.1	1.92	321.0	19.8
39.2	41.1	37.3	811.1	1.92	321.0	19.8
39.2	41.1	37.4	810.1	1.92	321.0	19.8
39.2	41.1	37.4	808.1	1.92	321.0	19.9
46.1	48.1	38.9	825.5	1.96	327.7	19.8
46.1	48.1	38.8	825.2	1.96	327.7	19.9
46.1	48.1	38.9	824.8	1.96	327.7	19.9
46.1	48.1	38.9	825.8	1.96	327.7	19.8
46.1	48.1	39.2	826.8	1.96	327.7	19.8
51.3	53.2	39.9	837.4	1.98	331.1	19.8
51.2	53.2	39.9	838.2	1.98	331.1	19.7
51.2	53.2	40.0	838.0	1.98	331.1	19.8
51.2	53.2	39.8	838.2	1.98	331.1	19.7
51.2	53.2	39.9	838.0	1.98	331.1	19.8
54.8	56.9	35.4	856.4	2.02	337.7	19.7
55.0	57.0	35.4	856.0	2.02	337.7	19.7
55.0	57.0	35.4	856.0	2.02	337.7	19.7
55.0	57.0	35.4	856.7	2.02	337.7	19.7
55.0	57.0	35.4	856.4	2.02	337.7	19.7

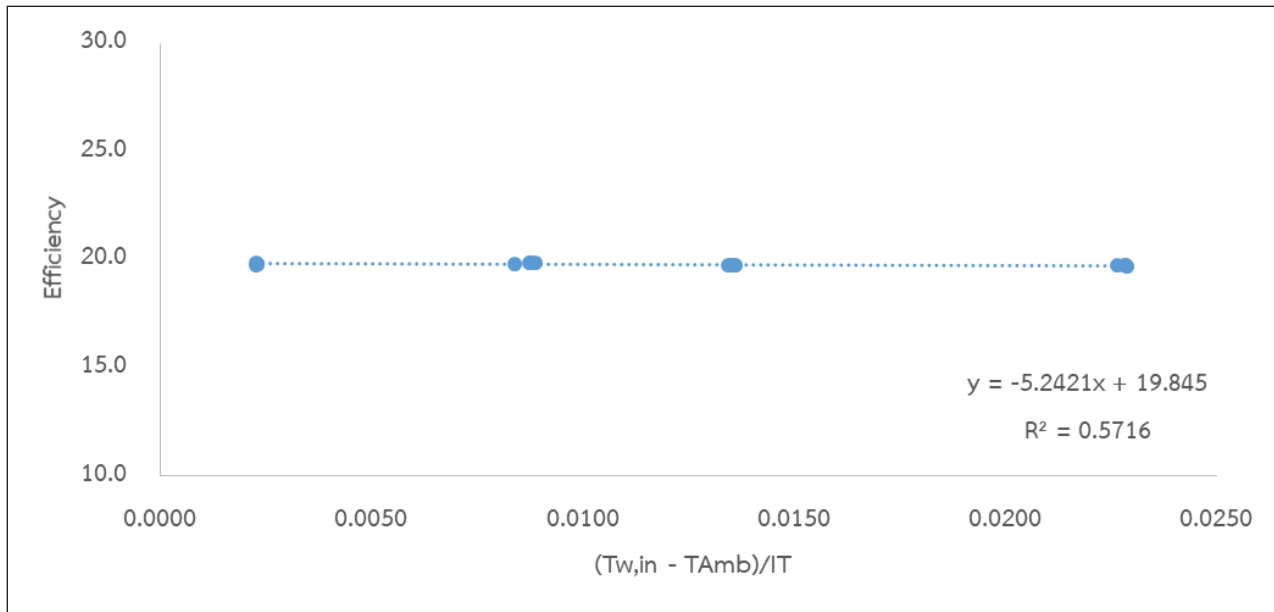


Figure 8 Results of relationship between η_{Coll} with $(T_{w,in} - T_{Amb})/IT$

Table 3 Average diary solar radiation (H, MJ/m²-day) and Maximum ($T_{Amb,max}$) and Minimum ($T_{Amb,min}$) ambient temperature (°C) (Sonsaree *et al.*, 2018)

Month	Day	H	$T_{Amb,min}$	$T_{Amb,max}$
Jan	17	17.82	18.50	35.70
Feb	47	20.38	20.40	40.50
Mar	75	21.74	22.80	42.10
Apr	105	22.68	24.20	39.80
May	135	20.41	24.30	35.70
Jun	162	18.18	23.70	32.20
Jul	198	17.53	23.40	31.90
Aug	228	16.78	23.10	31.50
Sep	258	16.96	22.60	31.60
Oct	288	16.67	20.90	30.70
Nov	318	17.06	18.50	30.40
Dec	344	17.32	17.10	31.30

ผลการจำลองอุณหภูมิน้ำและพลังงานความร้อนที่ได้จากการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สมการอย่างง่ายที่ได้กล่าวในหัวข้อข้างต้นได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนและพลังงานความร้อนที่ได้จากการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง ที่ได้ถูก

ติดตั้ง ณ จังหวัดพิษณุโลก (ละติจูด 16° 55' 0" N และลองจิจูด 100° 30' 0" E) ทั้งนี้ในแบบจำลองได้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำงานร่วมกับถังน้ำร้อน (ไม่คิดการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากถังน้ำร้อน) ขนาด 50 L และอัตราการไหลของน้ำ 0.04 kg/s โดยปริมาณรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ย (H) และอุณหภูมิแวดล้อม (°C) ที่เป็นตัวแทนของวันในแต่ละเดือน

ของจังหวัดพิษณุโลกแสดงดัง Table 3 ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการป้อนเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์ (แสดงดัง Figure 8) และอุณหภูมิแวดล้อม (แสดงดัง Figure 9) (Chaichana *et al.*, 2010 ; Duffie & Beckman, 1974 ; Sonsaree *et al.*, 2017) ในแต่ละช่วงเวลาระหว่างวัน

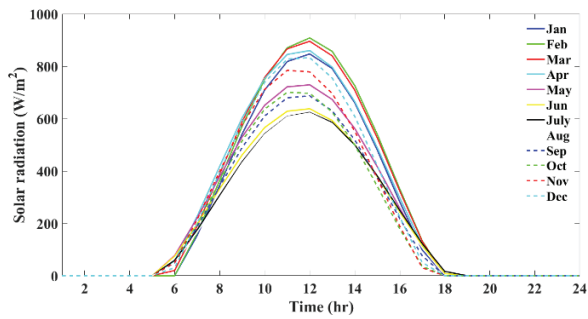


Figure 8 Total solar radiation (I_t) in Phitsanuloke province (Chaichana *et al.*, 2010)

โดยผลการศึกษาที่ได้จากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงดัง Table 4 และ Figure 10 ถึง Figure 12 พบว่า อุณหภูมิสะสมของน้ำระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาระหว่างวัน หรืออาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิสะสมของน้ำระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง โดยอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนสะสมเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณ 56.9 °C ในเดือนมีนาคม แสดงดัง Figure 10

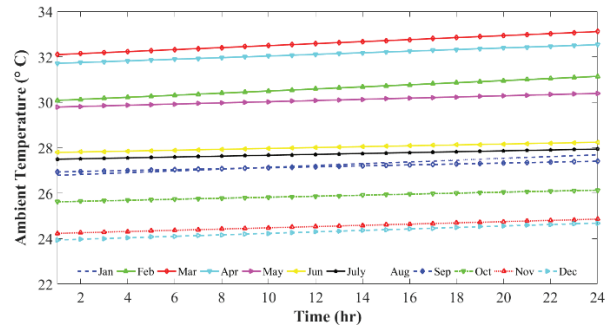


Figure 9 Ambient temperature (T_{Amb}) in Phitsanulok province

Table 4 Thermal energy useful (Q) from heat sink under solar cell

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Q (kW _{th})	32.86	32.40	35.66	33.30	28.48	23.36	23.30	23.01	25.14	26.38	29.20	32.48	245.56

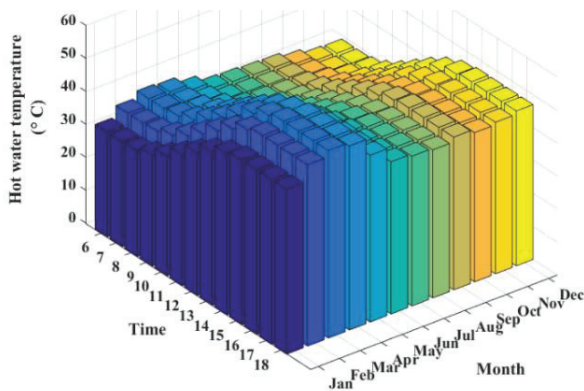


Figure 10 Hot water temperature (°C) in each month

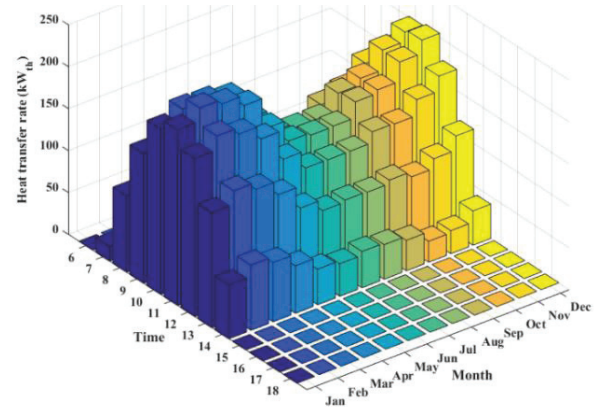


Figure 11 Average thermal energy useful (kW_{th}) in each month

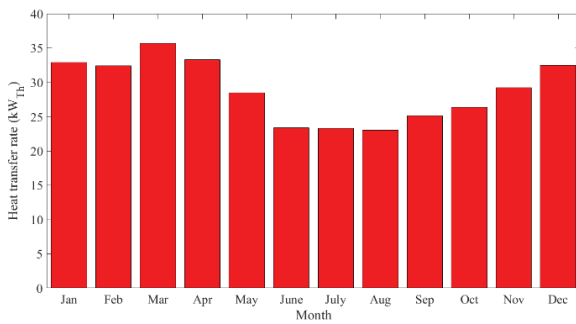


Figure 12 Total thermal energy useful (kW_{th}) in each month

Figure 11 แสดงพลังงานความร้อนรายวันเฉลี่ย (kW_{th}) ของแต่ละเดือน โดยปริมาณพลังงานความร้อนรายวันเฉลี่ยของแต่ละเดือนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและจะลดลงเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มลดลง โดยชุดระบายความร้อนจะสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้สูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 225.45 kW_{th} นอกจากนี้ หากนำเอาพลังงานความร้อนรายวันเฉลี่ยของแต่ละเดือนที่ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนรายวันเฉลี่ยที่คำนวณได้จากจำนวนวันในแต่ละเดือนจะสามารถคำนวณพลังงานความร้อนรวมในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีได้ โดยผลการศึกษาแสดงดัง Table 4 และ Figure 12 พบว่า ระบบจะสามารถผลิตพลังงานความร้อนรวมได้สูงสุด 36.66 kW_{th} ในเดือนมีนาคม และต่ำที่สุด 23.01 kW_{th} ในเดือนกันยายน หรือระบบจะสามารถผลิตพลังงานความร้อนเฉลี่ยได้เท่ากับ 28.80 kW_{th}/เดือน หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี เท่ากับ 345.56 kW_{th} ซึ่งพลังงานความร้อนที่เกิดจากการระบายความร้อนดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เรื่องของพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตเพิ่มได้นอกจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อีกด้วย

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาสมการอย่างง่ายเพื่อนำมาใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้มาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ASHRAE 93-77 โดยการศึกษาจะเป็นการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multicrystalline ยี่ห้อ Trinasolar รุ่น TSM—345PE15H ซึ่งชุดระบายความร้อนใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8" ที่มีความยาว 1,815 mm จำนวน 6 ท่อ ต่อร่วมกับท่อรวมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7/8" ที่มีความยาว 799 mm จำนวน 2 ท่อ ที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) ของชุดระบายความร้อนที่ได้ถูกติดตั้งหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน ($F_R(\tau\alpha)_0$)

อยู่ที่ร้อยละ 19.85 และพลังงานที่สูญเสีย ($X: F_{R,U_L}$) เท่ากับ 5.24 W/m²·°C หรือสามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือ $\eta = -5.24X + 19.85$

โดยสมการดังกล่าวจะสามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิน้ำร้อนที่แผงระบายความร้อนสามารถผลิตได้และรวมถึงเพื่อให้ทราบถึงพลังงานความร้อนที่เกิดจากการระบายความร้อนหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดยปกติไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในจากการประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีต่างๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.): งบประมาณปกติประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนในการวิจัย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนในการจัดซื้อเครื่องมือต่างๆ และขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และหน่วยวิจัยพลังงานสะอาด คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สำหรับสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560)*.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018)*.
- อนัฐรัตน์ เทวตา และ ยุธนา ศรีอุดม. (2018). การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, 12(2), 83-94.
- Chaichana,nC., Kiatsiriroat, T. & Nuntaphan, g. (2010). Comparison of conventional flat-plate solar collector and solar boosted heat pump using unglazed collector for hot water production in small slaughterhouse. *Heat Transfer Engineering*, 31(5), 419-429.
- Duck, B. C., Fell, C. J., Anderson, K. F., Sacchetta,eC.,uD., Yanping and Zhu,gY. (2018). Determining the value of cooling in photovoltaics for enhanced energy yield. *Solar energy*, 159, 337-345.

- Duffie, J.A. & Beckman, W. A. (1974). *Solar energy thermal processes*: University of Wisconsin-Madison, Solar Energy Laboratory
- Herrando, R., Alba, Z., & Markides, C. N. (2019). A comprehensive assessment of alternative absorber-exchanger designs for hybrid PVT-water collectors. *Applied Energy*, 235, 1583-1602.
- Huide, nX., Zhao, L. Ma, Tao, Zg, Qixing, Wu & Hongyuan, n. (2017). A comparative study on three types of solar utilization technologies for buildings: Photovoltaic, solar thermal and hybrid photovoltaic/thermal systems. *Energy conversion and management*, 140, 1-13.
- IEA-ETSAP. (2015). *Solar Heat for Industrial Processes Technology Brief*: International Energy Agency (IEA) and Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP).
- Jenkins, P. & Hill, J. E. (1980). *Testing flat-plate water heating solar collectors in accordance with the BSE and ASHRAE procedures*. Final Report National Bureau of Standards.
- Kaldellis, John K, Kapsali, Marina and Kavadias, Kosmas A. (2014). Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece. *Renewable energy*, 66, 612-624.
- Kasaeian, hA., Khanjari, Yasamin, Golzari, Soudabeh, Mahian, Omid and Somchai, W. (2017). Effects of forced convection on the performance of a photovoltaic thermal system: An experimental study. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 85, 13-21.
- Mahmud, M.A., Huda, Nazmul, Farjana, Shahjadi Hisan & Candace, L. (2018). Environmental impacts of solar-photovoltaic and solar-thermal systems with life-cycle assessment. *Energies*, 11(9), 2346.
- Nižetić, oS., Čoko, eD., Yadav, A. & Grubišić-Čabo, P. (2016). Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. *Energy conversion and management*, 108, 287-296.
- Parthiban, Anandhi, Reddy, K.S., Pesala, Bala & Mallick, T.K. (2020). Effects of operational and environmental parameters on the performance of a solar photovoltaic-thermal collector. *Energy conversion and management*, 205, 112428.
- Peng, nZ., Herfatmanesh, M. R & Liu, g. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy conversion and management*, 150, 949-955.
- Prakash, i. (1994). Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water. *Energy conversion and management*, 35(11), 967-972.
- Skoplaki, E. & John P. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar energy*, 83(5), 614-624.
- Sonsaree, St, Asaoka, iT., Jiajitsawat, iS., Aguirre, H. & Tanaka, i. (2017). VCHP-ORC power generation from low-grade industrial waste heat combined with solar water heating system: Power generation and CO₂ emission in industrial estate of Thailand. *Cogent Engineering*, 4(1), 1359397.
- Sonsaree, tS., Asaoka, iT., Jiajitsawat, iS., Aguirre, H. & Tanaka, i. (2018). A small-scale solar organic rankine cycle power plant in thailand: three types of non-concentrating solar collectors. *Solar energy*, 162, 541-560.
- Thawonngamyingsakul, C. & Kiatsiroat, T. (2012). Potential of a solar organic rankine cycle with evacuated-tube solar collectors as heat source for power generation in Thailand. *Energy Science and Technology*, 4(2), 25-35.

อิทธิพลของความเร็วลมต่อความมีเสถียรภาพของปั้นจั่นยกตู้สินค้าท่าเรือชายฝั่ง

The effect of wind speed on the stability of a ship-to-shore gantry crane

ชัยยันต์ ใจบุญมา^{1*}, ธนาพล สุขชนะ¹
Chaiyun Jaiboonma^{1*}, Thanaphol Sukchana¹

Received: 27 March 2021 ; Revised: 11 May 2021 ; Accepted: 24 May 2021

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมต่อความมีเสถียรภาพของปั้นจั่นยกตู้สินค้าท่าเรือชายฝั่ง (Ship-to-shore gantry crane) ขนาด 40 t (ตัน) โดยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method, FEM) ซึ่งโครงสร้างหลักปั้นจั่นทำด้วยเหล็กรูปพรรณรีดร้อนเกรด SM 490 ทำการวิเคราะห์ในสภาวะปั้นจั่นทำงานปกติและกรณีหยุดนิ่งชั่วขณะเมื่อมีลมปะทะในช่วง 16-35 m/s พิจารณาดำเนินการทำงานทั้งหมด 7 ตำแหน่ง โดยมีแรงกระทำคงที่ในแนวตั้งขนาด 811,287 N (811.28 kN) และสภาวะปั้นจั่นหยุดการทำงานมีลมปะทะ 48 m/s ผลการวิเคราะห์จากไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้ง 2 สภาวะพบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณชุดดึง Boom (Forestay) มีค่าเท่ากับ 239.05 MPa ซึ่งน้อยกว่าความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุ (Yield strength) และอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นยังคงมีความปลอดภัยจากการวิบัติเนื่องจากความเค้นเกินจุดคราก แรงปฏิกิริยาสูงสุดของขาปั้นจั่นเท่ากับ 2,918.90 kN เกิดขึ้นที่บริเวณขาซ้ายของปั้นจั่น และแรงปฏิกิริยาสภาวะหยุดการทำงานไม่ก่อให้เกิดการยกตัวของโครงสร้าง ระยะกระจัดสูงสุดเท่ากับ 157.02 mm เกิดขึ้นบริเวณปลาย Boom ซึ่งค่าสูงสุดดังกล่าวอยู่ในค่าที่ยอมอนุญาตและเงื่อนไขการออกแบบของปั้นจั่น นอกจากนี้ยังพบว่าแรงที่เกิดจากการปะทะของลมไม่ส่งผลต่อการเสถียรของโครงสร้างหลักปั้นจั่นและความแข็งแรงของชิ้นส่วนปั้นจั่น

คำสำคัญ: ปั้นจั่นยกตู้สินค้า, ความเค้น, ความเร็วลม, ไฟไนต์เอลิเมนต์, ความเร็วลม

Abstract

This research aimed to study the effect of wind speed on the stability of a ship-to-shore gantry crane of 40 t analyzed using the finite element method (FEM). The main structure of the crane was made of SM 490 grade hot rolled steel. Analyses considered the crane's in-service state, the case when the crane was momentary out-of-service with wind load range of 16-35 m/s total of 7 working positions. With a constant axial force of 811,287 N (811.28 kN) and the crane in out-of-service state with a wind load of 48 m/s the results of the finite element of both states showed that the maximum stress that occurred in the boom pull set (Forestay) was 239.05 MPa. This is less than the yield strength of the material and in the linear elastic range it is safe from failure due to over yield strength. The maximum reaction force of the crane leg was 2,918.90 kN occurring in the left leg of the crane. Reaction force in the out-of-service state did not cause structure lifting. The maximum displacement was 157.02 mm occurring at the boom end with the maximum value being within the allowable values and the design conditions of the crane.

Keywords: Ship-to-shore gantry crane, Stress, Displacement, Finite element, Wind speed

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ หันตรา เลขที่ 60 หมู่ 3 ตำบล หันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัด พระนครศรีอยุธยา 13000 โทรศัพท์ (035) 709 101 E-mail: Chaiyun_engineer@hotmail.co.th, E-mail: Chaiyun.J@rmutsb.ac.th

¹ Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and architecture Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Huntra 60 Moo 3 Asian Highway, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand, Tel. +66(0) 3570 9103

It was also found that the force caused by wind impact does not affect the imbalance of the main structure of the crane and the strength of parts of the crane.

บทนำ

ปั้นจั่นยกตู้สินค้าแบบล้อเลื่อนขนาดใหญ่ในท่าเรือชายฝั่ง (Ship-to-shore gantry crane) ทำงานในการเคลื่อนย้ายตู้สินค้า (Container) ภายใต้ภาระแรงแนวดิ่งในการยกและขนถ่ายตู้สินค้าจากบนเรือมายังชายฝั่งดัง Figure 1 ในการออกแบบโครงสร้างขนาดใหญ่เพื่อรับภาระแรงดิ่งต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญและให้เป็นไปตามหลักการออกแบบ (Verschoof, 2002) ดังการศึกษาของ Francesco (2006) ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของปั้นจั่นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element programs) เพื่อตรวจสอบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นให้อยู่ในช่วงความเค้นอนุญาต (Allowable stress) และเงื่อนไขของการออกแบบ รวมถึงวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างปั้นจั่นดัง Klinger (2014) และทำนองเดียวกัน Zhang *et al.* (2011). ได้ทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นของโครงสร้าง Tower crane ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และจาก Quang *et al.* (2018) ได้ศึกษาการ Sensitivity for ship-to-shore container เพื่อทำการออกแบบที่เหมาะสม และหลีกเลี่ยงความเสียหายแก่โครงสร้างเนื่องจากอันตรายจากภัยธรรมชาติเช่น พายุ หรือแผ่นดินไหว และได้สรุปไว้ว่าแรงปฏิกิริยาที่ขาโครงสร้างหลักของปั้นจั่นมีบทบาทสำคัญที่จะทำให้โครงสร้างหลักเกิดการยกตัวของโครงสร้าง จากนั้นการศึกษาของ Tang *et al.* (2019) ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างหลักและส่วนประกอบโครงสร้าง Ship-to-shore crane เพื่อให้ค่าความแข็งแรงอยู่ช่วงที่อนุญาต ต่อมา Jung และ Sihyun (2020) ได้ศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพชั่วโมงการทำงานของชิ้นส่วนของ Ship-to-shore crane เพื่อบำรุงรักษาองค์ประกอบหลักของโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์อิทธิพลของความเร็วลมต่อความมีเสถียรภาพของโครงสร้างหลักปั้นจั่นยกตู้สินค้าในท่าเรือชายฝั่ง (Ship-to-shore gantry Crane) ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method, FEM) Moaveni (1999) โดยการวิเคราะห์โครงสร้างปั้นจั่นเพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งวิกฤติของโครงสร้างปั้นจั่นที่รับภาระแรงสูงสุด ในสภาวะการทำงานปกติดัง Figure 1 (BD) และสภาวะหยุดการทำงานแบบยกเก็บ Boom ดัง Figure 1 (BU) โดยพิจารณาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณขาโครงสร้างหลักของปั้นจั่นที่ส่งผลทำให้เกิดการยกตัวพลิกคว่ำของปั้นจั่น ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นของปั้นจั่นให้อยู่ในช่วงความเค้นอนุญาต และระยะกระจัดสูงสุดบริเวณ Boom end ที่เกิดขึ้นให้อยู่ในเงื่อนไขของผู้ออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการวิบัติของโครงสร้างหลักปั้นจั่น (Verschoof, 2002 ; Federation Europeenne De La Manutention Section 1, 1987)

วิธีการวิจัย

จำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์โครงสร้างหลักของปั้นจั่นขนาด 17.34 x 75 x 42 m ดัง Figure 2 โดยการกำหนดขนาด 1:1 เท่ากับขนาดออกแบบ และกำหนดชนิดเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ที่เป็นแบบ Beam4 เนื่องจากขนาดของโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ สอดคล้องกับงานวิจัย Zhang *et al.* (2011), Quang *et al.* (2018) และ Tang *et al.* (2019) จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 496 เอลิเมนต์ จำนวนโหนดเท่ากับ 410 โหนด และจำนวนในการแบ่ง Cross-sections ในการกำหนดค่า Real constant ของวัสดุให้แก่อิเลเมนต์จำนวน 51 Section ดัง Figure 2



Figure 1 Working of ship-to-shore gantry crane (ที่มา: <https://www.thadarat.com>)

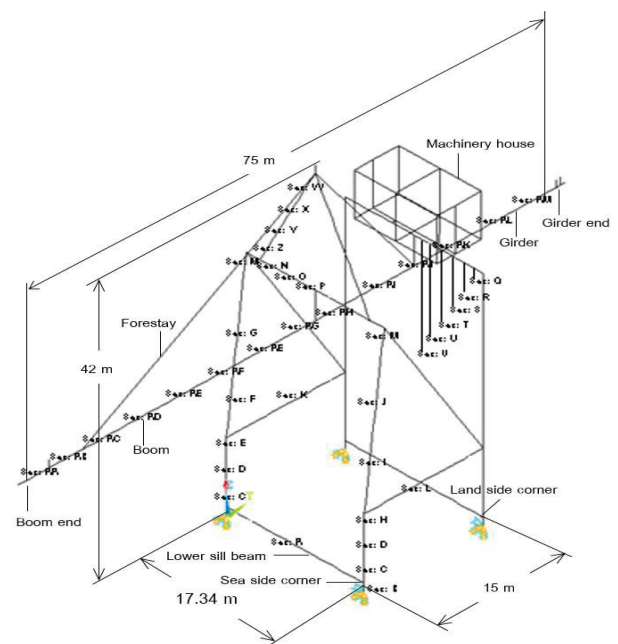


Figure 2 Model ship-to-shore gantry crane type of beam4

1. วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ชนิดเอลิเมนต์แบบ

Beam4

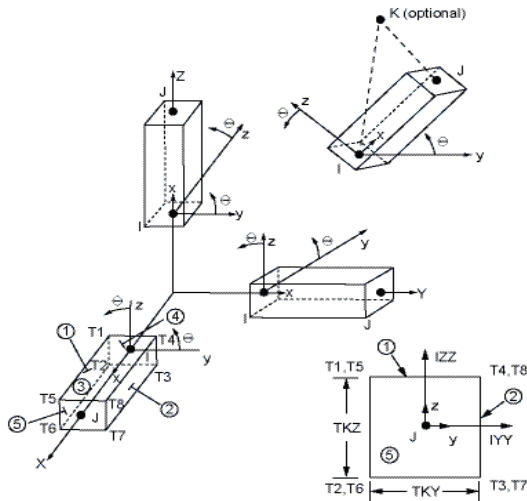


Figure 3 Element type of beam4

จาก (Moaveni, 1999) และ (Przemieniecki, 1968) จะได้เมตริกความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์เป็น

$$[k_e]\{d_e\} = \{F_e\} \tag{1}$$

และระบบรวมเป็น

$$[k]\{d\} = \{F\} \tag{2}$$

โดยที่ $[k]$ คือ เมตริกของความแข็งเกร็ง, $\{d\}$ คือ เมตริกของระยะกระจัด, $\{F\}$ คือเมตริกของแรงกระทำ, e คือ เอลิเมนต์

2. ความเค้นของเอลิเมนต์ชนิด Beam4

ความเค้นตรง

$$\sigma^{dir} = F_x / A \tag{3}$$

โดยที่ σ^{dir} คือความเค้นตรง (N/m²), F_x คือแรงในแนวแกน (N), A คือพื้นที่ภาคตัด (m²)

ความเค้นดัด

$$\sigma_z^{bnd} = M_y t_z / 2I_y \tag{4}$$

$$\sigma_y^{bnd} = M_z t_y / 2I_z \tag{5}$$

โดยที่

σ_y^{bnd} คือ ความเค้นดัดบนเอลิเมนต์ Z ของคาน, (N/m²)

σ_z^{bnd} คือ ความเค้นดัดบนเอลิเมนต์ Y ของคาน, (N/m²)

M_y คือ โมเมนต์รอบแกน Y, (N.m)

M_z คือ โมเมนต์รอบแกน Z, (N.m)

t_y คือ ความหนาของคานในแนวแกน Y, (m)

t_z คือ ความหนาของคานในแนวแกน Z, (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ภาคตัดคาน, (m⁴)

ความเค้นสูงสุดและความเค้นต่ำสุดเป็น

$$\sigma^{max} = \sigma^{dir} + |\sigma_z^{bnd}| + |\sigma_y^{bnd}| \tag{6}$$

$$\sigma^{min} = \sigma^{dir} - |\sigma_z^{bnd}| - |\sigma_y^{bnd}| \tag{7}$$

3. แรงปะทะที่เกิดจากความเร็วลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Francesco, 2006 ; Federation Europeenne De La Manutention Section 1, 1987) สมการดังนี้

$$F = Aq \tag{8}$$

โดยที่ F คือแรงลมปะทะ (N), A คือพื้นที่ภาคตัดของโครงสร้างที่ลมปะทะ (m²), q คือ ความดันลมเท่ากับ 0.612V² (N/m²), Francesco (2006) V คือความเร็วลม (m/s)

4. ระยะกระจัดของโครงสร้างที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD (วินิต ช่อวิเชียร และวารินดี ช่อวิเชียร, 2550) และสำหรับงานวิจัยนี้อนุญาตให้ระยะกระจัดเกิดขึ้นเท่ากับหรือน้อยกว่า L/180 โดยที่ L เป็นความยาวของ Boom มีหน่วยเป็น mm

การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ป็นจัน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 สภาวะ 1) สภาวะการทำงานปกติ (In-service) 2) สภาวะหยุดการทำงานแบบยกเก็บ Boom (Out-off-service) แสดงแผนผังการวิเคราะห์ดัง Figure 4

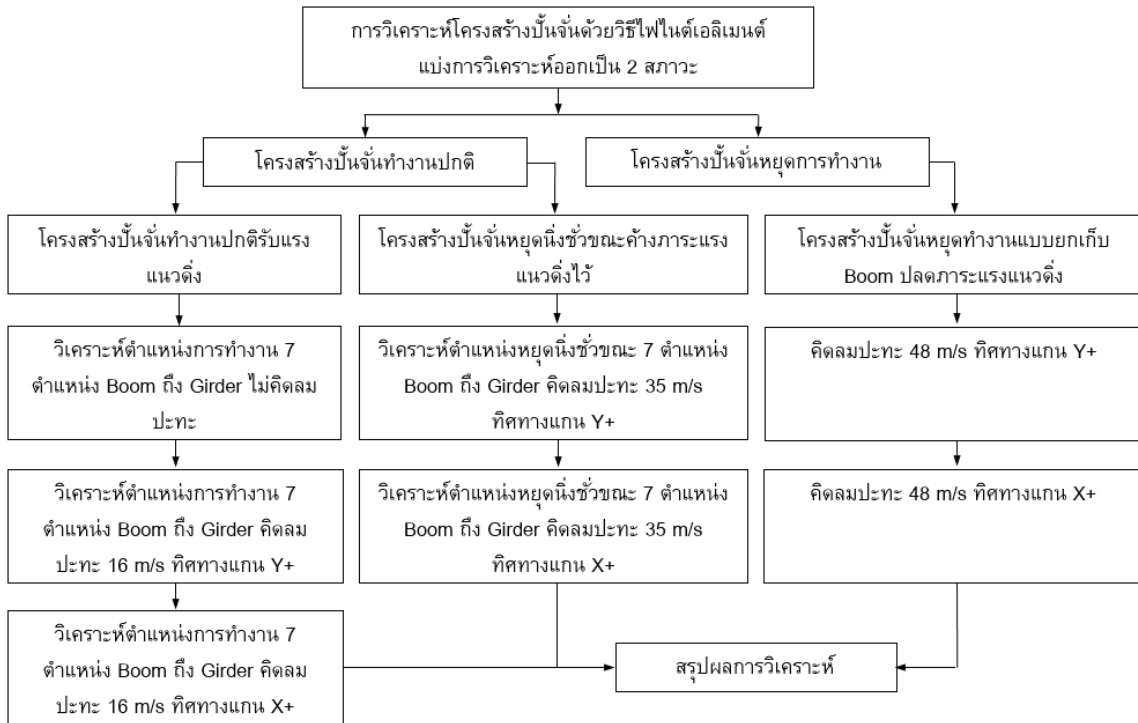


Figure 4 Analysis sequence diagram of ship-to-shore gantry crane

1. สภาวะปั้นจั่นทำงานปกติ

วิเคราะห์ที่กรณีไม่มีลมปะทะ และกรณีคิดลมปะทะ ทิศทาง X+ และ Y+ ที่ความเร็วลม 16 m/s เป็นความเร็วลมที่ปั้นจั่นสามารถทำงานได้ตามปกติ และ 35 m/s เป็นความเร็วลมที่เริ่มเกิดพายุรุนแรงต้องหยุดการทำงานปั้นจั่นชั่วคราว (Francesco, 2006) แรงกระทำคงที่ในแนวตั้ง พิจารณาตำแหน่งทำงาน 7 ตำแหน่งระหว่าง Boom ถึง Girder ดัง Figure 5

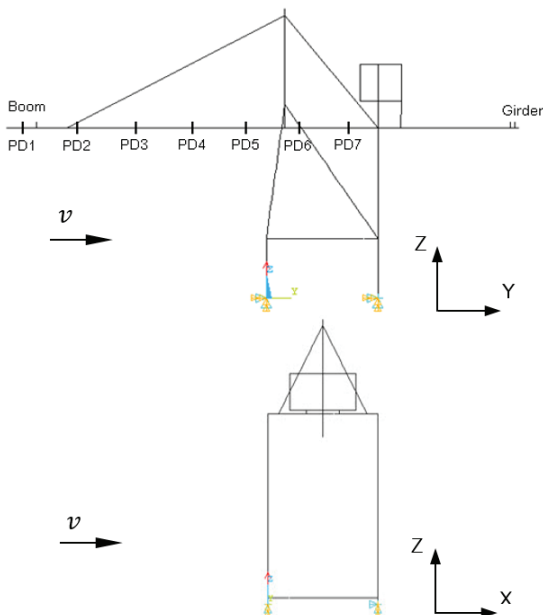


Figure 5 Analysis load position in-service and stowed wind

2. สภาวะหยุดการทำงาน

วิเคราะห์ที่กรณีหยุดการทำงานแบบยกเก็บ Boom ปลดภาระแนวตั้ง คิดลมปะทะที่ความเร็วลม 48 m/s เป็นความเร็วลมพายุรุนแรง และหยุดการทำงานปั้นจั่นแบบยกเก็บ Boom ทิศทางแกน X+ ซึ่งเป็นทิศทางลมที่โครงสร้างมีน้ำหนักเบาว่าเนื่องจากอีกด้านหนึ่งของโครงสร้างมีน้ำหนักเนื่องจาก Dead load มากกว่า และทิศทาง Y+ เป็นทิศทางลมด้านชายฝั่ง ดัง Figure 6

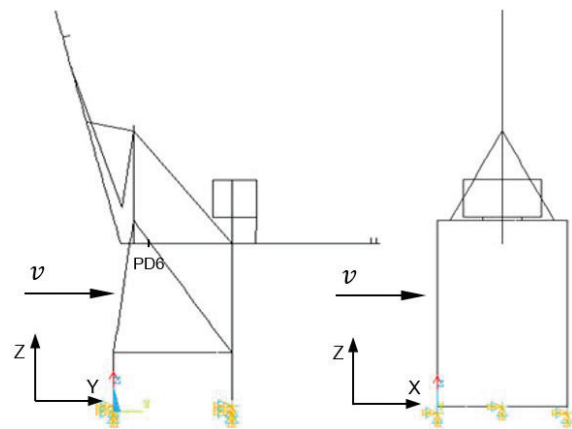


Figure 6 Analysis out-of-service

ข้อมูลทางเทคนิคประกอบการวิเคราะห์ปั้นจั่น ประกอบไปด้วย Table 1 ภาระแรงภายนอก (External load)

ที่กระทำต่อปั้นจั่น Table 2 ภาระคงที่ (Dead load) ของปั้นจั่น และ Table 3 ภาระลมปะทะ (Wind load) กระทำต่อปั้นจั่น

Table 1 External load of ship-to-shore gantry crane

External load member	Position	Load		
		(t)	(N)	(N.m)
Trolley load	PD6	29.70	291,357.00	-
Lifted load		53.00	519,930.00	-
Total load (Trolley load + Lifted load)		82.70	811,287.00	-
Lateral inertia force on movable parts X-direction	PD1-PD7	1.32	12,949.20	110,500.00
Lateral inertia force due to trolley acceleration		2.80	27,468.00	-

Table 2 Dead load of ship-to-shore gantry crane

Dead load member	Load		Node
	(t)	(N)	
Lander and other	24.46	239,952.60	Along left, Rear leg
Trolley rails	9.68	94,960.80	Along boom to girder
Apex pulleys	5.88	57,682.80	331
Boom end pulleys	1.22	11,968.20	282,380
Girder end pulleys	2.55	25,015.50	300,301,378,379
Machinery house equipment	93.99	922,041.90	Machinery house
Ballast	45.87	449,984.70	On lower sill beam

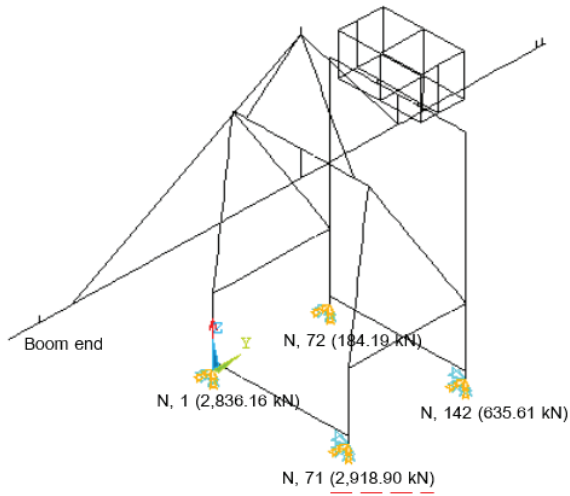
Table 3 Wind load of ship-to-shore gantry crane

Working condition	Load position	Wind load	
		Wind velocity (m/s)	Wind pressure (N/m ²)
Inservice	PD1-PD7	16	
Stowed wind	PD1-PD7	35	$q = 0.613V^2$
Out-off-service	-	48	

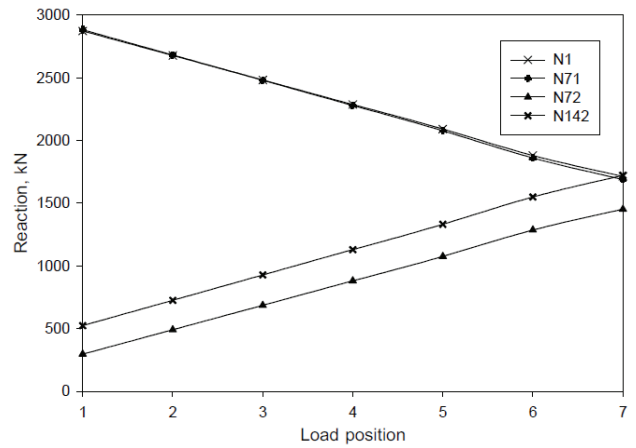
ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ปั้นจั่น ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในบทความนี้ แสดงค่าสูงสุดที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างหลักซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Francesco (2006) และ (Tang *et al.*, 2015) ดังนั้น แรงปฏิกิริยาสูงสุดของขาปั้นจั่น ความเค้นสูงสุด และระยะกระจัดสูงสุดที่เกิดขึ้นของปั้นจั่นดังต่อไปนี้

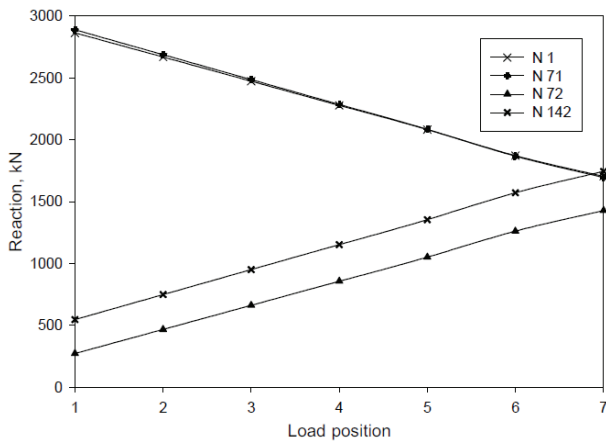
1. ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาของปั้นจั่นทั้ง 2 สภาวะ พบว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นที่บริเวณทางด้านซ้ายของปั้นจั่น (Left sea side corner) มีค่าเท่ากับ 2,918.90 kN และแรงปฏิกิริยาด้านต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณทางด้านขวาของปั้นจั่น (Right land side corner) มีค่าเท่ากับ 184.19 kN ที่สภาวะหยุดนิ่งชั่วขณะ ลมปะทะที่ความเร็วลม 35 m/s ทิศทางแกน X+ ตำแหน่งการทำงานที่ปลาย Boom (PD1) ดัง Figure 7 (A)



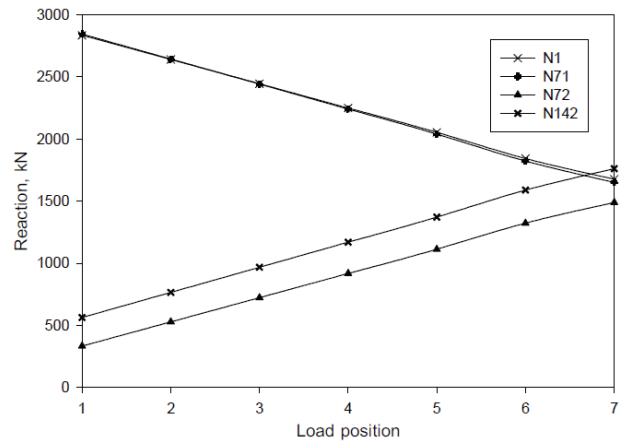
(A) Maximum reaction



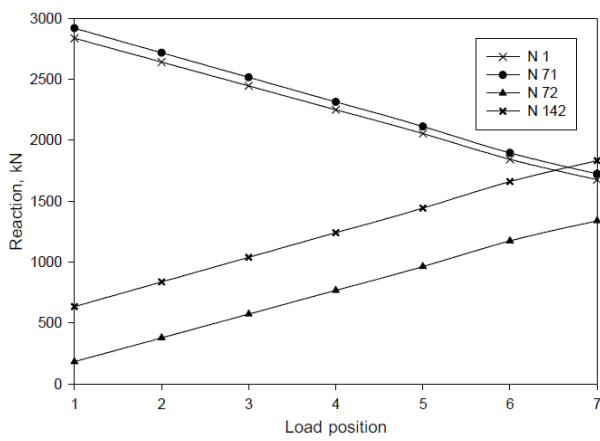
(B) No wind



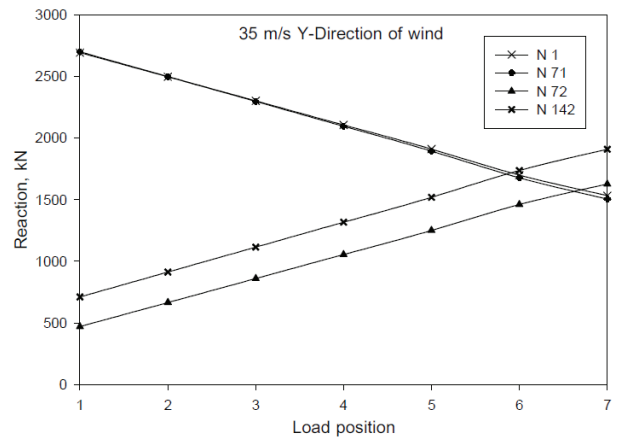
(C) 16 m/s of wind X-direction



(D) 16 m/s of wind Y-direction



(E) 35 m/s of wind X-direction



(F) 35 m/s of wind Y-direction

Figure 7 Reaction of structure

ทั้งนี้ฐานปั้นจั่นออกแบบให้มีการกระจายภาระแรงปฏิกิริยาออกเป็น 10 จุดด้วยล้อ โดยมีระยะห่างเท่ากับเสาฐานรองรับปั้นจั่น (ชัยยันต์ ไชบุญมา, 2551) ดังนั้นเสาฐานรองรับจะรับแรงต่อเสาเท่ากับ 291.89 kN ดัง Figure 8 จากเงื่อนไขของผู้ออกแบบการรับน้ำหนักฐานรองรับโครงสร้างปั้นจั่นท่าเรือชายฝั่ง ได้กำหนดค่าแรงปฏิกิริยาอนุญาตเสาฐานรองรับน้ำหนัก (Support leg of ship-to-shore gantry crane) ให้มีค่าไม่เกิน 294.30 kN ต่อเสา เนื่องจากจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ฐานราก ทั้งนี้ในทางปฏิบัติแล้ว ในกรณีหยุดชั่วคราวขณะค้างภาระแรงแนวตั้งไว้ (Stowed wind) ของปั้นจั่นนั้นจะไม่ค้างภาระ Container ไว้ที่ตำแหน่งปลาย Boom ผู้ควบคุมจะเลื่อนภาระ Container ให้อยู่ระหว่างตำแหน่งกลาง Boom เพื่อเป็นการกระจายแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้แก่ขาปั้นจั่นและเสาฐานรองรับ จากนั้นค่อยปลดภาระ Container (Total lifted load) และเลื่อน Trolley load มายังตำแหน่งที่ 6 (PD6) เพื่อให้ความเร็วลมลดลงอยู่ในช่วงที่ปั้นจั่นสามารถทำงานปกติได้ ผู้ควบคุมปั้นจั่นจึงจะเริ่มควบคุมการทำงานต่อไปอีกครั้ง จากกราฟแรงปฏิกิริยา ดัง Figure 7 สภาวะทำงานปกติของปั้นจั่นจะพบว่าแรงปฏิกิริยาขาของโครงสร้างคู่ด้านหน้าชายฝั่ง (Sea side) จะมีค่ามากกว่าคู่หลัง เกิดขึ้นที่ตำแหน่งทำงานบริเวณปลาย Boom (PD1) จากนั้นพบว่าภาระเคลื่อนภาระมายังตำแหน่งทำงานที่ 2, 3, 4, 5, 6 จนถึงตำแหน่งที่ 7 แรงปฏิกิริยาจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ และในขณะเดียวกันขาของโครงสร้างคู่ด้านหลัง (Land side) แรงปฏิกิริยาจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ลดลงของขาโครงสร้างคู่ด้านหน้าชายฝั่ง และทั้ง 2 สภาวะของปั้นจั่นค่าสูงสุดอยู่ในช่วงที่ยอมอนุญาตและค่าต่ำสุดไม่ก่อให้เกิดการยกตัวพลิกคว่ำของโครงสร้างปั้นจั่น (Quang *et al*, 2018)

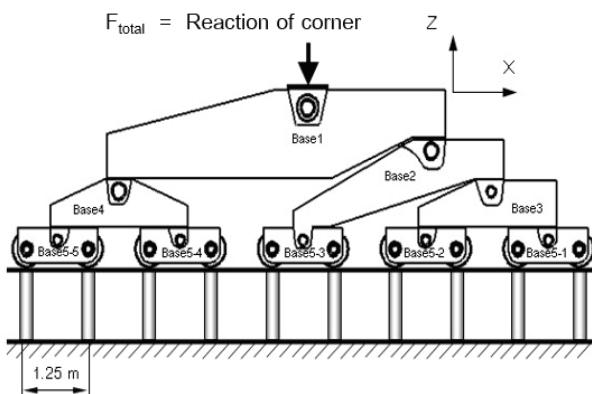


Figure 8 Support leg of ship-to-shore gantry crane (ชัยยันต์ ไชบุญมา, 2551)

2. ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นของปั้นจั่น เกิดขึ้นที่ชุดดึง Boom (Forestay) สภาวะปั้นจั่นทำงานปกติกรณีไม่คิดแรงลมปะทะ ตำแหน่งทำงานบริเวณปลาย Boom (PD1) มีค่าเท่ากับ 239.05 MPa และพบว่าค่าลดลงเมื่อเลื่อนภาระมายังตำแหน่ง 2, 3 และ 4 จากนั้นตำแหน่ง 4, 5, 6 และ 7 ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงตัว กรณีแรงลมปะทะที่ความเร็วลม 16 m/s และ 35 m/s ทิศทางแกน Y+ ยังส่งผลให้ค่าความเค้นลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแรงลมปะทะเป็นการพยุงตัวโครงสร้างหลักของปั้นจั่น และไม่ส่งผลต่อการเสียสมดุลของปั้นจั่นแสดงดังกราฟ Figure 9 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุเกรด SM 490 (Yield strength, $\sigma_y = 325$ MPa) ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงความเค้นอนุญาตและปลอดภัยจากการวิบัติเนื่องจากความเค้นเกินจุดครากของวัสดุโครงสร้าง

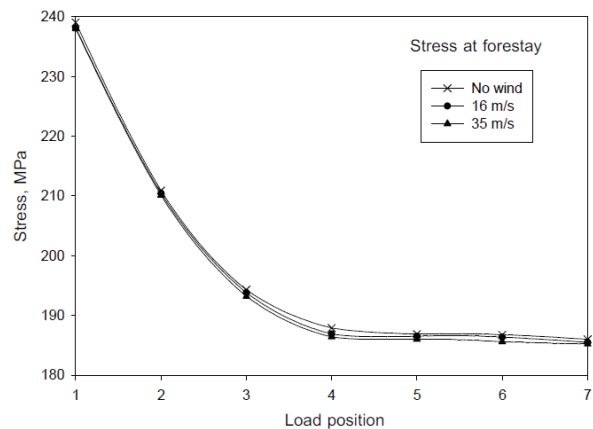
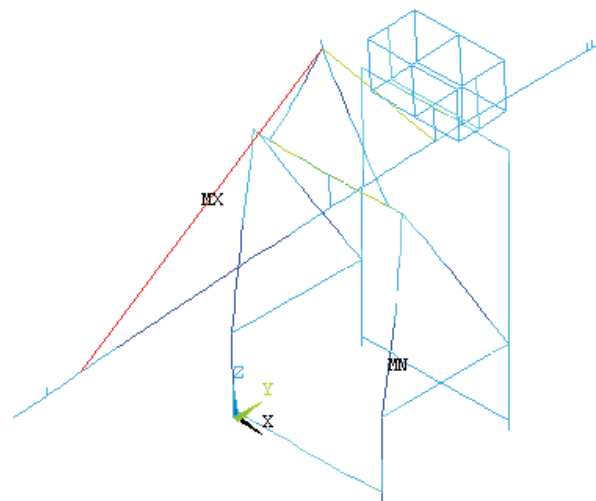


Figure 9 Maximum stress of structure

3. ผลการวิเคราะห์ระยะกระจัดของโครงสร้างปั้นจั่นพบว่าระยะกระจัดสูงสุด (Maximum displacement) เกิดขึ้นที่บริเวณปลาย Boom ตำแหน่งการทำงานที่ 1 (PD1) เท่ากับ 157.02 mm ในแนวตั้งทิศทาง Z- สภาวะหยุดนิ่งชั่วขณะค้างภาระแรงไว้ (Stowed wind) ดังกราฟ Figure 10 และระยะ

กระจัดจะค่อยๆ ลดลงกรณีเลื่อนภาระแรงมายังตำแหน่งทำงานที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ระยะกระจัดที่เกิดขึ้นอยู่ในเงื่อนไขของการ ออกแบบและเกณฑ์ที่อนุญาตสอดคล้องกับงานวิจัยของ Francesco (2006)

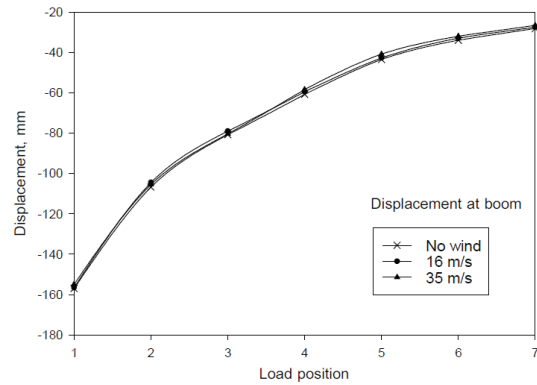
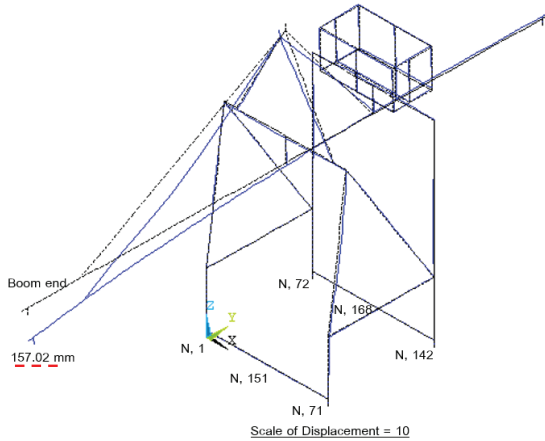
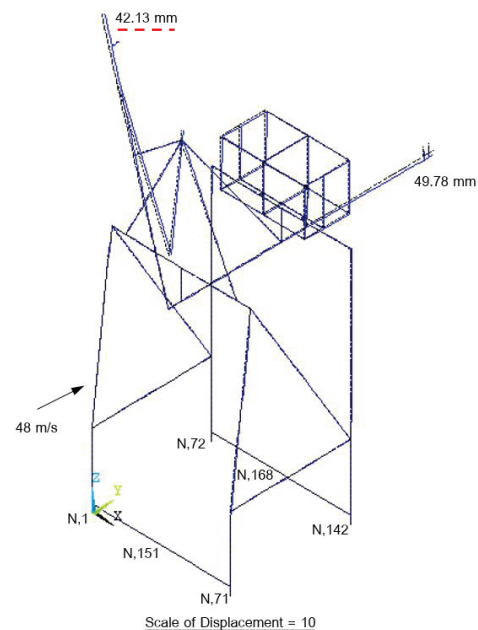
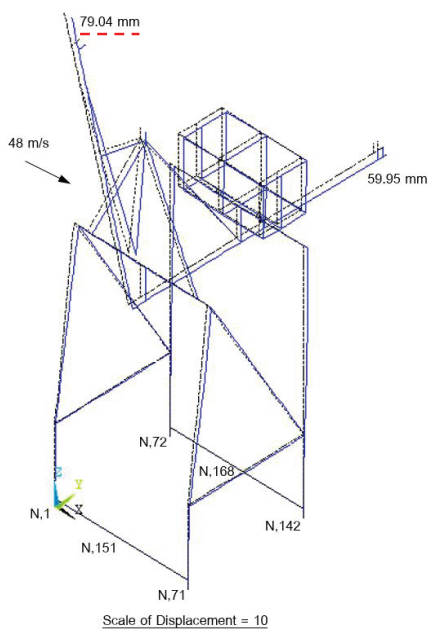


Figure 10 Displacement of structure in-service

และกรณีสภาวะหยุดการทำงาน (Out-of-service) พบว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลาย Boom (PD1) ทิศทางแกน X+, Y+ เท่ากับ 79.04 mm และ 42.13 mm ดัง Figure 11 (A) และ (B) ตามลำดับ และระยะกระจัดตำแหน่งปลาย Girder เกิดขึ้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 59.95 mm ในแนวตั้งทิศทาง Z- ผลระยะกระจัดทั้ง 2 สภาวะที่วิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่อนุญาตและเงื่อนไขในการออกแบบ (วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร, 2550)

ซึ่งมีค่าน้อยกว่า L/180 โดยที่ L คือความยาว Boom มีค่าเท่ากับ 36,000 mm จะได้ค่า $L/180 = 36,000/180 = 200$ mm เป็นค่าสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้นตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD และผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยา พบว่าแรงปฏิกิริยาต่ำสุดเกิดขึ้นบริเวณทางด้านซ้ายของปั้นจั่น (Left sea side corner) มีค่าเท่ากับ 81.08 kN ดัง Table 4 ไม่ส่งผลให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างหลักและการเสียสมดุลของปั้นจั่น



(A) Displacement X-direction

(B) Displacement Y-direction

Figure 11 Displacement of out-of-service

Table 4 Reaction of out-of-service

Sea side			
Wind load Y-direction		Wind load X-direction	
Node	Reaction, kN	Node	Reaction, kN
1	84.47	1	104.77
151	27.10	151	26.91
71	81.08	71	143.77
Land side			
Wind load Y-direction		Wind load X-direction	
Node	Reaction, kN	Node	Reaction, kN
72	197.55	72	136.95
168	2.64	168	2.35
142	225.97	142	204.07

สรุปผล

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาบับันจัน แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2,918.90 kN เกิดขึ้นที่ตำแหน่งขาซ้ายของบับันจัน (Left sea side conner) ฝั่งด้านหน้าชายฝั่ง (Sea side) สภาวะการทำงานหยุดนิ่งชั่วขณะค้ำภาระ Container ไว้ (Stowed wind) แรงลมปะทะที่ความเร็วลม 35 m/s ทิศทางแกน X+ ตำแหน่งทำงานปลาย Boom (PD1) ทั้งนี้ฐานของบับันจันได้ออกแบบการกระจายแรงปฏิกิริยาออกเป็น 10 จุดแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่เสาฐานรองรับเท่ากับ 291.89 kN ซึ่งค่าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าเงื่อนไขของผู้ออกแบบได้กำหนดเสาฐานรองรับบับันจันให้รับภาระแรงห้ามเกิน 294.30 kN ต่อเสา ซึ่งปลอดภัยต่อการวิบัติของเสาฐานรองรับบับันจัน และในเชิงปฏิบัติแล้วแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าผลการวิเคราะห์ เนื่องด้วยในสภาวะการทำงานกรณีหยุดนิ่งชั่วขณะจะไม่ค้ำภาระ Container ไว้ที่ตำแหน่งปลาย Boom ผู้ควบคุมจะเลื่อนภาระ Container ให้อยู่ระหว่างตำแหน่งกลาง Boom เพื่อเป็นการกระจายแรงให้แก่โครงสร้างบับันจันและเสาฐานรองรับ จากนั้นค่อยปลดภาระ Container (Total lifted load) และเลื่อน Trolley load มายังตำแหน่งที่ 6 (PD6) เพื่อรอความเร็วลมอยู่ในช่วงที่บับันจันสามารถทำงานปกติได้จากนั้นผู้ควบคุมบับันจันจึงจะเริ่มควบคุมการทำงานต่อไปอีกครั้ง

ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นของโครงสร้างบับันจันทั้ง 2 สภาวะ พบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่สภาวะการทำงานปกติกรณีหยุดนิ่งชั่วขณะ ตำแหน่งทำงานที่ปลาย Boom (PD1) มีค่าเท่ากับ 239.05 MPa เกิดขึ้นที่ซูดดึง Boom (Forestay) และพบว่าค่าลดลงเมื่อเลื่อนภาระมายังตำแหน่ง 2,

3 และ 4 จากนั้นตำแหน่ง 4, 5, 6 และ 7 ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงตัวอยู่ในช่วง 185.74 MPa-186.98 MPa เนื่องจากการเลื่อนภาระเข้ามายังตัวโครงสร้างเป็นการกระจายความเค้นให้แก่โครงสร้าง ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าความต้านแรงดึงครากของวัสดุเกรด SM 490 $\sigma_y = 325$ MPa ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงความเค้นอนุญาตและปลอดภัยจากการวิบัติเนื่องจากความเค้นเกินจุดครากของวัสดุโครงสร้าง และผลการวิเคราะห์ระยะกระจัดโครงสร้างบับันจันทั้ง 2 สภาวะอยู่ในเกณฑ์ที่อนุญาตและเงื่อนไขในการออกแบบ ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 157.02 mm เกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลาย Boom ทิศทาง Z- ในแนวตั้งซึ่งมีค่าน้อยกว่า L/180 เท่ากับ 200 mm ค่าระยะกระจัดที่ยอมอนุญาตตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโปรแกรม ANSYS จากห้องวิจัยการเผาไหม้ขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ภายใต้การควบคุมของ ดร. เฉลิมพล เปล่งสะอาด

เอกสารอ้างอิง

- ชัยยนต์ ใจบุญมา. (2551). การวิเคราะห์โครงสร้างเครนด้วยวิธีไฟไนต์อีเลเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วินิต ช่อวิเชียร และวรนิติ ช่อวิเชียร. (2550). การออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Federation Europeenne De La Manutention Section 1. (1987). *Rules for the Design of Hoisting Appliances. Classification and Loading on Structures and Mechanisms* (3rd ed). French and German: Technical Committee of the Section 1 of the F.E.M.
- Francesco, Z. (2006). *Main Structure Calculation and Safety Checks Revision 1, Paolo De Nicola-Paceco Portainer Cranes for Port Authority of Thailand*. Via Borgo Vicenza.
- Jung-Hyun J. & Sihyun K. (2020) Key Performance Indicator Development for Ship-to-Shore Crane Performance Assessment in Container Terminal Operations. *J. Mar. Sci. Eng*, 8(6), 1-11.
- Klinger, C. (2014). Failures of cranes due to wind induced vibrations. *Engineering Failure Analysis*, 43, 198-220.
- Moaveni, S. (1999). *Finite element analysis theory and application with ANSYS*. Prentice-Hall.
- Przemieniecki, J.S. (1968). *Theory of Matrix Structural Analysis*. McGraw-Hill.
- Quang, H.T., Jungwon, H., Nguyen, V.B., Choonghyun, K., Jin-Hee A. & Park, I.J. (2018). Sensitivity Analysis for Ship-to-Shore Container Crane Design. *Applied sciences*, 7, 1-14.
- Tang, G., Chi, C., Wang, Y. & Hu, C. (2019). Strength Analysis of the Main Structural Component in Ship-to-Shore Cranes Under Dynamic Load. *IEEE*, 7, 23959-23966.
- Verschoof, I.J. (2002). *Cranes-Design, Practice, and Maintenance* (2nd Eds). Professional Engineering Publishing Limited.
- Zhang, Y., Zhao J. & Yao J. (2011) Static Structural Finite-element Analysis of tower crane based on FEM. *IEEE*, 220-224.

เรดิโอลาเรียนยุคดีโวเนียนตอนปลายถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นจากหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย

Late Devonian to early Carboniferous radiolarian faunas from the Ban Wang Pha chert section in Pak Chom district, Loei province, northeastern Thailand

ศิริกาญจน์ จรรยา¹, หทัยทิพย์ ทัสณภักดิ์², มงคล อุดชาชน³
Sirakan Janya¹, Hathaitip Thassanapak², Mongkol Udchachon³

Received: 5 February 2021 ; Revised: 2 April 2021 ; Accepted: 19 April 2021

บทคัดย่อ

ซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนจากหินเชิร์ตยุคดีโวเนียนตามแนวชั้นหินคดโค้งเลยนั้นเคยมีรายงานการค้นพบในอดีตมาแล้ว อย่างไรก็ตามยังมีชั้นหินเชิร์ตอีกหลายพื้นที่ของจังหวัดเลยยังไม่มีการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียน การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตที่โผล่ปรากฏบริเวณเนินเขาหลังโรงเรียนบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย โดยทำการละลายหินเชิร์ตมากกว่า 30 ตัวอย่าง เพื่อสกัดซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนตามขั้นตอนมาตรฐานด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 3-5 โดยผลการศึกษาพบเรดิโอลาเรียนอายุดีโวเนียนจำนวน 9 สกุล 17 ชนิด และสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กลุ่มชีวิน *Polyentactinia tenera* Assemblage ประกอบด้วย *Polyentactinia tenera*, *P. invenusta*, *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* ร่วมกับ *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (ฟราสเนียน-ฟาเมนเนียน) และกลุ่มที่ 2 กลุ่มชีวิน *Belowea variabilis* Assemblage ประกอบด้วย *Belowea variabilis*, *Trienosphaera sicarius*, *Archocyrtium* sp. และ *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* ระบุอายุได้ในช่วงดีโวเนียนตอนปลาย (ฟาเมนเนียน) ถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

คำสำคัญ: เรดิโอลาเรียน ยุคดีโวเนียนตอนปลาย หินเชิร์ต แนวชั้นหินคดโค้งเลย

Abstract

Some Devonian radiolarian chert sequences have been previously reported from the Loei Fold Belt. However, the various chert sequences exposed in Loei province have not yet been studied. The chert sequence exposed at a hill located behind the Ban Wang Pha School was selected in this study. More than 30 chert samples were collected from the rock section. Standard chemical methods were applied using 3-5 % hydrofluoric acid for radiolarian extraction. The results indicated that these Devonian radiolarians can be classified into 9 genera and 17 species. These faunas can be grouped into 2 assemblages. The first assemblage, *Polyentactinia tenera* assemblage, includes *Polyentactinia tenera*, *P. invenusta*, *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* and *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* and others. This assemblage indicates of Late Devonian (Frasnian-Famennian). The second assemblage is *Belowea variabilis* Assemblage including *Belowea variabilis*, *Trienosphaera sicarius*, *Archocyrtium* sp. and *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* and others. This assemblage indicates Late Devonian (Famennian) to early Carboniferous.

Keywords: Radiolarian, Late Devonian, Chert, Loei Fold Belt

¹ นิสิตปริญญาโท, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha sarakham 44150, Thailand

² Assist Prof, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha sarakham 44150, Thailand

³ Assoc Prof, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha sarakham 44150, Thailand

* Corresponding author; Sirakan Janya, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand
sira.sirakan@gmail.com

บทนำ

เรดิโอลาเรียน (Radiolarian) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวในอาณาจักรโพรทิสตา (Kingdom Protista) ชั้นย่อยเรดิโอลาเรีย (Subclass Radiolaria) ที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนอาศัยอยู่บริเวณทะเลเปิด (open marine) ในระดับโกลีฟวิ้นตั้งแต่ยุคแคมเบรียน (Cambrian) จนถึงปัจจุบัน โครงสร้างแข็งภายนอก (cortical shell) ของเรดิโอลาเรียนเกิดจากการดูดซับสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ในน้ำทะเลมาสร้างเป็นเปลือกแข็งหุ้มลำตัว เมื่อตายลงไปโครงสร้างแข็งดังกล่าวจะตกจมลงสู่พื้นทะเลและสะสมตัวร่วมกับเศษตะกอนอื่นๆ ผ่านกระบวนการทางธรณีวิทยากลายเป็นชั้นหินเชิร์ต (chert) หรือชั้นหินเนื้อแก้ว (siliceous rock) (หทัยทิพย์ ทัศนภักดิ์, 2555) และเรียกบริเวณที่มีการสะสมตะกอนแบบนี้ว่า เลนเรดิโอลาเรียน (Radiolarian ooze) ซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนถือเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญทางด้านบรรพชีวินวิทยาที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศบรรพกาลที่เกิดขึ้นในอดีต รวมถึงสามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อศึกษาการลำดับชั้นหินทางธรณีวิทยาได้อีกด้วย

การศึกษาเรดิโอลาเรียนในประเทศไทยนั้นมีการรายงานการค้นพบครั้งแรกบริเวณภาคเหนือของประเทศ ในอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ (Caridroit *et al.*, 1990) ระบุอายุช่วงยาวต่อเนื่องจากยุคดีโวเนียน (Devonian) คาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) จนถึงเพอร์เมียน (Permian) หลังจากนั้นก็มีรายงานการศึกษาในพื้นที่ภาคเหนือเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Sanjit *et al.*, 2014 ; Wonganan & Caridroit, 2005b, 2005a) ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้นมีการค้นพบตามแนวชั้นหินคดโค้งเลย (Loei Fold Belt) อำเภอปากชม จังหวัดเลย ระบุอายุดีโวเนียนและคาร์บอนิเฟอรัส (Sashida *et al.*, 1993) และหลังจากนั้นก็มีการรายงานการค้นพบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนในช่วงอายุดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นตามแนวชั้นหินคดโค้งเลย (Khattamart *et al.*, 2015 ; Saesaengseerung *et al.*, 2007 ; Thassanapak *et al.*, 2017)

อย่างไรก็ตามการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนตามแนวชั้นหินคดโค้งเลยนั้น ยังมีพื้นที่ๆ มีการโผล่ปรากฏของชั้นหินเชิร์ตอื่นๆ ที่น่าสนใจที่ยังไม่มีข้อมูลการศึกษาอยู่อีกหลายพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณบ้านวังผามีการโผล่ปรากฏของหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณเนินเขาด้านหลังโรงเรียนบ้านวังผา และเป็นพื้นที่ๆ ยังไม่มีรายงานการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนมาก่อนเลย ดังนั้นในการศึกษา

ครั้งนี้จึงได้ทำการกำหนดพื้นที่ดังกล่าวเพื่อศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนอายุดีโวเนียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดจำแนกความหลากหลายของซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่มีอายุดีโวเนียน และจัดกลุ่มชีวินซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการกำหนดอายุการสะสมตะกอนของหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผาต่อไป

ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษาบ้านวังผา

ธรณีวิทยาของประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นธรณี 2 แผ่น ได้แก่ แผ่นฉาน-ไทย (Shan-Thai terrane) และแผ่นอินโดจีน (Indochina terrane) (Bunopas, 1992) โดยพื้นที่ศึกษาบ้านวังผานั้นตั้งอยู่ในแนวชั้นหินคดโค้งเลย ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นอินโดจีนทางด้านตะวันตก โดยมีชั้นหินตะกอนที่สะสมตัวตามแนวชั้นหินคดโค้งเลยดังนี้ ชั้นหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลาง ได้แก่ หมวดหินนาโม (Na Mo Formation) เป็นหินฐานของพื้นที่มีอายุไซลูเรียนถึงดีโวเนียน (Silurian-Devonian) หมวดหินปากชม (Pak Chom Formation) อายุดีโวเนียนถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Devonian-early Carboniferous) โดยวางตัวทับถมวดหินนาโมและถูกปิดทับแบบไม่ต่อเนื่อง (Unconformity) ด้วยชั้นหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน ได้แก่ หมวดหินหนองดอกบัว (Nong Dok Bua Formation) อายุคาร์บอนิเฟอรัส (Udchachon *et al.*, 2014) ถูกปิดทับด้วยหมวดหินวังสะพุง (Wang Saphung Formation) หมวดหินอีเลิศ (E-lert Formation) หมวดหินน้ำมโหฬาร (Nam Mahoran Formation) และหมวดหินผาเตือ (Pha Dua Formation) อายุเพอร์เมียน (กรมทรัพยากรธรณี, 2555) (Figure 1)

การโผล่ปรากฏของหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผาตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือจากอำเภอเมืองเลย ประมาณ 70 กิโลเมตร บนเส้นทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2414 (ตำแหน่งละติจูด 17 องศา 77 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 101 องศา 98 ลิปดาตะวันออก) (Figure 2) พบการโผล่ปรากฏหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณเนินเขาด้านหลังโรงเรียนบ้านวังผาลักษณะของหินเชิร์ตมีสีน้ำตาลแดงถึงสีแดงอมม่วง มีความหนาแต่ละชั้นประมาณ 2-5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นภูเขาหินเชิร์ตที่มีความคดโค้งและซับซ้อนเป็นอย่างมาก หลังจากการสำรวจพื้นที่ศึกษา ได้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณเชิงเขา กลางเขา และยอดเขา รวมมากกว่า 30 ตัวอย่าง (Figure 3)

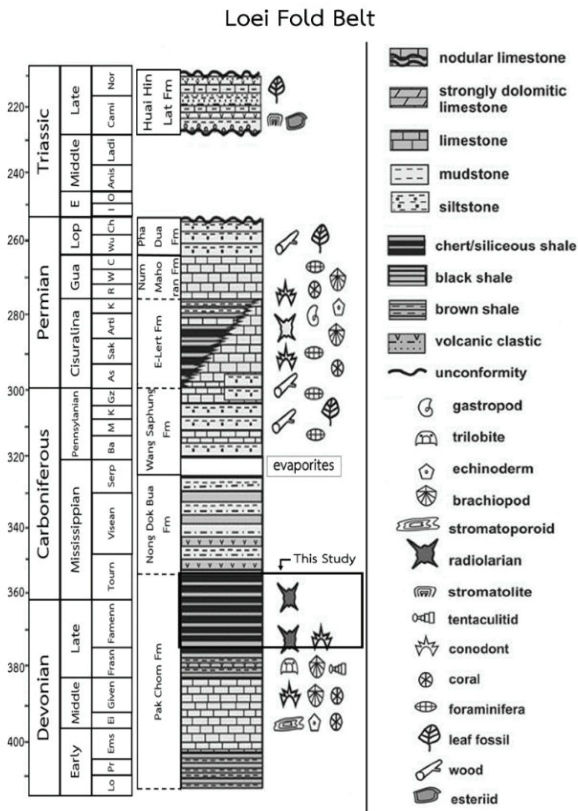


Figure 1 Biostratigraphic columns of Loei Fold Belt showing a detail of assemblages and position of study locality (Thassanapak *et al.*, 2017 ; Udchachon *et al.*, 2014)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

จากการสำรวจพื้นที่ศึกษาหน้าตัดชั้นหินเซิร์ตบ้านวังผานั้นได้ทำการวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่บริเวณเชิงเขา จำนวน 14 ตัวอย่าง บริเวณกลางเขา 17 ตัวอย่าง และบริเวณยอดเขา จำนวน 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 36 ตัวอย่างเพื่อนำมาสกัดเอาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนในเนื้อหินออกมาในขั้นตอนนี้ทำในห้องปฏิบัติการทางเคมีโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกหรือกรดกัดแก้ว (HF) ความเข้มข้นร้อยละ 3-5 โดยนำวิธีการสกัดตัวอย่างจากการศึกษาของ (Pessageno & Newport, 1972) มาใช้ โดยในแต่ละครั้งต้องนำตัวอย่างหินเซิร์ตไปแช่ในสารละลายเคมีเป็นเวลา 20-24 ชั่วโมงแล้วทำการเก็บสะสมตัวอย่างตะกอนที่ละลายจากเนื้อหินผ่านตะแกรงร้อนมาตรฐาน (sieved) เบอร์ 53 และ 250 ไมโครเมตร ขั้นตอนนี้ทำซ้ำนาน 14 วัน จนได้ตัวอย่างที่เพียงพอต่อการศึกษา หลังจากนั้นนำตัวอย่างตะกอนที่ได้ทั้งหมดไปคัดแยกซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (stereo microscope) และทำการถ่ายภาพตัวอย่างผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) เพื่อทำการจัดจำแนกความหลากหลายของซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนในขั้นตอนต่อไป

ผลการศึกษานุกรมวิธานซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียน

การจัดจำแนกเรดิโอลาเรียนในครั้งนี้ได้ทำการจัดจำแนกตามการศึกษาของ (De wever *et al.*, 2001) สามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Systematic paleontology

- Class** Actinopoda
- Subclass** Radiolaria Müller (1858)
- Superorder** Polycystida Ehrenberg (1838), emend. Riedel (1967)
- Family** Entactiniidae Reidel (1967)
- Genus** *Stigmospherostylus* Rüst (1892), emend. Foreman (1963) (syn: *Entactinia* Foreman, 1963)
- Type species:** *Stigmospherostylus herculea* (Foreman, 1963)

***Stigmospherostylus pusilla* (Hinde, 1899)**

(Figure 4: 16) and Figure 5: 2-3)

1899 *Staurosphaera pusilla* Hind-Hind, p.46, pl.8, Figure 12

1963 *Entactinia?* Additive Foreman-Foreman, p 273, pl.1, Figure 10 ; pl.3, Figure 9

1997 *Stigmospherostylus pusilla* (Hinde)-Aitchison and Stratford, p.381

2003 *Stigmospherostylus pusilla* (Hinde)-Wang, pl.2, figs.11-16

2005 *Stigmospherostylus pusilla* (Hinde)-Wonganan, pl.2, Figure 13

2017 *Stigmospherostylus pusilla* (Hinde)-Thassanapak, p.36, Figure 10 ; p.37, figs.5-7 ; p.38, figs.5c, 7-8

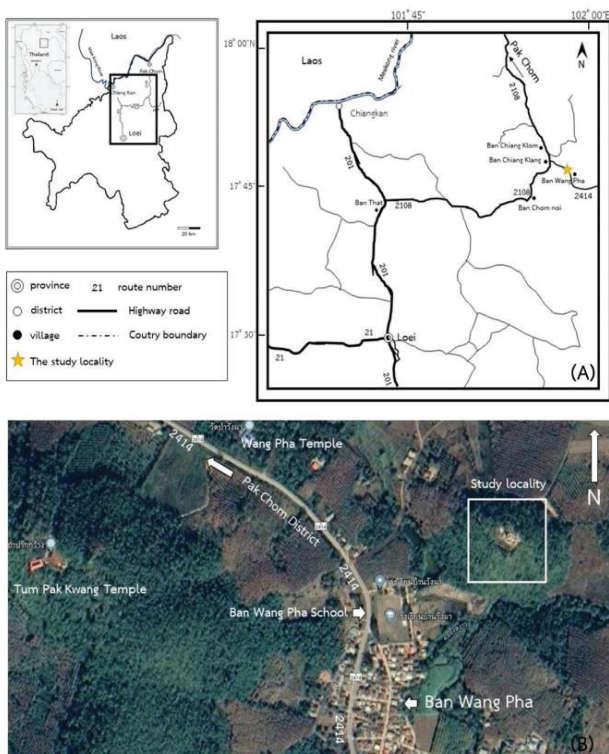


Figure 2 Map showing the locality of study section in Ban Wang Pha chert section

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะของเปลือกนอก (cortical shell) มีรูพรุน (pore frame) เหมือนตาข่ายลักษณะกลม (spherical latticed) ขนาดเล็กเท่ากัน มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ (main spine) ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอก คล้ายกับใบมีด 3 แฉก (three-bladed) โดยลักษณะเด่นของเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีจำนวนของหนามขนาดใหญ่ จำนวน 7 แห่ง

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม พื้นที่บริเวณแอ่งของขอบแผ่นอินโดจีนตามแนวชั้นหินคดโค้งเลย ทางตะวันออกของจังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย มีอายุตอนปลายดีโวเนียนตอนปลาย (Late Devonian ; Frasnian-Famennian) พื้นที่ทางด้านตะวันออกของรัฐ New South Wales ประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนกลาง (Middle Devonian ; Givetian) พื้นที่ทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Middle-Late Devonian ; Givetian-Frasnian) และพื้นที่หมู่หิน Huron บริเวณพื้นที่ Ohio shale ของสหรัฐอเมริกา มีอายุดีโวเนียน (Devonian)

Stigmospherostylus* sp. cf. *S. variospina (Won, 1983)
(Figure 4: 17 and figure 5: 1)

- cf. 1983 *Palaeoxyphostylus variospina* Won-Won, pp.156-157, pl.8, figs.1-4, 6-22
cf. 1986 *Entactinia variospina* (Won)-Gourmelon, pp. 183-184, pl.4, Figure 1
cf. 1987 *Entactinia variospina* (Won)-Gourmelon, p.49, pl.3, figs.7-11
cf. 1990 *Entactinia variospina* (Won)-Braun, p.109, pl.7, figs. 4, 6
cf. 1990 *Palaeoxyphostylus variospina* Won-Won, pp.137-138, pl.2, Figure 10
cf. 1993 *Entactinia variospina* (Won)-Sashida *et al.*, figs.4, 1-14
cf. 1994 *Entactinia variospina* (Won)-Kiessling, pl.4, figs.23, 24
cf. 2003 *Stigmosphaerostylus variospina* (Won)-Wong *et al.*, pl.4, figs.1-7
cf. 2005 *Stigmosphaerostylus variospina* (Won)-Wonganan and Caridoit, figs.3-3, 3-4
cf. 2007 (Figure 5: 1) (Won)-Saesaengseerung *et al.*, figs.8: 7, 17

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มีความชำรุด อย่างไรก็ตามลักษณะของตัวอย่างมีความคล้ายคลึงที่สามารถเทียบเคียงได้กับ *Stigmosphaerostylus variospina* (Won) คือเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นของเปลือกนอกแข็งแรง มีรูพรุนเหมือนตาข่ายลักษณะกลม ขนาดเล็กเท่ากัน มีหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกคล้ายกับใบมีด 3 แฉก ที่แข็งแรง (robust) มีขนาดสั้น (short) และปลายทู่ (blunted) และมีจำนวนของหนามขนาดใหญ่ประมาณ 2-6 แห่ง

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ภาคเหนือของประเทศไทย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian-Famennian) พื้นที่ตามแนวริมฝั่งแม่น้ำโขงอำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีอายุดีโวเนียนตอนปลายถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Late Devonian-early Carboniferous ; Famennian-Tournaisian) พื้นที่ทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Famennian) พื้นที่ทางเหนือของรัฐ Bavaria ประเทศเยอรมัน มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย และพื้นที่เมือง Riescheid ประเทศเยอรมัน มีอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

***Stigmospherostylus* sp.**
(Figure 5: 4-5)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม หนา มีรูพรุนขนาดเล็กเท่ากัน มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกคล้ายกับใบมีด 3 แฉก ขนาดยาวปลายแหลม ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของสกุลนี้ โดยที่ตัวอย่างเหล่านี้ไม่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะที่จะสามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย



Figure 3 Field photographs of the Ban Wang Pah chert section including (A) close-up of the Ban Wang Pha chert sequence (pen is about 14 cm long). (B), (C) at lower part of chert sequence (SB01 to S1(2)07). (D), (E), (F) at middle part of chert sequence (S401 to S705), (G), (H) at Upper part of chert sequence (S801 to S902).

Genus *Trilonche* Hinde (1899), emend. Foreman (1963), Aitchison and Stratford (1997)

(syn: *Entactinosphaera* Foreman 1963)

Type species: *Trilonche hindea* (Hinde, 1899)

Trilonche echinata (Hinde, 1899) ; emend. Aitchison and Stratford, 1997

(Figure 5: 6, 15)

1899 *Heliosoma echinatum* Hinde-Hinde, p.50, pl.9, figs.1-2

1963 *Entactinosphaera echinata* ? (Hinde)-Foreman, p.279, pl.3, Figure 10 ; pl.4, figs.12a-b

1975 *Entactinosphaera echinata* (Hinde)-Nazarov, p.60-61, pl.3, figs.1-3 ; pl.4, figs.6-8

1983 *Entactinosphaera echinata* (Hinde)-Nazarov and Ormiston, pl.1, figs.6-7

1993 *Entactinosphaera echinata* (Hinde)-Aitchison, pl.5, figs.6, 11, 14 ; pl.7, Figure 3

1997 *Entactinosphaera echinata* (Hinde)-Wang, pl.3, figs.4-10 ; pl.4, figs.4, 7

1999 *Trilonche ? echinata* (Hinde)-Braun and Budil, Figure 4A

2003 *Trilonche echinate* (Hinde)-Wang *et al.*, pl.1, Figure 16

2005 *Trilonche echinate* (Hinde)-Wonganan and Caridroit, pl.2, figs.17, 18

2017 *Trilonche echinate* (Hinde)-Thassanapak *et al.*, figs.5b: 10-12 ; figs.5d: 3-4

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกที่เกิดจากก้าน (bars) ภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน (concentric) คล้ายกับใบมีด 3 แฉก โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือหนามขนาดใหญ่ 1 แห่งที่ยาวปลายแหลม ลักษณะของบริเวณผิวเปลือกนอกถูกปกคลุมไปด้วยหนามขนาดเล็กคล้ายปลายเข็ม (needle-like) ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะของรูพรุนบนเปลือกนอกได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Givetian-Famennian) พื้นที่ของหมวดหิน Tanhe Formation ในเมือง Nanning มณฑลกว่างซี (Guangxi) ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนต้นถึงตอนกลาง (Early-Middle Devonian) พื้นที่ทางตะวันออกของรัฐ New South Wales ประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนกลาง (Middle Devonian ; Givetian) พื้นที่ของหมวดหิน Gogo ในแอ่ง Canning Basin ทางด้านตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย และพื้นที่พื้นที่หมู่หิน Huron บริเวณ Ohio shale ประเทศสหรัฐอเมริกา มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Late Devonian)

Trilonche elegans Hinde (1889)

(Figure 4: 2 and figure 5: 5, 7-8)

1889 *Trilonche elegans* Hinde-Hinde, p.48, pl.8, Figure 22

1997 *Trilonche elegans* Hinde-Aitchison and Stratford, figs.2-7, figs.3-6

1999 *Trilonche elegans* Hinde-Aitchison, pl.1, figs. C, D, F, P ; pl.4, figs. E, I ; pl.6, figs. B, R

2003 *Trilonche elegans* Hinde-Wang, pl.1, Figure 22, 23

2005 *Trilonche elegans* Hinde-Wonganan and Caridroit, pl.2, Figure 3

2015 *Trilonche elegans* Hinde-Udchachon *et al.*, figs.7, 6-7

2017 *Trilonche elegans* Hinde-Thassanapak *et al.*, p.36 ; Figure 5a, 14 ; p.37, figs.5b, 13-14 ; p.39, figs.5d, 5-6

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม มีรูพรุนขนาดเล็กสม่ำเสมอ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันคล้ายกับใบมีด 3 แฉก ยาวปลายแหลมเท่ากัน มีจำนวน 4-6 แห่ง โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ หนามขนาดใหญ่แต่ละแห่งจะวางตัวทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Givetian-Famennian) พื้นที่ทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย พื้นที่แผ่นธรณี Gamilaroi ตามแนวเทือกเขา New England orogen ทางด้านตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย อายุดีโวเนียนตอนต้นถึงตอนกลาง และพื้นที่ทางตะวันออกของรัฐ New South Wales ประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนกลาง (Givetian)

Trilonche hindea (Hinde, 1899)

(Figure 4: 20-21, 24 and figure 5: 9)

1899 *stylosphaera vetusta* Hinde-Hinde, p.46, pl.8, Figure 10

1975 *Entactinosphaera vetusta* (Hinde)-Nazarov, p.64-65, pl.5, figs.8-10 ; pl.6, figs.9-11

1991 *Entactinosphaera vetusta* (Hinde)-Li and Wang, pl.1, figs.15, 16 ; pl.2, figs.9-11

1997 *Trilonche hindea* (Hinde)-Aitchison and Stratford, p.374, figs.2-9, 2

1999 *Trilonche hindea* (Hinde)-Aitchison *et al.*, pl.2, figs.J, R ; pl.3,

Figure E ; pl.5, figs.F, H ; pl.6, figs.K, O, Q

2005 *Trilonche hindea* (Hinde)-Wonganan and Caridroit, pl.3, figs.10, 11, 17, 18, 21, 22, 25

2012 *Trilonche hindea* (Hinde)-Thassanapak *et al.*, figs.7 ; 22-25

2017 *Trilonche hindea* (Hinde)-Thassanapak *et al.*, figs.5a ; 15-16, Figure 5b ; 15, figs.5d ; 7-8

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นยาวออกมาจากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน คล้ายกับใบมีด 3 แฉก ปลายแหลม มีจำนวน 4-6 แห่ง โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ มีหนามขนาด

ใหญ่ที่มีความยาวกว่าชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้จัดจำแนก
เรดิโอลาเรียนชนิดนี้

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่
หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย
พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ของประเทศไทย
มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Givetian-Farmenian)
พื้นที่แผ่นธรณี Gamilaroi ตามแนวเทือกเขา New England
orogen ทางด้านตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย อายุ
ดีโวเนียนตอนต้นถึงตอนกลาง และพื้นที่ทางตะวันออกของ
New South Wales ประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียน
ตอนกลาง (Givetian)

Trilonche palimbola (Foreman, 1963)

(Figure 4: 18, 19 and figure 5: 9)

1963 *Entactinosphaera palimbola* Foreman-Foreman, pl.2, figs.3a-d,
figs.7a-e

1987 *Entactinosphaera palimbola* Foreman-Gourmaelon, pl.4, figs.7-10

1993 *Entactinosphaera palimbola* Foreman-Sashida *et al.*, figs.4-10

1998 *Entactinosphaera palimbola* Foreman-Sashida *et al.*, figs.17, 18

2005 *Trilonche palimbola* (Foreman)-Wonganan and Caridroit, pl.3,
figs.3-5

2012 *Trilonche palimbola* (Foreman)-Thassanapak *et al.*, figs.7 ; 20-21

2015 *Trilonche palimbola* (Foreman)-Udchachon *et al.*, figs.7 ; 10, 11

2017 *Trilonche palimbola* (Foreman)-Thassanapak *et al.*, p.36, Figure
5a, 17 ; p.37, figs.5b, 16, 17 ; p.39, figs.5d, 10,11

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม
มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออก
มาจากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลาง
ร่วมกัน คล้ายกับใบมีด 3 แฉก มีลักษณะยาวปลายแหลม
มีจำนวน 4-6 แฉก โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่น
คือ มีหนามขนาดใหญ่ที่มีขนาดใหญ่ แข็งหนา และยาวกว่า
แฉงอื่นๆ จำนวน 1 แฉก

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่
หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่ตอนกลาง
ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีอายุดีโวเนียนตอน
ปลาย (Frasnian) พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่
ภาคเหนือของประเทศไทย มีอายุดีโวเนียนตอนกลางถึงตอน
ปลาย (Givetian-Famennian) พื้นที่ทางตอนเหนือของรัฐ
Bavaria ประเทศเยอรมัน พื้นที่ของหมวดหิน Gogo บริเวณ
แอ่ง Canning Basin ทางด้านตะวันออกของประเทศ
ออสเตรเลีย และพื้นที่หมู่หิน Huron บริเวณ Ohio Shale ของ
ประเทศสหรัฐอเมริกา มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย

Trilonche vetusta Hinde (1899), emend. Aitchison and Stratford

(1997)

(Figure 4: 27)

1899 *Trilonche vetusta* Hinde-Hinde, p.48, pl.8, figs.18, 19

1997 *Trilonche vetusta* Hinde-Aitchison and Stratford, p.374, figs.2: 1,
2 ; figs.3: 1, 2

1999 *Trilonche vetusta* Hinde-Aitchison *et al.*, pl.2, figs. J, R ; pl.3, figs.
E ; pl.5, figs. F, H ; pl.6, figs. K, O, Q

2003 *Trilonche vetusta* Hinde-Wang *et al.*, pl.1, figs. 25-30

2005a *Trilonche vetusta* Hinde-Wonganan and Caridroit, Figure 3: 6

2005b *Trilonche vetusta* Hinde-Wonganan and Caridroit, pl.3, figs. 6-9,
19

2017 *Trilonche vetusta* Hinde-Thassanapak *et al.*, figs.5a: 18, 19 ;
figs.5d: 14, 15

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม
มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมา
จากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน
คล้ายกับใบมีด 3 แฉก ยาวปลายแหลม มีจำนวน 4-6 แฉก ที่มี
ความยาวเท่ากัน โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นของ
หนามขนาดใหญ่ 1 แฉกที่เบี่ยงออกมาจากระนาบในแกนตั้ง

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่
หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย
พื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ของประเทศไทย
มีอายุดีโวเนียนตอนกลางและตอนปลาย (Givetian-
Famennian) พื้นที่ของหมวดหิน Tanhe ในเมือง Nanning
มณฑลกว่างซี (Guangxi) บริเวณทางด้านตะวันตกเฉียงใต้
ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนต้นถึง
ตอนกลาง (Early-Middle Devonian) และพื้นที่แผ่นธรณี
Gamilaroi ตามแนวเทือกเขา New England orogen ทาง
ด้านตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียน
ตอนกลางถึงตอนปลาย

Trilonche sp. cf. T. vachardi Wonganan and Caridroit, 2005

(Figure 5: 11)

cf. 1999 *Entactinosphaera* aff. *E. vetusta* (Hinde)-Yao and Kuwahara,
pl.1, Figure 19

cf. 2005 *Trilonche vachardi* (Hinde)-Wonganan and Caridroit n. sp.,
pl.2, figs. 9-12

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มี
ความชำรุดแตกหัก อย่างไรก็ตามลักษณะของตัวอย่างมีความ
คล้ายคลึงที่สามารถเทียบเคียงได้กับ *Trilonche vachardi*
Wonganan and Caridroit คือมีลักษณะเปลือกนอกกลม
มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมา
จากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน
คล้ายกับใบมีด 3 แฉก ลักษณะยาวปลายแหลม โดย
เรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ มีการบิด (twisted)
ของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมา

สถานที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้า
ตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย พื้นที่

อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และพื้นที่ทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnain to Famennian)

Trilonche sp.

(Figure 5: 13-14)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกที่เกิดจากก้านภายในที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันคล้ายกับใบมีด 3 แฉก ลักษณะยาวปลายแหลม ลักษณะของใบมีดบางชนิดจะบางและหนา ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของสกุลนี้ โดยที่ตัวอย่างเหล่านี้ไม่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะที่จะสามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย อายุดีโวเนียนตอนปลายถึงตอนต้นคาร์บอนิเฟอรัส

Genus *Triaenosphaera* Deflandre (1973)

Type species: *Triaenosphaera sicarius* Deflandre (1973)

Triaenosphaera sicarius Deflandre (1973)

Figure 4: 8-10

1973 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Deflandre, pl.2, figs. 3-4

1978 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Holdsworth *et al.*, p.781, figs.2 ; a-c

1986 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Gourmelon, pl.2, Figure 1

1987 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Gourmelon, pl.6, figs. 1-4

1988 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Schmidt-Effing, pl.3, Figure 5

1990 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Braun, pl.11, figs. 8-9

1993 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Braun and Schmidt-Effing, pl.1, Figure 9

2001 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Liu, pl.2, figs. 5-9

2004 *Triaenosphaera sicarius* Deflandre-Feng *et al.*, pl.2, figs. 1-2

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลมขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ยาวที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกรูปร่างคล้ายกรวย (cone-shaped) มีลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉกที่มีความหนาของใบมีด มีจำนวน 4 แห่ง โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ การวางตัวทำมุมซึ่งกันและกันของหนามขนาดใหญ่ในรูปแบบ tetrahedral คือหนามขนาดใหญ่จำนวน 3 แห่ง มีลักษณะการวางตัวทำมุมซึ่งกันและกันเป็นฐานสามเหลี่ยม และหนามขนาดใหญ่จำนวน 1 แห่ง จะตั้งตรงตามแนวระนาบแกนตั้ง ซึ่งจะมีความแตกต่างจาก *Trilonche vetusta* Hinde ที่มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่เบี่ยงออกมาจากระนาบในแกนตั้ง และจำนวนของหนามขนาดใหญ่ในสกุล *Trilonche*

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่ประเทศ

ฝรั่งเศส (France) พื้นที่ประเทศเยอรมัน (Germany) และพื้นที่ทางตอนใต้และตะวันตกเฉียงใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน และพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย (Feng *et al.*, 2004) มีอายุดีโวเนียนตอนปลายถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Famennian-Tournaesian)

Triaenosphaera sp.

(Figure 4: 11)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลมขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกรูปร่างคล้ายกรวยลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก และมีหนามขนาดใหญ่ที่วางตัวทำมุมซึ่งกันและกันคล้ายกับฐานสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของสกุลนี้ โดยที่ตัวอย่างนี้ไม่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะที่จะสามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุดีโวเนียนตอนปลายถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Late Devonian to Early Carboniferous)

Genus *Tlecerina* Furutani (1983)

Type species: *Tlecerina horrida* Furutani (1983)

Tlecerina sp.

(Figure 4: 12)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลมขนาดเล็ก มีหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นยาวออกมาจากเปลือกนอก มีลักษณะเป็นก้าน (rod-like long spine) และมีลักษณะของหนามขนาดเล็ก (thorn-like) ที่มีขนาดสั้นหนาปกคลุมเปลือกนอก ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของสกุลนี้ โดยที่ตัวอย่างนี้ไม่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะที่จะสามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตตัวอย่างบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย อายุดีโวเนียนตอนปลายถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

Genus *Belowea* Won (1963)

Type species: *Belowea variabilis* (Ormiston & Lane, 1976)

Belowea variabilis (Ormiston and Lane, 1976)

(Figure 4: 3)

1976 *Cromyostylus? variabilis* Ormiston and Lane - Ormiston and Lane, Taf. 4, figs. 7-11

1983 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976) - Won, Taf. 5, figs. 1-5, Taf. 13, figs. 3-5

1983 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976) - Won, Taf. 2, figs. 17-22, Taf. 13, Figure 8

1990 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976) - Won, pl. 6, figs. 5-13

2001 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976) - Liu, pl. 1, figs. 1-3, pl. 2, Figure 15, pl. 3, Figure 1
 2002 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976) - Li *et al.*, pl. 1, figs. 16-17

ลักษณะสัณฐานวิทยา: มีลักษณะเปลือกนอกค่อนข้างกลมรี (subspherical-cortical shell) มีรูพรุนขนาดเล็กถึงเล็กมากคล้ายฟองน้ำ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นยาวออกมาจำนวน 2 แห่ง อยู่ตรงข้ามกัน โดยเรดิโอลาเรียงชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ด้านหนึ่งมีขนาดใหญ่คล้ายกรวยยาวปลายแหลมลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก ยาวและหนา ส่วนหนามขนาดใหญ่อีกด้านหนึ่งมีลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก ยาวและบาง

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่ศึกษาหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่เมือง Riescheid ในประเทศเยอรมัน และพื้นที่ Heiyingshan ทางตอนใต้ของเทือกเขา Tianshan สาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

Belowea sp. cf. B. variabilis (Ormiston and Lane, 1976)
 (Figure 4: 4-6)

cf. 1976 *Cromyostylus? variabilis* Ormiston and Lane-Ormiston and Lane, Taf. 4, figs. 7-11
 cf. 1983 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976)-Won, Taf. 5, figs. 1-5, Taf. 13, figs. 3-5
 cf. 1983 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976)-Won, Taf. 2, figs. 17-22, Taf. 13, Figure 8
 cf. 1990 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976)-Won, pl. 6, figs. 5-13
 cf. 2001 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976)-Liu, pl. 1, figs. 1-3, pl. 2, Figure 15, pl. 3, Figure 1
 cf. 2002 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane, 1976)-Liu *et al.*, pl. 1, figs. 16-17

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มีความชำรุดแตกหัก อย่างไรก็ตามลักษณะของตัวอย่างมีความคล้ายคลึงที่สามารถเทียบเคียงได้กับ *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane) คือมีลักษณะเปลือกนอกค่อนข้างกลมรี (subspherical-cortical shell) มีรูพรุนขนาดเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นยาวออกมา 2 แห่ง อยู่ตรงข้ามกัน ซึ่งตัวอย่างที่ได้จากการมีความชำรุดจึงทำให้สังเกตเห็นลักษณะของหนามด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น คือจะมี 1 แห่ง ขนาดใหญ่คล้ายกรวยยาวปลายแหลม มีลักษณะของใบมีด 3 แฉกที่มีความหนา และอีก 1 แห่ง มีลักษณะบางยาว มีลักษณะของใบมีด 3 แฉกแบบบาง

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่ศึกษาหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พื้นที่เมือง Riescheid ในประเทศเยอรมัน และพื้นที่ Heiyingshan ทางตอนใต้ของเทือกเขา Tianshan สาธารณรัฐประชาชนจีน มีอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

Belowea sp.
 (Figure 4: 7)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: มีลักษณะเปลือกนอกค่อนข้างกลมรี มีรูพรุนขนาดเล็กถึงเล็กมากคล้ายฟองน้ำ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นยาวออกมาลักษณะคล้ายกับกรวยจำนวน 2 แห่ง อยู่ตรงข้ามกัน ลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของสกุลนี้ โดยที่ตัวอย่างนี้ไม่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะที่จะสามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่ศึกษาหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อายุมีคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

Family Polyentactiniidae Nazarov (1975)

Genus *Polyentactinia* Foreman (1963)

Type species: *Polyentactinia invenusta* Aitchison (1993)

Polyentactinia invenusta Aitchison (1993)

(Figure 5: 19)

1993 *Polyentactinia invenusta* Aitchison-Aitchison, pl.6, Figure 9 ; pl. 7, Figure 19

2017 *Polyentactinia invenusta* Aitchison-Thassanapak *et al.*, figs.5a, 26-28 ; Figure 5b, 3

ลักษณะสัณฐานวิทยา: มีลักษณะเปลือกนอกกลมบางขนาดใหญ่ (thin-spherical cortical shell) มีรูพรุนขนาดเล็กไม่เท่ากัน โดยลักษณะเด่นของเรดิโอลาเรียงชนิดนี้คือ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกจะแสดงลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก เพียงเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้นที่มีความยาวประมาณ 1 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด แล้วหลังจากนั้นจะมีลักษณะเป็นก้านแหลมเรียวยาวไปจนสุดความยาวจำนวน 4-6 ก้าน

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่ศึกษาหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุตอนปลายยุคดีโวเนียนตอนปลาย (Farsnian-Famennian) พื้นที่แอ่งของขอบแผ่นธรณีอินโดจีนตามแนวชั้นหินคดโค้งเลย ทางด้านตะวันออกของจังหวัดเลย และพื้นที่หมวด Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางภาคตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian)

Polyentactinia tenera Aitchison (1993)
(Figure 5: 20-24)

1993 *Polyentactinia tenera* Aitchison-Aitchison, pl. 7, figs. 2, 14, 18
2017 *Polyentactinia tenera* Aitchison-Thassanapak *et al.*, Figure 5a, 25

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม โดยเรดิโอลาเรียนชนิดนี้มีลักษณะเด่นคือ มีรูพรุนขนาดเล็กคล้ายฟองน้ำ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกกลมเรียวยาวมากคล้ายเข็ม (long-rod like) มีจำนวน 4-6 ก้าน ที่วางตัวในลักษณะทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน (perpendicular) อย่างชัดเจน

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Farsnian-Famennian) พื้นที่แอ่งของขอบแผ่นธรณีอินโดจีนตามแนวชั้นหินคดโค้งเลย ทางด้านตะวันออกของจังหวัดเลย พื้นที่หมวด Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางภาคตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian)

Polyentactinia sp. cf. P. leptosphaera Foreman (1963)
(Figure 4: 13-14)

cf. 1963 *Polyentactinia leptosphaera* Foreman-Foreman, pl.1, Figure 6
cf. 2009 *Costaentactinia? leptosphaera* (Foreman)-Seo and Won, pl.1, figs. 13-20
cf. 2015 *Polyentactinia leptosphaera* (Foreman)-Khattamart *et al.*, figs.4 ; 4-5

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มีความชำรุด อย่างไรก็ตามลักษณะของตัวอย่างมีความคล้ายคลึงที่สามารถเทียบเคียงได้กับ *Polyentactinia leptosphaera* Foreman คือมีลักษณะเปลือกนอกกลม ซึ่งเรดิโอลาเรียนชนิดนี้มีลักษณะเด่นคือ มีรูพรุนขนาดใหญ่และเล็ก มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกกลมเรียวยาว มีจำนวน 4-6 ก้าน โดยมีความแตกต่างจาก *Polyentactinia tenera* Aitchison บริเวณลักษณะของรูพรุน ความยาวของหนามขนาดใหญ่ และการวางตัวของหนามขนาดใหญ่ที่ไม่ได้ทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา และพื้นที่บ้านห้วยบ่อซืน อำเภอปากชม จังหวัดเลย อายุดีโวเนียนตอนปลาย

Polyentactinia sp.
(Figure 4: 15)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะเปลือกนอกกลม

มีรูพรุนขนาดเล็กคล้ายฟองน้ำถึงขนาดใหญ่ มีลักษณะของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาจากเปลือกนอกกลมเรียวยาว และยาวคล้ายปลายเข็ม ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานทั่วไปของเรดิโอลาเรียนสกุลนี้ อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่สกัดได้ไม่แสดงลักษณะเฉพาะที่สามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงาน และช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย

Family Palaeosconidiidae Riedel (1967) ; emend. Holdsworth (1977), Furutani (1983), Goodbody (1986)

Genus *Palaeosconidium* Deflandre (1953), emend. Goodbody (1986)

Type species: *Palaeosconidium cladophorum* Deflandre (1953)

Palaeosconidium sp.

(Figure 5: 18)

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ไม่พบลักษณะของเปลือกนอก มีลักษณะการวางตัวของโครงร่างแข็งเหมือนกระโจม โดยที่ลักษณะก้านด้านบนประสานกันเป็นกระจุกจำนวน 3-4 ก้าน แต่ละก้านเรียวยาวและมีลักษณะของโครงสร้างคล้ายหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นออกมาบริเวณด้านปลายส่วนฐานแต่ละก้าน อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่สกัดได้ไม่แสดงลักษณะเฉพาะที่สามารถระบุถึงระดับชนิดได้

สถานที่ที่มีการรายงานและช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย

Family Ceratoikiscidae Holdsworth (1969)

syn. Holociscidae Cheng (1986)

Genus *Ceratoikiscum* Deflandre (1953)

Type species: *Ceratoikiscum bujugum* Foreman (1963)

Ceratoikiscum sp. cf. C. bujugum Foreman (1963)

Figure 5: 16-17

cf. 1963 *Ceratoikiscum bujugum* Foreman-Foreman p. 288-290, Pl. 8, Figure 4, Pl. 9, Figure 9

cf. 1993 *Ceratoikiscum bujugum* Foreman-Aitchison, Pl. 4, Figure 13, 14

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มีความชำรุด อย่างไรก็ตามลักษณะของตัวอย่างมีความคล้ายคลึงที่สามารถเทียบเคียงได้กับ *Ceratoikiscum bujugum* Foreman คือมีลักษณะของโครงสร้างของหนามขนาดใหญ่ที่ยื่นเอามามีลักษณะเหมือนกันที่ทับกันเป็นรูปสามเหลี่ยม มีจำนวน 6 ก้าน กลมเรียวยาว (six long extra-triangular rod spine) แต่ตัวอย่างที่สกัดได้แสดงลักษณะของก้านที่ทับกันเพียง 3 ก้านเท่านั้น

สถานที่ที่มีการรายงานและช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย อายุดีโวเนียนตอนปลาย พื้นที่หมวด Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางภาคตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย และพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกา อายุดีโวเนียนตอนปลาย (Famennian)

Order Nessellaria Ehrenberg (1875)

Family Archocyrtidae Kozur and Moster (1981) emend. Cheng (1986)

Genus *Archocyrtium* Deflande (1972)

Type species: *Archocyrtium riedeli* Deflande (1972)

Archocyrtium sp.

Figure 4: 1

ลักษณะสัณฐานวิทยา: ลักษณะรูปร่างทรงกรวยหรือทรงหมวกม้า (cone shape or helmet shape) เปลือกนอกค่อนข้างกลม มีรูพรุนขนาดเล็ก มีหนามที่ยื่นยาวออกมาจากเปลือกนอก ซึ่งมีลักษณะคล้ายใบมีด 3 แฉก โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ หนามด้านบนมี 1 แห่ง ขนาดยาวเรียว ตั้งขึ้นตามแบบรูปร่างของทรงกรวย และส่วนล่างมี 3 แห่ง ขนาดยาวโค้งเล็กน้อย เรียกว่า tripod อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่มีการชำรุดแตกหักจึงไม่สามารถระบุได้ถึงระดับชนิด

สถานที่ที่มีการรายงานและช่วงอายุ: พื้นที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผา อำเภอปากชม จังหวัดเลย อายุดีโวเนียนตอนปลายถึงคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น

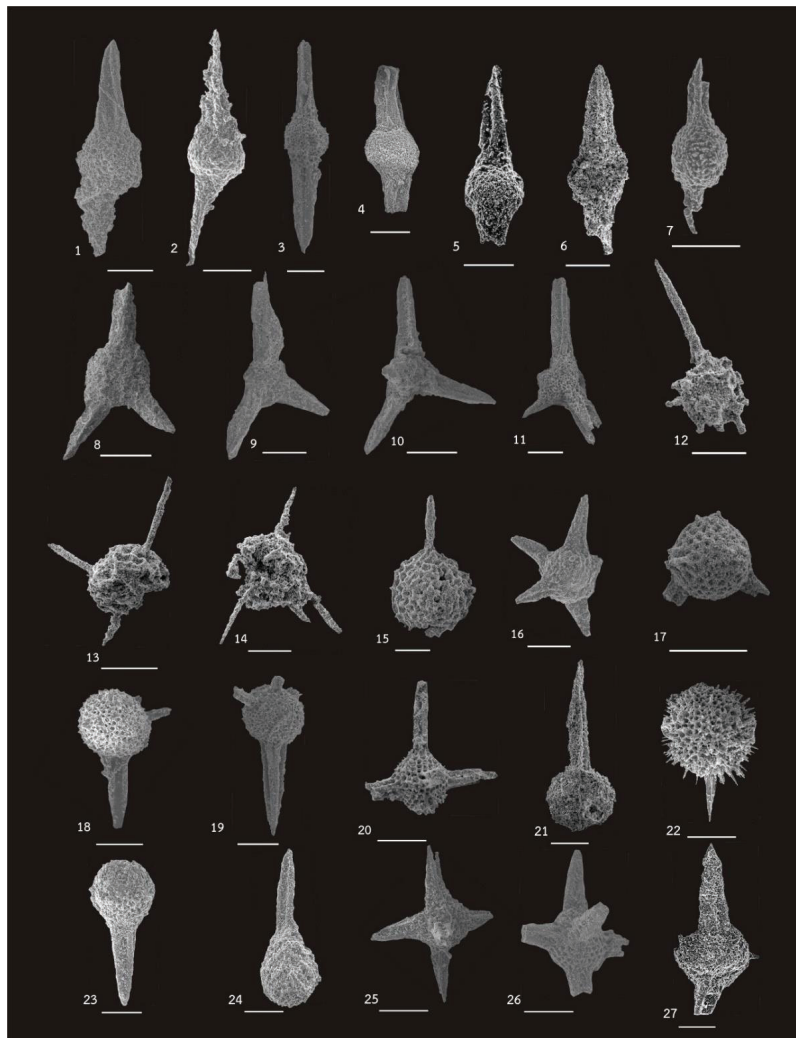


Figure 4 Scanning electron micrographs of radiolarians from the Ban Wang Pha chert section (SB01-S1(2)07) (all scale bars = 100 μ m). 1,2= *Archocyrtium* sp. (1= SB04, 2= SB06). 3= *Belowea variabilis* (SB07). 4, 5, 6= *Belowea* sp. cf. *B. variabilis* (4, 5= SB01, 6= SB04). 7= *Belowea* sp. (SB06). 8, 9, 10= *Triaenosphaera sicarius* (S1(2)07). 11= *Triaenosphaera* sp. (SB07). 12= *Tlecerina* sp. (SB05). 13, 14= *Polyentactinia* sp. cf. *P. leptosphaera* (SB05). 15= *Polyentactinia* sp. (SB02). 16= *Stigmosphaerostylus pusillus* (SB04). 17= *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* (SB02). 18, 19= *Trilonche palimbola* (18= S1(2)04, 19= SB01). 20, 21= *T. hindea* (20= SB01, 21= SB03). 22= *T. echinata* (SB05). 23= *T. palimbola* (SB04). 24= *T. hindea* (SB03). 25, 26= *T. elegans* (25= S1(2)07, 26= SB02). 27= *T. vetusta* (SB01).

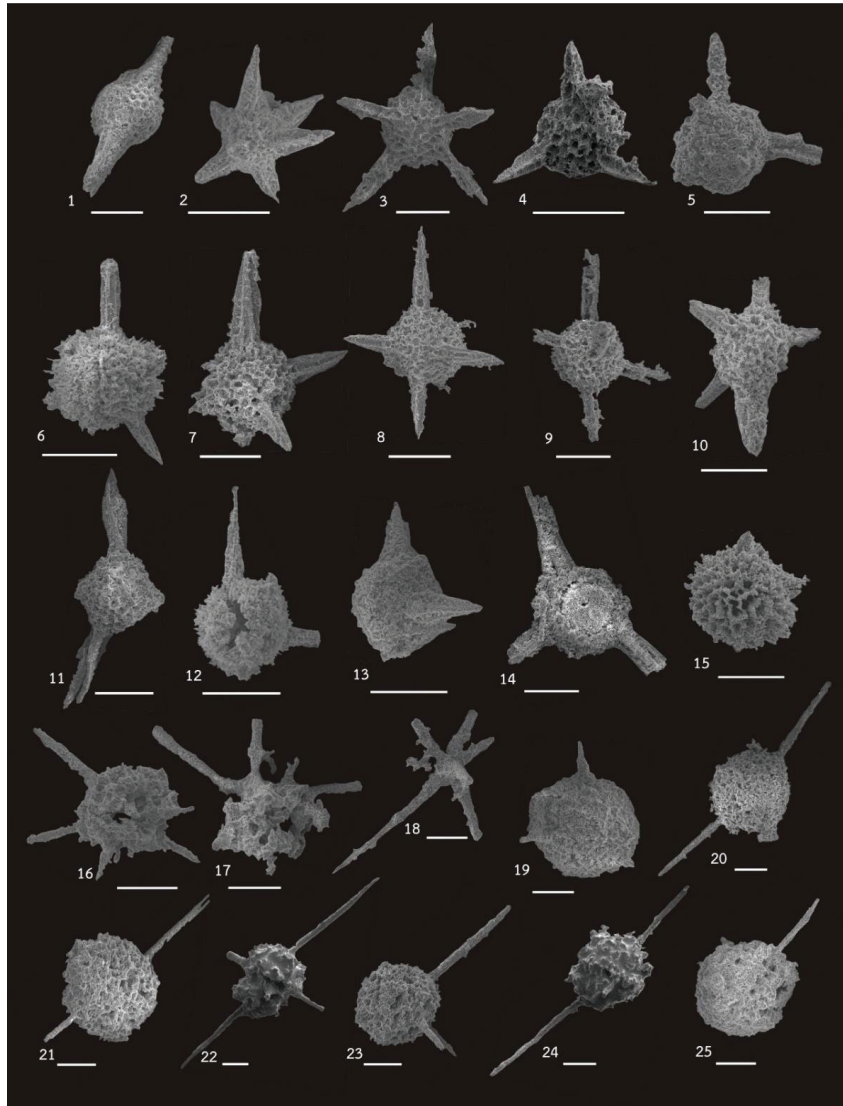


Figure 5 Scanning electron micrographs of radiolarians from the Ban Wang Pha chert section (S401-S902) (all scale bars = 100 μ m). 1= *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* (SB09). 2, 3= *S. pusillus* (2= S401, 3= S901). 4, 5= *Stigmosphaerostylus* sp. (4= S902, 5= S901). 6= *Trilonche echinate* (S401). 7, 8= *T. elegans* (S901). 9= *T. hindea* (S901). 10= *T. palimbola* (S901). 11= *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* (S901). 12= *T. echinate* (S401). 13, 14= *Trilonche* sp. (13= S502, 14= S602). 15= *T. echinate* (S901). 16, 17= *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* (16= S902, 17= S901). 18= *Paleoscenidium* sp. (S901). 19= *Polyentactinia invenusta* (S503). 20-24= *P. tenera* (20= S901, 21= S902, 22-24= S901). 25= *Polyentactinia* sp. (S902)

อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนจากหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผาสามารถจัดจำแนกตามอนุกรมวิธานได้ทั้งหมด 9 สกุล 17 ชนิด ได้แก่ *Archocyrtium* sp., *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane), *Belowea* sp., *Belowea* sp. cf. *B. variabilis* (Ormiston and Lane), *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* Foreman, *Paleoscenidium* sp., *Polyentactinia invenusta* Aitchison, *P. tenera* Aitchison, *Polyentactinia* sp., *Polyentactinia* sp. cf. *P. leptosphaera* Foreman,

Stigmosphaerostylus pusillus (Hinde), *S. variospina* (Won), *Stigmosphaerostylus* sp., *Trienosphaera sicarius* Deflandre, *Trienosphaera* sp., *Trilonche echinate* (Hinde), *T. elegans* Hinde, *T. hindea* (Hinde), *T. palimbola* (Foreman), *T. vetusta* Hinde, *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* Wongan and Caridroit, *Trilonche* sp., *Tlecerina* sp. และ Entactiniidae gen. et sp. indet. โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณกลางเขา และยอดเขา พบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนชนิด *Polyentactinia tenera* Aitchison, *P. invenusta* Aitchison, *Polyentactinia* sp., *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum*, *Trilonche echinate* (Hinde), *T. elegans* Hinde, *T. hindea* (Hinde), *T. palimbola* (Foreman), *T. vetusta* Hinde, *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* Wonganan and Caridroit, *Trilonche* sp., *Stigmosphaerostylus pusillus* (Hinde), *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* (Won), *Stigmosphaerostylus* sp. และ Entactiniidae gen. et sp. indet ที่ยังไม่สามารถระบุได้ โดยที่หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณกลางเขา และยอดเขานี้มีซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่สำคัญ ได้แก่

1.1 *Polyentactinia tenera* Aitchison มีรายงานอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian) บริเวณหมวดหิน Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางด้านตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย (Aitchison, 1993)

1.2 *Polyentactinia invenusta*. Aitchison มีรายงานอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian) บริเวณหมวดหิน Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางด้านตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย (Aitchison, 1993) และแนวชั้นหินคดโค้งเลยบริเวณขอบแผ่นธรณีอินโดจีนในจังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Thassanapak et al., 2017)

1.3 *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* Foreman มีรายงานอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian) บริเวณหมวดหินบริเวณหมวดหิน Gogo บริเวณแอ่ง Canning Basin ทางด้านตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย (Aitchison, 1993)

1.4 *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* Wonganan and Caridroit มีรายงานอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnain-Famenian) บริเวณอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย

ดังนั้นหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณกลางเขา และยอดเขานี้ สามารถระบุอายุจากซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่พบได้ มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnain-Famenian)

2. หน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณเชิงเขาพบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนชนิด *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane), *Belowea* sp., *Belowea* sp. cf. *B. variabilis* (Ormiston and Lane), *Trienosphaera sicarius* Deflandre, *Trienosphaera* sp., *Polyentactinia* sp. cf. *P. leptosphaera* Foreman, *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* (Won), *S. pusillus* (Hinde), *Trilonche palimbola* (Forman), *T. hindea* (Hinde), *T. elegans* Hinde, *T. vetusta* Hinde, *T. echinate* (Hinde), *Trilonche* sp., *Archocyrtium* sp., *Paleoscenidium* sp., *Tlecerina* sp. และ Entactiniidae gen. et sp. indet ที่ยังไม่สามารถระบุได้

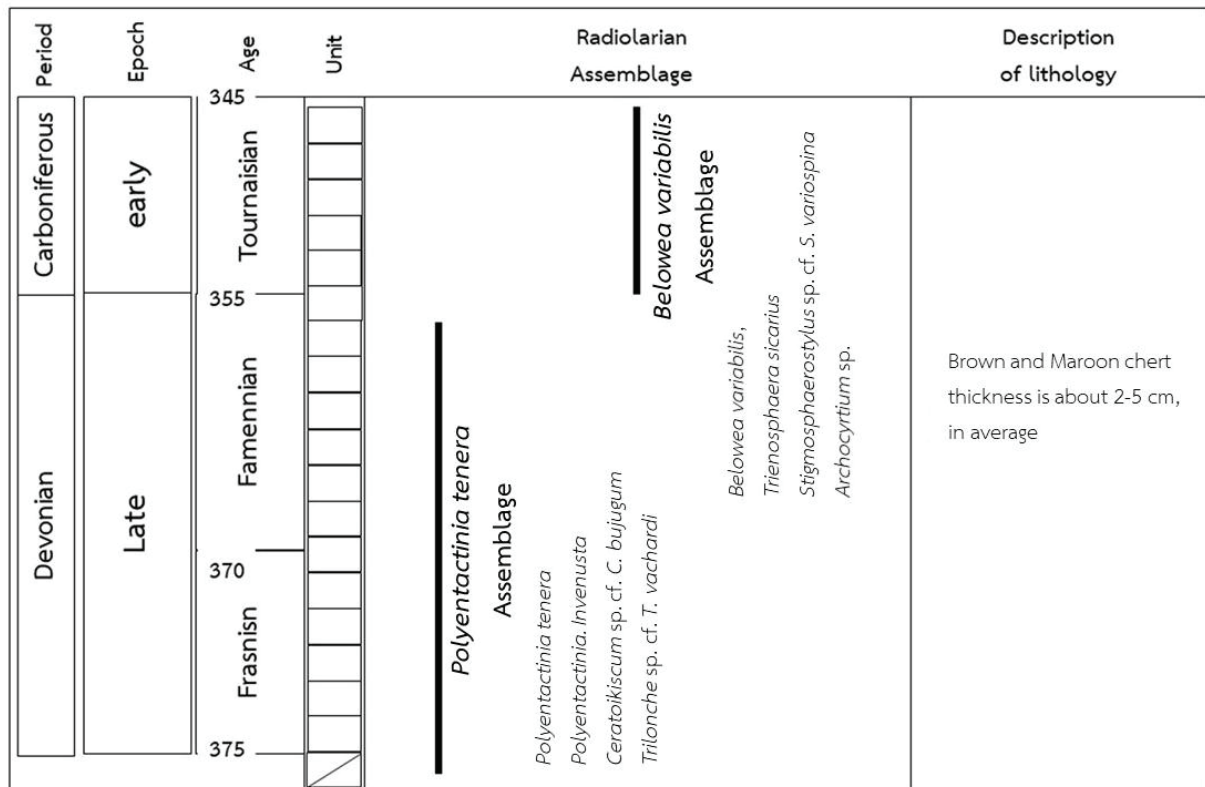


Figure 6 Late Devonian to early Carboniferous radiolarian assemblages.

โดยหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณเชิงเขาที่มีซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่เป็นซากดึกดำบรรพ์ดัชนี (index fossil) สำคัญ ได้แก่

2.1 *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane) และ *Trienosphaera sicarius* Deflandre มีรายงานอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (early Carboniferous) ในพื้นที่ Heiyingshan ทางตอนใต้ของเทือกเขา Tianshan สาธารณรัฐประชาชนจีน (Li *et al.*, 2002 ; Liu, 2010)

2.2 *Stigmosphaerostylus variospina* (Won) *Archocyrtium* sp. และ *Polyentactinia* sp. cf. *P. leptosphaera* Foreman มีรายงานอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Famennian) ในพื้นที่อำเภอปากชม จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Khattamart *et al.*, 2015 ; Saesaengseerung *et al.*, 2007 ; Sashida *et al.*, 1993)

ดังนั้นหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบริเวณเชิงเขาสามารถระบุอายุจากซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่พบได้ มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Famennian) ถึงอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (early Carboniferous)

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าหน้าตัดชั้นหินเชิร์ตบ้านวังผามีการสะสมตะกอนตั้งแต่อายุดีโวเนียนตอนปลายถึงอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น โดยสามารถจัดกลุ่มชีวินเรดิโอลาเรียนได้ดังนี้ คือ

กลุ่มที่ 1 กลุ่มชีวิน *Polyentactinia tenera* Assemblage ประกอบด้วย *Polyentactinia tenera* Aitchison, *P. invenusta* Aitchison, *Ceratoikiscum* sp. cf. *C. bujugum* Foreman ร่วมกับ *Trilonche* sp. cf. *T. vachardi* Wonganan and Caridroit มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Frasnian-Famennian)

กลุ่มที่ 2 กลุ่มชีวิน *Belowea variabilis* Assemblage ประกอบด้วย *Belowea variabilis* (Ormiston and Lane), *Trienosphaera sicarius* Deflandre, *Archocyrtium* sp. และ *Stigmosphaerostylus* sp. cf. *S. variospina* (Won) มีอายุดีโวเนียนตอนปลาย (Famennian) ถึงอายุคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (early Carboniferous) (Figure 6)

จากข้อมูลอายุที่สรุปได้จากการศึกษาและจัดจำแนกกลุ่มชีวินซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียน บริเวณพื้นที่บ้านวังผา พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางธรณีเคมี (Geochemical analyses) ของหินเชิร์ตตามแนวชั้นหินคดโค้ง

เลย ที่แสดงถึงการสะสมตะกอนตั้งแต่อายุดีโวเนียนตอนปลายเป็นต้นมา (Udchachon *et al.*, 2011)

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาชีพวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวิน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และเครื่องมือกลาง งานบริการวิชาการและวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. (2555). ธรณีวิทยา จังหวัดเลย และแหล่งอนุรักษ์ธรณีวิทยา. ใน *เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ความรู้ธรณีวิทยา*. สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- หทัยทิพย์ ทศนภักดิ์. (2555). การใช้ข้อมูลกลุ่มชีวินเรดิโอลาเรียนเพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาด้านวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 40(1), 1–12.
- Aitchison, J. C. (1993). Devonian (Frasnian) radiolarians from the GoGo Formation, Caning Basin, Western Australia. *Palaeontographica Abt*, 228, 105–128.
- Aitchison, Jonathan C, and Stratford, J. M. C. (1997). Middle Devonian (Givetian) Radiolaria from eastern New South Wales, Australia ; A reassessment of the Hind (1899) fauna. *Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie*, 203(3), 369–390.
- Bunopas, S. (1992). Regional stratigraphic correlation Thailand. In *National Conference on "Geologic of Mineral Resources"*, 189–208.
- Caridroit, M., Fontaine, H., Jongkanjanasontorn, Y., Suteethorn, V., and Vachard, D. (1990). First results of a palaeontological study of Northwest Thailand. In *CCOP Technical Secretariat*, 337–350
- Cheng, Y. N. (1986). Taxonomic studies on Upper Paleozoic Radiolaria. *National Museum of Nature Science*, 1, 1–311.
- De wever, P., Dumitric, A. P., Caulet, J. P., Nigrini, C., and Caridroit, M. (2001). *Radiolarians in the Sedimentary Record*. Gordon and Breach Science Publisher.

- Deflandre, G. (1953). Radiolaires fossiles. In Grasse (Eds.), *Traite de Zoologie* (pp. 389–436).
- Deflandre, G. (1972). Remarques complementaires sur la morphologie et la nomenclature de quelques genres de Radiolaires du Paleozoique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 275, 13–16.
- Ehrenberg, C.G. (1838). Über die Bildung der Kreidelfelsen und des Kreidemergels durch unsichtbare Organismen. *Königliche Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Abhandlungen, Jahrgang*, 1838, 59–147
- Ehrenberg, C.G. (1875). Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamtübersicht der mikroskopischen Paläontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mitspecieller Rücksicht auf den Polycyrtinen-Margel von Barbados. *Abhandlungen der Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Abhandlungen, Jahrgang* 1875, 1–226
- Feng, Q., Helmcke, D., Chonglakmani, C., Ingavat-Helmcke, R., and Liu, B. (2004). Early Carboniferous radiolarians from north-west Thailand: Palaeogeographical implications. *Palaeontology*, 47(2), 377–393. <https://doi.org/10.1111/j.0031-0239.2004.00370.x>
- Foreman, H.P. (1963). Upper Devonian Radiolaria from the Huron member of the Ohio shale. *Micropaleontology*, 9(3), 267–304.
- Furutani, H. (1983). Middle Palaeozoic Palaeosceniidae (Radiolaria) from Mt. Yokokura, Shikoku, Japan. Part 1. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan (Nihon Koseibutsu Gakkai Hokoku Kiji)*, 130, 96–116.
- Goodbody, Q.H. (1986). Wenlock Paleosceniidae and Entactiniidae (Radiolaria) from the Cape Phillips Formation of the Canadian Arctic Archipelago. *Micropaleontology*, 32(2), 129–157.
- Hinde, G.J. (1899). On the Radiolaria in the Devonian rock of New South Wales. *Geological Society of London Quarterly Journal*, 55, 38–64.
- Holdsworth, B.K. (1969). The relationship between the genus *Albaillella* Deflandre and the ceratohiscid Radiolaria. *Micropaleontology*, 15(2), 230–236.
- Holdsworth, B.K. (1977). Paleozoic Radiolaria: stratigraphic distribution in Atlantic Borderland. In *Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderlands* (pp. 167–184). Elsevier.
- Khattamart, S., Udchachon, M., and Thassanapak, H. (2015). Late Devonian radiolarians from a chert sequence in Pak Chom district of Loei Province, Northeastern Thailand: A preliminary result. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 35(1), 1–11
- Li, Y., Wang, Z., Wu, H., Huang, Z., Tan, Z., and Luo, J. (2002). Discovery of Radiolarian Fossils from the Aiketik Group at the Western End of the South Tianshan Mountains of China and Its Implication. *Acta Geologica Sinica*, 76(2), 146–154.
- Liu, Y. (2010). Early Carboniferous Radiolarian Fauna from Heiyingshan South of the Tianshan Mountains and Its Geotectonic Significance. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 75(1), 101–108. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2001.tb00511.x>
- Müller, J. (1858). Über die Thalassicoleen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres. *Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Abhandlungen, Jahrgang* 1838, 157–155
- Pessagno, J. E., & Newport, R. L. (1972). A new technique for extracting radiolarian from radiolarian chert. *Micropaleontology*, 18(2), 231–234.
- Riedel, W. R. (1967). Protozoa. In W.B. Harland and others (Ed.), *Protozoa* (pp. 649–661). Cambridge University Press.
- Saesaengseerung, D., Sashida, K., and Sardud, A. (2007). Late Devonian to Early Carboniferous radiolarian fauna from the Pak Chom area, Loei Province, northeastern Thailand. *Paleontological Research*, 11(2), 109–121.
- Sanjit, P., Wonganan, N., and Thasod, Y. (2014). Devonian radiolarian faunas in Pai Area, Mae Hong Son Province, Northern Thailand: Paleogeographic implication. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 33(4), 393–402.

- Sashida, K., Igo, H., Hisafa, K. I., Nakornsri, N., and Ampornmaha, A. (1993). Occurrence of paleozoic and early mesozoic radiolaria in Thailand (preliminary report). *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8(1–4), 97–108. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(93\)90011-D](https://doi.org/10.1016/0743-9547(93)90011-D)
- Thassanapak, H., Udchachon, M., Burrett, C., and Feng, Q. (2017). Geochemistry of radiolarian cherts from a Late Devonian continental margin basin, Loei fold belt, Indo-China terrane. *Journal of Asian Earth Science*, 28(1), 29–50. <https://doi.org/10.1007/s12583-017-0738-4>
- Udchachon, M., Burrett, C., Thassanapak, H., Chonglakmani, C., Campbell, H., and Feng, Q. (2014). Depositional setting and paleoenvironment of an alatoconchid-bearing Middle Permian carbonate ramp sequence in the Indochina Terrane. *Journal of Asian Earth Science*, 8, 37–55.
- Udchachon, M., Thassanapak, H., Feng, Q., and Chonglakmani, C. (2011). Geochemical constraints on the depositional environment of Upper Devonian radiolarian cherts from Loei, north-eastern Thailand. *Frontiers of Earth Science*, 5(2), 178–190. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0153-6>
- Won, M.-Z. (1983). Radiolarien aus dem Unterkarbon des Rheinischen Schiefergebirges (Deutschland). *Palaeontographica, Abteilung A: Palaeozoologie-Stratigraphie*, 182, 116–175.
- Wonganan, N., & Caridroit, M. (2005a). Devonian Radiolarians from Pai District Mae Hong Son.pdf. In *International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005)*, 637-648.
- Wonganan, N., & Caridroit, M. (2005b). Middle and Upper Devonian radiolarian faunas from Chiang Dao area, Chiang Mai province, northern Thailand. *Micropaleontology*, 51(1), 39–57. <https://doi.org/10.2113/51.1.39>.

การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง กรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี

Environmental quality monitoring in a project on refuse derived fuel (RDF): A case study of Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization, Chanthaburi province

จักรพันธ์ โพธิพัฒน์^{1*}, ภัทร ศรีสรวล^{2,4}, สุทินันท์ โสทวีถิ^{3,4}
Jakkapan Potipat^{1*}, Pattara Srisrual^{2,4}, Suttinun Sotwitee^{3,4}

Received: 7 April 2021 ; Revised: 5 May 2021 ; Accepted: 27 May 2021

บทคัดย่อ

การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงกำหนดขอบเขตการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็น คือ การจัดการมูลฝอยและการบำบัดน้ำเสีย ดำเนินการเก็บข้อมูลการคัดแยกมูลฝอยจากชุมชนจำนวน 22 ชุมชน และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝัง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 ถึง กันยายน 2563 วิเคราะห์ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดีและซีโอดี ผลการศึกษาการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยพบขยะทั่วไปสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย เท่ากับร้อยละ 24, 14 และ 1 ตามลำดับ ผลการติดตามตรวจสอบการบำบัดน้ำเสียชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อฝังไม่สามารถลดความสกปรกจากสารอินทรีย์ได้ โดยพบค่าบีโอดีและซีโอดีสูงและมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

คำสำคัญ: การตรวจติดตาม คุณภาพสิ่งแวดล้อม การจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง แก่งหางแมว

Abstract

The environmental quality monitoring from the project concerning refuse derived fuel (RDF) was divided into two issues ; solid waste management and wastewater treatment. The data for solid waste separation were collected from 22 communities. All wastewater samples from an oxidation pond wastewater treatment system were collected by using grab water technique during January 2020-September 2020. Seven water quality indicators were analyses ; temperature, pH, conductivity, total dissolved solid (TDS), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). The results revealed that the highest percent of general waste was 61%, while the percentages of organic waste, recycle waste and hazardous waste were 24%, 14% and 1% respectively. The result of wastewater treatment investigation indicated that the efficiency of the oxidation pond treatment system could not reduced organic substances as shown by both BOD and COD being higher than effluent standard within wet and dry seasons.

Keywords: Monitoring, Environmental quality, Refuse Derived Fuel (RDF), Kaeng Hang Maeo

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

² อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาการสื่อสารบูรณาการ คณะนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

⁴ สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Assist. Prof. Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

² Lecturer Department of Statistics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

³ Assist. Prof. Integrated Communication Program, Faculty of Communication Arts, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

⁴ The Office of Academic Service, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

* Corresponding author; Assist. Prof. Dr.Jakkapan Potipat Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000 Email: bomb1112@yahoo.com

บทนำ

จากรายงานสถานการณ์การกำจัดมูลฝอยของประเทศไทย ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีสถานที่กำจัดมูลฝอย จำนวนทั้งสิ้น 2,490 แห่ง เป็นการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ อย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary landfill) และหลุมกองเทเปิด (Open dumping sites) จำนวน 2,419 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 97.1 ของสถานที่กำจัดขยะทั้งหมด (อรทัย เชื้อวงศ์, และ คณะ, 2561) องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวดำเนิน โครงการบริหารจัดการขยะเพื่อให้บริการแก่ภาคประชาชน ด้วยวิธีการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF) และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีทางเลือกเพื่อคัด แยกมูลฝอยที่มีพลังงานสูงมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง ขยะเชื้อ เพลิง RDF เป็นขยะมูลฝอยที่มีกระบวนการและขั้นตอนที่ เป็นระบบ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีก หรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อเป็นการปรับปรุง และแปลงสภาพขยะให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้าน ค่าความร้อน (Heating value) ความชื้นขนาดและความหนา แน่นที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแส ไฟฟ้าหรือการผลิตพลังงานความร้อน (วสันต์ ปิเตนะ และ ดวงกมล ดั่งโพหนอง, 2559)

พื้นที่หรือสถานที่ที่ถูกนำมาใช้เพื่อพักขยะ คัดแยก ขยะ ตลอดจนการบำบัดหรือกำจัดมูลฝอยมีความเสี่ยงต่อ การเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะปัญหาน้ำชะขยะที่มีความสกปรกสูง สามารถแพร่ กระจายลงสู่แหล่งน้ำ พื้นดินและสามารถสะสมในระบบห่วง โซ่อาหารของระบบนิเวศได้ น้ำชะขยะนั้นเป็นน้ำเสียที่มีความ เข้มข้นของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสารที่มีความเป็น พิษอยู่สูงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยและระยะเวลาของ การกำจัด ถึงแม้ว่าในการออกแบบระบบการกำจัดขยะจะมี การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะและการป้องกัน การรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่การดำเนินงานในขั้นตอนอื่น ได้แก่ การคัดแยก การขนส่ง และจุดพักขยะเพื่อรอการ คัดแยกยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษชี้ให้เห็นว่าสถานที่กำจัดมูลฝอยและสถานี ขนถ่ายขยะของภาครัฐ จำนวน 371 แห่ง ถูกปิดการดำเนินงาน เนื่องจากไม่สามารถจัดการมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพและ ถูกต้องตามหลักวิชาการ ตลอดจนยังเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุมชนท้องถิ่นส่งผลกระทบต่อทั้งในระดับ หมู่บ้านและครัวเรือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและวางแผนการจัดการมูลฝอย อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดผลกระทบต่อคุณภาพ สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาหมอกพิษทางน้ำจากการปนเปื้อน ของน้ำชะขยะ ดังนั้น คณะผู้วิจัยมุ่งติดตามตรวจสอบคุณภาพ สิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและ

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดำเนินการโดยองค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหาง แมว ตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการบริหารจัดการและการกำจัดมูลฝอย ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว
2. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพของ ระบบบำบัดน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็น เชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหาง แมว

วิธีการดำเนินงานวิจัย

พื้นที่ดำเนินงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อตรวจติดตามคุณภาพ สิ่งแวดล้อมดำเนินงานในเขตพื้นที่ขององค์การบริหารส่วน ตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี ซึ่งมี ขอบเขตรับผิดชอบเก็บรวบรวมมูลฝอยให้กับประชาชนทั้งสิ้น 9,470 คน จำนวน 4,503 ครัวเรือน ครอบคลุมชุมชนทั้งหมด 22 หมู่บ้าน สำหรับการเก็บข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านการจัดการมูลฝอยและคุณภาพของน้ำเสียการเก็บ ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมดำเนินงานภายในพื้นที่โครงการจัดการ ขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ (Figure 1)

การเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยใช้วิธีการ สุ่มตัวอย่าง แบบง่าย (Simple random sampling) เพื่อคัดเลือกถังพลาสติก ขนาด 200 ลิตร ที่ถูกใช้เป็นภาชนะเก็บรวบรวมมูลฝอยจำนวน 22 ชุมชนๆ ละ 2 ถึง ดำเนินการสำรวจทั้งหมด 2 รอบๆ ละ 3 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 ถึง มิถุนายน 2563 กำหนด เกณฑ์การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ขยะทั่วไป ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ตาม หลักเกณฑ์การคัดแยกมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ (กรม ควบคุมมลพิษ, 2557)

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียดำเนินการเก็บตัวอย่างแบบ จ้วง (Grab sampling) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งที่ถูก ติดตั้งภายในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง โดย ใช้ขวดปากกว้างขนาด 250 มิลลิลิตรและขวดบีโอดี กำหนด สถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด ตามโครงสร้างของระบบบำบัด น้ำเสียแบบบ่อฝิ่ง (Figure 2) ตัวอย่างน้ำเสียถูกเก็บทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งเป็นตัวแทนของฤดูแล้ง (Dry season) ระหว่างเดือนมกราคม 2563 ถึง เมษายน 2563 และฤดูฝน (Wet season) ระหว่างเดือนมิถุนายน 2563 ถึง กันยายน 2563 แต่แต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างน้ำกำหนดซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ข้อมูลการจัดการมูลฝอยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยการใช้คาร์บอนเพื่อแจกแจงองค์ประกอบของมูลฝอยและการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์สถานการณ์และระบบการจัดการมูลฝอยแบบอิงทฤษฎี (เอี่ยมพร หลินเจริญ, 2555)

นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid: TDS) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดีและซีโอดี (Table 1)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง

ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ 2 ตัวบ่งชี้คือ บีโอดีและ ซีโอดีใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอย โดยนำเข้าข้อมูลจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจำนวน 2 ถูๆ ทั้งหมด 4 จุดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝึ่งมากำหนดตัวแบบวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในรูปของสมการดังนี้

$$Y = b_0 + b_1X$$

เมื่อ Y = ค่าบีโอดี (mg/L)

X = ค่าซีโอดี (mg/L)

b_0 และ b_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

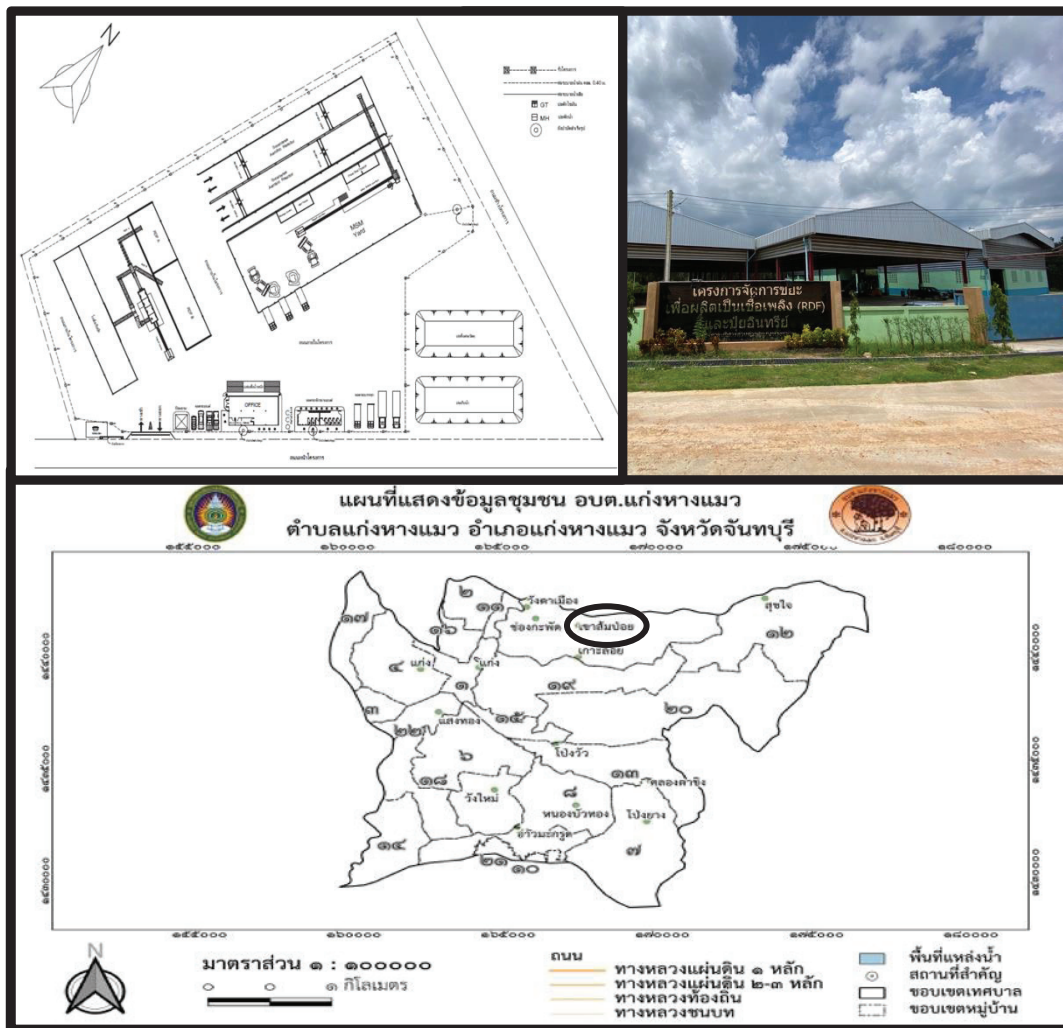


Figure 1 The map of study area at Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization (22 communities) and the layout of RDF project

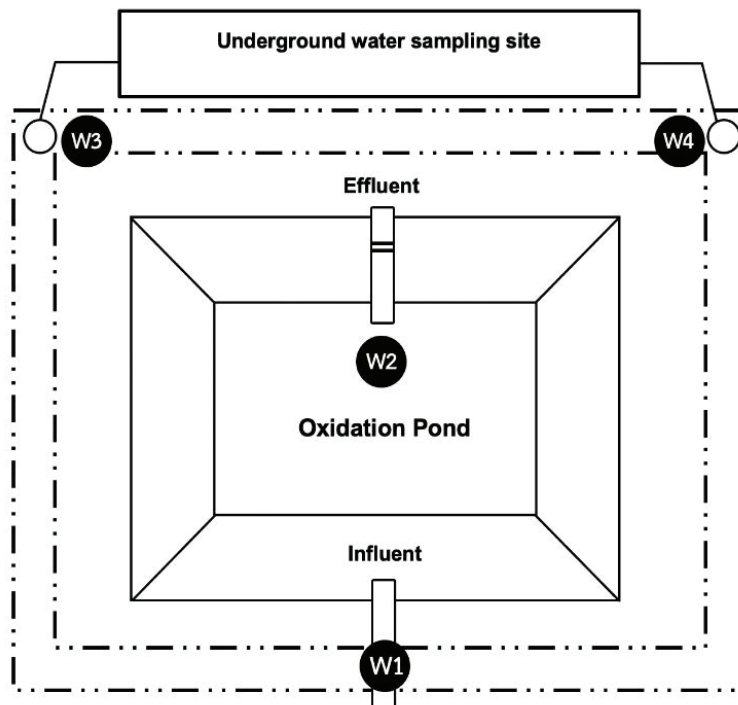


Figure 2 The sampling site of wastewater treatment system (W1: Influent, W2: Effluent, W3 and W4: Underground water sampling site)

Table 1 The methodology of water quality analysis

Parameter	Technique	References
Temperature	Digital thermometer	
pH	Waterproof Tester Model: 7200	
Conductivity and Total Dissolved Solid (TDS)	Multi-parameter Consort Model: C3030	
Dissolved oxygen	Azide modification of the winkler method	*
BOD	Incubation 5 day and azide modification of the winkler method	**
COD	Close reflux with titrimetrix	

Daungsavat and Somsiri (n.d.) ; **Tungkananuruk and Tungkananuruk (2007)

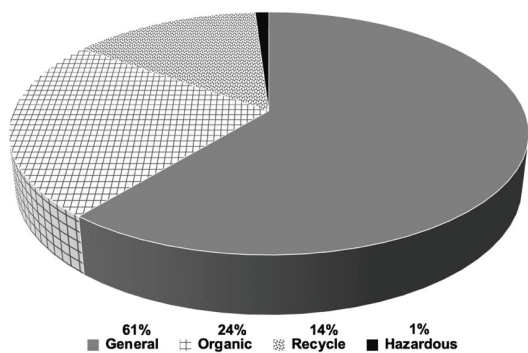


Figure 3 Percent of solid waste category at Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization

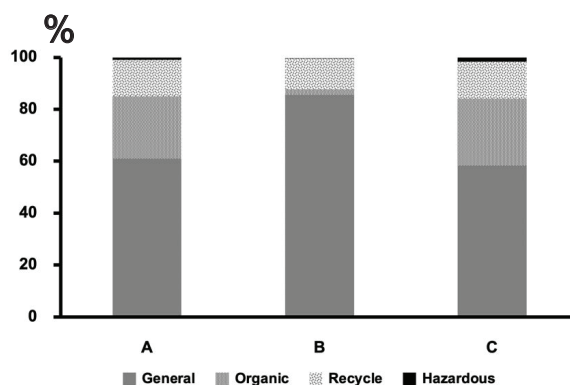


Figure 4 Percent of solid waste category at Kaeng Hang Maeo subdistrict (A), Kaeng Hang Maeo district (B) and Chanthaburi province (C)

ผลการวิจัย

การจัดการมูลฝอย

การสำรวจสถานการณ์ปริมาณมูลฝอยประจำปี พ.ศ. 2563 ในเขตพื้นที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ผลการศึกษาการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยพบว่า มูลฝอยส่วนใหญ่เป็นขยะทั่วไปร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 24, 14 และ 1 ตามลำดับ (Figure 3) ผลศึกษาองค์ประกอบมูลฝอยภายในอำเภอแก่งหางแมวพบว่า ขยะทั่วไปมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 85.8 รองลงมาคือ ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ และขยะอันตราย ร้อยละ 11.9, 2.1 และ 0.2 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการศึกษาของไฟโรจน์ไพบูลย์โรจน์รุ่ง (2560) พบว่าภาพรวมขององค์ประกอบมูลฝอยของทั้งจังหวัดจันทบุรีมีปริมาณขยะทั่วไปสูงสุดเท่ากับร้อยละ 58.3 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 25.8, 14.3 และ 1.5 ตามลำดับ (Figure 4)

การเก็บรวบรวมมูลฝอยในเขตรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวดำเนินงานตั้งแต่แหล่งกำเนิดคือ ประชาชนในชุมชนดำเนินการเก็บรวบรวมมูลฝอยด้วยตนเองในแต่ละครัวเรือนโดยเฉพาะกระบวนการคัดแยกซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมกิจกรรมเพื่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกภายในชุมชน เช่น การรณรงค์การลดมูลฝอย การอบรมการคัดแยกมูลฝอย เป็นต้น

การบริการเก็บขนมูลฝอย (Collection service) ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ถูกบริหารจัดการตามแนวทาง Alley service คือ การเก็บรวบรวมมูลฝอยจากภาชนะรองรับที่ตั้งไว้ในบริเวณชุมชนหรือจุดพักขยะที่กำหนดไว้ เช่น บริเวณตลาดสด ร้านค้า โรงเรียน สถานีอนามัย เป็นต้น เจ้าของบ้าน สมาชิกในครัวเรือน และประชาชนที่อาศัยในชุมชนต้องนำขยะมาทิ้งในภาชนะรองรับนี้ เพื่อรอการเก็บรวบรวมจากเจ้าหน้าที่โดยไม่มีการติดต่อกับสมาชิกในชุมชน ภาชนะที่รองรับมูลฝอยจากชุมชนมีลักษณะแบบถังคงที่ (Stationary Container System: SCS) ภาชนะรวบรวมเป็นถังพลาสติกชนิด PE ขนาด 200 ลิตรที่ถูกล้างไว้ตายตัว โดยใช้วิธีขนถ่ายมูลฝอยจากถังไปยังรถเก็บขนโดยการปฏิบัติงานของพนักงานขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นที่อยู่ประจำรถเก็บขนสำหรับรถเก็บขนเป็นรถยนต์บรรทุกขนาด 6 ล้อ ประเภทธรรมดาเปิดข้าง (Non-compaction side loading truck) มีตัวถังสำหรับบรรทุกขยะมูลฝอยโดยไม่มีเครื่องจักรกลใดๆ ช่วยอัดขยะมูลฝอยให้แน่น นอกจากนี้ ด้านข้างตัวถังมีช่องสำหรับเปิด-ปิดเมื่อต้องการนำขยะมูลฝอยมาเทลงในตัวถังรถหรือเมื่อถึงสถานที่กำจัดมูลฝอยก็สามารถเทจากด้านท้ายของ ตัวถังรถ โดยทั่วไปขนาดความจุของถัง

ที่นิยมใช้ในองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นมีปริมาตรอยู่ระหว่าง 7.5-12 ลูกบาศก์เมตร (ตาลีศา เนียมมณี, 2554)

การกำจัดมูลฝอย

ในอดีตที่ผ่านมาก่อนปี พ.ศ. 2556 องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวใช้วิธีการกำจัดขยะแบบเทกอง (Open dumping) ในบริเวณชุมชนบ้านเขาส้มป่อย ซึ่งเป็นแนวทางการกำจัดขยะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงโดยเฉพาะปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนและน้ำชะขยะที่ปนเปื้อนไปสู่พื้นที่ทางการเกษตร กับทั้งมีต้นทุนการดำเนินงานค่อนข้างสูงประมาณ 50,000 ต่อเดือน ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาการกำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวในระยะยาวจึงมีการดำเนินโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจำแนกกระบวนการกำจัดมูลฝอยเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตขยะเป็นเชื้อเพลิงและการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่

กระบวนการผลิตขยะเป็นเชื้อเพลิงมีลักษณะแบบ RDF 5 (Densified RDF) คือ การนำมูลฝอยที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีขั้นตอนที่สำคัญคือ การลำเลียง การคัดแยก การลดปริมาตรและการอัดแท่ง ในขณะที่กระบวนการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่จะนำขยะอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาสับเพื่อลดปริมาตรและบำบัดด้วยระบบ Mechanical and Biological Treatment (MBT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายจนกระทั่งขยะมีเสถียรภาพและปราศจากกลิ่น ผลลัพธ์ของการกำจัดขยะขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นขยะพลาสติกหรือขยะเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรมได้ และมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ที่ในลักษณะผงละเอียดสามารถนำมาปรับสภาพเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ (วสันต์ ปีเตนะ และดวงกมล ตั้งโพนทอง, 2559)

การบำบัดคุณภาพน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะภายในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ดำเนินงานบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง (Oxidation pond) ที่มีโครงสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25 เมตร ยาว 30 เมตร ความสามารถในการรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวันแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว คือ ร่องน้ำตามธรรมชาติซึ่งล้อมรอบไปด้วยพื้นที่ทางการเกษตร ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝิ่งถูกออกแบบให้ใช้บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative pond) และบ่อบ่ม (Maturation pond) ภายในบ่อเดียวกันเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ของโครงการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อบำบัดเป็นระบบการบำบัดที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมปัญหาน้ำเสียในชุมชนท้องถิ่น เนื่องจากช่วยลดต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรตั้ง (Table 3) นอกจากนี้ การบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดจะช่วยลดงบประมาณ การออกแบบระบบ ค่าจ้างแรงงานกับทั้งเป็นระบบที่ช่วยประหยัดพลังงาน เป็นรูปแบบการบริหารจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมน้ำเสียภายในชุมชนรวมไปโดยเฉพาะกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาที่ขาดแคลนงบประมาณเพื่อดำเนินโครงการบำบัดน้ำเสีย สำหรับข้อจำกัดของการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดเป็นระบบที่ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างจำนวนมากและสาหร่ายที่อยู่ในระบบอาจจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับน้ำได้ (Butler et al., 2017) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดความสกปรกจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปแบบของบีโอดีและซีโอดีของระบบบ่อบำบัดและระบบบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นแสดงผลการเปรียบเทียบดัง Table 4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดเสียในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด 4 จุด คือ น้ำเข้า (W1) น้ำออก (W2) และจุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3 และ W4) ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่าตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝนพบว่าจุดน้ำเข้า (W1) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำ, พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ของแข็งละลายน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดีและซีโอดี เท่ากับ 31°C, 6.2, 25.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 85.5 mg/L, 4.5 mg/L, 144.7 mg/L และ 501.3 mg/L ตามลำดับ จุดน้ำออก (W2) เท่ากับ 33°C, 6.9, 35.6 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 77.5 mg/L, 1.5 mg/L, 267.2 mg/L

และ 938.7 mg/L ตามลำดับ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3) เท่ากับ 28°C, 6.1, 20.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 65.4 mg/L, 7.8 mg/L, 85.3 mg/L และ 288.0 mg/L ตามลำดับ และ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W4) เท่ากับ 28°C, 5.9, 29.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 49.2 mg/L, 4.2 mg/L, 112.3 mg/L และ 215.3 mg/L ตามลำดับ (Table 5)

สำหรับผลการศึกษาดัชนีชี้คุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้งพบว่าจุดน้ำเข้า (W1) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำ, พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ของแข็งละลายน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดีและซีโอดี เท่ากับ 28°C, 6.7, 370.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 206.0 mg/L, 1.4 mg/L, 205.9 mg/L และ 720.4 mg/L ตามลำดับ จุดน้ำออก (W2) เท่ากับ 27°C, 6.4, 797.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 446.5 mg/L, 0.9 mg/L, 224.5 mg/L และ 857.1 mg/L ตามลำดับ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3) เท่ากับ 25°C, 5.5, 369.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 277.2 mg/L, 2.0 mg/L, 49.8 mg/L และ 160.1 mg/L ตามลำดับ และ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W4) เท่ากับ 25°C, 6.0, 233.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 139.7 mg/L, 1.8 mg/L, 62.3 mg/L และ 98.4 mg/L ตามลำดับ (Table 6)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อบำบัด พบว่าค่าความสกปรกที่อยู่ในรูปของบีโอดีและซีโอดีมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ความสกปรกที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของต่างประเทศ (Table 7) ในขณะที่ผลการศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง บีโอดีและซีโอดีจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 4 จุด ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยชี้ให้เห็นว่า ฤดูฝนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าฤดูแล้ง เท่ากับ 0.978 และ 0.912 ตามลำดับ (Table 8)

Table 3 The cost comparison between various wastewater treatment system

Wastewater treatment system	Cost					
	Construction	Land	Operation	Maintenance	Electricity	Sludge disposal
Activated sludge	High	Low	High	High	High	Middle
Oxidation ditch	High	Low	High	High	High	Middle
Trickling filter	High	Low	Middle	Middle	Middle	Middle
Rotating Biological Contactor	Middle	Low	Middle	High	High	High
Aerated lagoon	Middle	High	High	High	High	Middle
Oxidation pond	Low	High	Low	Low	Low	Low

Table 4 The comparison of efficiency of wastewater treatment system for reduce organic substances in domestic wastewater

Wastewater treatment system	Percent of efficiency treatment		References
	BOD	COD	
Sequential Batch Reactor (SBR)	95.27-97.12	93.52-96.41	1
Compact extended aeration	39.6-70.4	59.6-77.3	
Conventional activated sludge	80.3-87.8	84.9-92.0	2
Biodisc	84.3	83.5	
Wetland	60.0-86.2	60.4-84.9	3
Oxidation pond	69	50	4

¹(Wakode & Sayyad, 2014), ²(Colmenarejo *et al.*, 2006), ³(Sudarsan *et al.*, 2015), ⁴(Sukumaran *et al.*, 2015)

Table 5 The result of water quality analysis in the wastewater treatment system (wet season)

Parameters	Station			
	W1	W2	W3	W4
Temperature (°C)	31	33	28	28
pH	6.2	6.9	6.1	5.9
Conductivity (µs/cm)	25.7	35.6	20.8	29.9
Total Dissolved Solid: TDS (mg/L)	85.5	77.5	65.4	49.2
Dissolved oxygen (mg/L)	4.5	1.5	7.8	4.2
BOD (mg/L)	144.7	267.2	85.3	112.3
COD (mg/L)	501.3	938.7	288.0	215.3

Table 6 The result of water quality analysis in the wastewater treatment system (dry season)

Parameters	Station			
	W1	W2	W3	W4
Temperature (°C)	28	27	25	25
pH	6.7	6.4	5.5	6.0
Conductivity (µs/cm)	370.1	797.9	369.8	233.4
Total Dissolved Solid: TDS (mg/L)	206.0	446.5	277.2	139.7
Dissolved oxygen (mg/L)	1.4	0.9	2.0	1.8
BOD (mg/L)	205.9	224.5	49.8	62.3
COD (mg/L)	720.4	857.1	160.1	98.4

Table 7 The efficiency of the wastewater treatment system

	BOD (mg/L)		COD (mg/L)	
	Wet	Dry	Wet	Dry
Influent	144.7	205.9	501.3	720.4
Effluent	267.2	224.5	938.7	857.1
Efficiency (%)	-	-	-	-
The standard of effluent control from municipal wastewater treatment system	< 20			
The effluent standard from industry and industrial estate			< 120	
The permission of secondary treatment plant in the urban wastewater treatment (U.S. EPA)	25		125	
Effluent standards from Environmental Quality Act 1974 (Malaysia Environmental Quality Regulations)	50		100	

The announcement of the National Environment Board B.E. 2553

Table 8 The result of regression analysis between BOD and COD from wastewater treatment system

Season	Equation of regression	R	p-value
Wet	$Y_{BOD} = 59.292 - 0.186X_{COD}$	0.978	0.000
Dry	$Y_{BOD} = 29.155 - 0.246X_{COD}$	0.912	0.000
All (Wet + Dry)	$Y_{BOD} = 41.317 - 0.222X_{COD}$	0.950	0.000

อภิปรายผลการวิจัย

การจัดการมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว

การกำจัดมูลฝอยด้วยการก่อสร้างโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง และการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ภายในชุมชนนั้น เป็นการจัดการมูลฝอยที่ปลายทาง ดังนั้น องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ควรกำหนดมาตรการกำจัดมูลฝอยที่แหล่งกำเนิดควบคู่กับการจัดการที่ปลายทาง โดยเฉพาะการสร้างวินัยและปลูกจิตสำนึกของภาคประชาสังคมด้วยการขับเคลื่อนมาตรการ 3Rs คือ Reduce Reuse และ Recycle ซึ่งเป็นแนวคิดเพื่อควบคุมปริมาณมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพและสามารถปรับให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในทุกพื้นที่ (สันชัย พรหมสิทธิ์, 2562) นอกจากนี้ กระบวนการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วนโดยเฉพาะความร่วมมือจากภาคประชาชนมีส่วนสำคัญสูงสุดต่อการลดปริมาณขยะจากแหล่งกำเนิดต้องถูกขับเคลื่อนด้วยกลไกจากภาครัฐและการสร้างกิจกรรมหรือโครงการจัดการขยะจากแหล่งกำเนิดร่วมกับชุมชนท้องถิ่น

ผลการสำรวจองค์ประกอบของมูลฝอยพบว่ามูลฝอยส่วนใหญ่เป็นขยะทั่วไปร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 24, 14 และ 1 ตาม

ลำดับ ในขณะที่การดำเนินโครงการธนาคารขยะรีไซเคิล ผลการสำรวจองค์ประกอบของมูลฝอยจากครัวเรือนที่เป็นสมาชิกพบขยะรีไซเคิลสูงที่สุดเท่ากับ 43.7 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะทั่วไป และขยะอันตราย ร้อยละ 28.2, 27.9 และ 0.2 ตามลำดับ (ปิยะรักษ์ ประดับเพชรรัตน์และคณะ, 2553) แนวคิดจากโครงการธนาคารขยะรีไซเคิลถือเป็นการส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะรีไซเคิลออกจากขยะประเภทอื่นอย่างเป็นระบบ เป็นการจัดการมูลฝอยที่แหล่งกำเนิด (Source reduction)

คุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะต้องถูกดำเนินการด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่มีค่าความสกปรกสูง เช่น น้ำชะขยะจากเทศบาลนครภูเก็ต มีค่าบีโอดีและซีโอดีอยู่ในช่วงระหว่าง 150-200 และ 1,250-1,320 mg/L ตามลำดับ (นฤมล ประดิษฐ์เสรี, 2556) โดยเฉพาะการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากหลุมฝังกลบขยะอันตรายจากเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดพบค่าบีโอดีและซีโอดีสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 18,000-18,720 และ 54,000-56,160 mg/L ตามลำดับ (ปวาท สีชมภู, 2554) สอดคล้องกับผลการศึกษาค้างนี้ที่พบค่าบีโอดีและซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานของ

ประเทศไทยและมาตรฐานของต่างประเทศ การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะมีความยุ่งยาก เนื่องจากอิทธิพลของความสกปรกที่อยู่ในน้ำชะขยะโดยเฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงและที่สำคัญคือโครงสร้างของสารอินทรีย์เหล่านี้มีความซับซ้อนและย่อยสลายยากโดยเฉพาะกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิค และกรดฟุลวิก นอกจากนี้ คุณภาพของน้ำเสียที่มีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่ง ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจึงลดต่ำลง (อรทัย เชื้อวงศ์ และคณะ, 2561) แนวทางการลดผลกระทบจากสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่รบกวนกลไกการย่อยสลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกระบวนการวิเคราะห์บีโอดีที่ต้องอาศัยการทำงานของ Aerobic bacteria เป็นหลักและสารอินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้น การประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าบีโอดีเพื่อช่วยลดระยะเวลาการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและสามารถดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่องทุกวัน (จักรพันธ์ โพธิ์พันธ์, 2560)

สรุปผลการวิจัย

องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมด้วยการดำเนินโครงการจัดขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ ถือเป็นแนวทางการจัดการมูลฝอยตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงแหล่งกำจัดเป็นการให้บริการด้านการจัดการมูลฝอยแบบเบ็ดเสร็จภายในท้องถิ่น (One local stop service) สามารถลดปัญหาและข้อขัดแย้งที่ต้องนำมูลฝอยไปกำจัดภายนอกพื้นที่ ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและการนำขยะอินทรีย์ถูกดำเนินการด้วยระบบบ่อฝิ่งซึ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ แต่มีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของการเงินระบบเนื่องจากความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นโดยเฉพาะผลการศึกษาค้างนี้พบค่าบีโอดีและซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอยเพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมคัดแยกขยะจากชุมชน เช่น การจัดโครงการธนาคารขยะ การจัดตั้งศูนย์รวบรวมขยะอันตรายและซากอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เป็นต้น
2. ควรขับเคลื่อนกิจกรรมที่ส่งเสริมกระบวนการมีส่วนร่วมเพื่อการจัดขยะที่ต้นทาง เช่น การใช้แนวคิด “บวร” หมายถึง บ้านหรือชุมชน ว หมายถึง วัดหรือความเชื่อ และ ร หมายถึง ส่วนราชการ เพื่อสร้างความร่วมมือผ่านกิจกรรม

การลดปริมาณขยะ ตัวอย่างของกิจกรรม เช่น กองทุนขยะ เพื่อเปลี่ยนขยะเป็นทุนและนำทุนไปบริหารจัดการให้เกิดผลประโยชน์กับชุมชน เป็นต้น

3. การบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบบำบัด น้ำเสียแบบบ่อฝิ่งเป็นวิธีการที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำแต่ควรกำหนดโครงสร้างของบ่อให้มีความสอดคล้องกับความสกปรกของน้ำเสีย ตลอดจนการกำหนดมาตรการควบคุมและเฝ้าระวังเรื่องกลิ่นรบกวนต่อชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ตลอดจนการได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสารเคมีเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในช่วงเวลาของการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). *หลักเกณฑ์และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการมูลฝอยและของเสียอันตราย*. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.มงคลการพิมพ์.
- จักรพันธ์ โพธิ์พันธ์. (2560). *เคมีสิ่งแวดล้อม*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- ตาลีศา เนียมมณี. (2554). *กระบวนการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาขยะโดยการผลิตอินทรีย์สารเพื่อการเกษตรของชุมชนบางนางลี่ จังหวัดสมุทรสงคราม*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- นฤมล ประดิษฐ์เสรี. (2556). *การบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีเฟนตัน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปาวพ สิชมภู. (2554). *การกำจัดซีโอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบกากของเสียอันตรายโดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะรักษ์ ประดับเพชรรัตน์, สุชาติ นววงศ์, สยาม อรุณศรี มรกต และไกรชาติ ตันตระการอาภา. *ศักยภาพในการลดปริมาณขยะชุมชนจากโครงการขยะรีไซเคิล*. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 6(2), 54-66.

- ไพโรจน์ไพบูลย์โรจน์รุ่ง. (2560). การจัดทำแผนบริหารจัดการขยะมูลฝอยของจังหวัดจันทบุรี (ระยะ 5 ปี พ.ศ. 2558-2562). สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดจันทบุรี.
- วสันต์ ปิเตนะ และดวงกมล ตั้งโพนทอง. (2559). การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. *วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 9(1), 72-86.
- สันชัย พรหมสิทธิ์. (2562). การจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, 9(1), 67-81.
- อรทัย เชื้อวงษ์, ไพบูลย์ ประพดีธรรม และอรอนงค์ ผิวนิล. (2561). บทบาทของอนุภาคดินเหนียวที่มีผลต่อการย่อยสลายและการกักเก็บสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะในระบบดินประยุกต์บำบัดน้ำเสีย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 36(1), 50-59.
- เอี่ยมพร หลินเจริญ. (2555). เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ. *วารสารวัดผลการศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 17(1), 17-29.
- Butler, E., Hung, Y.T., Al Ahmad, S., Yeh, R.Y.L., Liu, R.L.H., & Fu, Y.P. (2017). Oxidation pond for municipal wastewater treatment. *Applied Water Science*, 7(1), 31-51.
- Colmenarejo, M.F., Rubio, A., Sánchez, E., Vicente, J., García, M.G., & Borja, R. (2006). Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain). *Journal of Environmental Management*, 81, 399-404.
- Daungsavat, M., & Somsiri, J. (n.d.). *Water properties and analysis for fisheries research*. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Sudarsan, J.S., Roy, R.L., Baskar, G., Deeptha, V.T., & Sithiyantham, S. (2015). Domestic wastewater treatment performance using constructed wetland. *Sustainable Water Resources Management*, 1(2), 89-96.
- Sukumaran, D., Saha, R., & Saxena, R.C. (2015). Performance evaluation of prevailing biological wastewater treatment systems in West Bengal, India. *Applied Ecology and Environmental Science*, 3(1), 1-4.
- Tungkananuruk, N., & Tungkananuruk, K. (2007). *Principle of chemical water quality analysis*. Publisher of Kasetsart University.
- Wakode, P.N., & Sayyad, S.U. (2014). Performance evaluation of 25MLD sewage treatment plant (STP) at Kalyan. *American Journal of Engineering Research*, 3(3), 310-316.

การเปรียบเทียบการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมแบบกำกับควบคุมโดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพและจากจุดตัวอย่างแบบจุดเวกเตอร์: กระบวนการจำแนกแบบเชิงวัตถุ

Comparison of the satellite image supervised classification by the selection of samples from segmented image objects and vector point samples: Object-oriented classification approach

โสภณวิชญ์ คำพิลัง^{1*}
Sopholwit Khamphilung^{1*}

Received: 24 December 2020 ; Revised: 9 April 2021 ; Accepted: 7 May 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบเชิงวัตถุโดยการเปรียบเทียบกระบวนการในการสุ่มตัวอย่างวัตถุภาพ 2 กระบวนการได้แก่ (1) การสร้างจุดตัวอย่างโดยตรงจากการแปลภาพถ่ายด้วยสายตาและ (2) การเลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพที่ตัดวัตถุภาพแล้วโดยจำแนกแบบ Nearest Neighbor Classifier (NN) จุดตัวอย่างจากกระบวนการที่ (1) ประกอบด้วย 46 จุดสุ่มและวัตถุภาพที่เลือกจากใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ที่ (2) ประกอบด้วย 36 วัตถุภาพ กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดที่ถูกเลือกใช้เป็นตัวแทนของชั้นสิ่งปกคลุมดินทั้งสิ้น 5 ชั้นการจำแนกได้แก่ (1) หลังคาเรือน (2) ไม้ยืนต้น (3) แหล่งน้ำ (4) นาข้าวและ (5) พืชไร่ สำหรับการจำแนกแบบที่ (2) ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพที่ถูกตัดแล้วโดยเลือกให้ตรงกับจุดตัวอย่างในกระบวนการที่ 1 นอกจากนี้ยังได้ใช้เกณฑ์เงื่อนไขเดียวกันกับที่ใช้ในกระบวนการการวิเคราะห์ในกระบวนการแรก ผลการศึกษาพบว่า การจำแนกแบบที่ (1) มีความความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 85.71 K_{hat} มีค่าเท่ากับ 0.82 โดยในกระบวนการนี้พบว่าไม้ยืนต้นมีค่าความถูกต้องสูงสุด Users' accuracy 94% และมีค่าต่ำสุดได้แก่แหล่งน้ำคิดเป็นร้อยละ 74 สำหรับการจำแนกแบบที่ (2) มีความความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 79.19 และ K_{hat} มีค่าเท่ากับ 0.73 โดยในกระบวนการนี้พบว่าไม้ยืนต้นมีค่าความถูกต้องสูงสุด Users' accuracy 87% และมีค่าต่ำสุดได้แก่นาข้าว คิดเป็นร้อยละ 65 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจำแนกแบบกำกับควบคุม กลุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ การรับรู้จากระยะไกล

Abstract

This study aims at classifying high resolution satellite images by using object-based image analysis by comparing 2 sampling methods, namely (1) point sample-based directly derived from visual interpretation and (2) segmented image objects sampling utilizing Nearest Neighbor classifier (NN). There were 46 vector point samples used for analytical scenario 1, and 36 sample image objects were used for process 2. These selected samples represented of 5 land cover classes, i.e. (1) Roofs, (2) Trees, (3) Waterbodies, (4) Paddy field, and (5) Crops, respectively. For the second scenario, the sample image objects were directly selected from segmented image objects by visual interpretation at the same location from the sample points selected from the first scenario. Moreover, the threshold conditions were the same data set applied to the first scenario. The results indicated that the overall accuracy from the scenario 1 showed 85.71 with a Kappa statistic (K_{hat}) of 0.82. The highest Users' accuracy was the Trees class (94%), and the lowest accuracy was Waterbodies, which showed 74% of users' accuracy. For the second scenario, the overall accuracy found was 79.19% with K_{hat} 0.73, respectively. The highest users' accuracy was Trees (87%), and the lowest of producers' accuracy was Paddy field (65%).

Keywords: Nearest neighbor, sample-based, object-based image analysis, remote sensing

¹ อาจารย์, ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, Department of Geoinformatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University 44150 Thailand.

* Corresponding author ; Sopholwit Khamphilung, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand.
Sopholwit.c@msu.ac.th

บทนำ

การจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมด้วยกระบวนการจำแนกแบบเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) เป็นกระบวนการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความนิยมเพิ่มมากขึ้น (Rozali *et al.*, 2020) เนื่องจากเป็นกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่พิจารณาทั้งองค์ประกอบของรายละเอียดต่างๆ ทั้งคุณสมบัติช่วงคลื่น (Spectral information) (Huang *et al.*, 2020) และคุณสมบัติเชิงรูปร่าง (Shape) ของวัตถุหรือคุณลักษณะทางเรขาคณิต (Geometry information) (Hegyi *et al.*, 2020) มาใช้ในกระบวนการจำแนกเพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งดาวเทียมที่มีรายละเอียดของจุดภาพสูง (High resolution imagery) (Song *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตามการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบกำกับควบคุม (Supervised classification) เป็นกระบวนการจำแนกข้อมูลที่มีรูปแบบอย่างแพร่หลายนับตั้งแต่ที่เทคโนโลยีอวกาศได้ถูกนำมาใช้ในเชิงพลเรือนและพาณิชย์ กระบวนการจำแนกแบบกำกับควบคุมนี้ที่ทราบกันดีที่ผู้จำแนกต้องมีการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง (Samples/ training area) (Papakonstantinou *et al.*, 2020) เพื่อใช้เป็นค่าตัวแทนทางสถิติให้กับประชากรจุดภาพทั้งหมดที่ปรากฏในภาพถ่ายที่ผู้จำแนกต้องการจำแนกซึ่งสอดคล้องกับสิ่งปกคลุมดินหรือการใช้ประโยชน์ที่ดิน ณ เวลาที่ใช้ข้อมูล การเลือกกลุ่มตัวอย่างมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความถูกต้องหลังการจำแนกซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และองค์ความรู้ในการตีความภาพถ่ายดาวเทียมจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น สี รูปร่าง รูปทรง เป็นต้น หากการเลือกกลุ่มตัวอย่างไม่พอเพียงหรือไม่ตรงกับชั้นการจำแนกที่แท้จริงย่อมส่งผลกระทบต่อภาพรวมของการจำแนกข้อมูล อย่างไรก็ตามการการจำแนกข้อมูลแบบเชิงวัตถุมีนั้นนั้นได้นำคุณสมบัติในการกำกับควบคุมมาใช้เช่นเดียวกับที่มีการใช้ในกระบวนการวิเคราะห์แบบเชิงจุดภาพได้แก่เครื่องมือจำแนกแบบ Nearest neighbor (NN Classifiers) (Delfan *et al.*, 2020 ; Lubis *et al.*, 2020 ; Wu & Zhang, 2020) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้แปลภาพต้องมีการกำหนดหรือเลือกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งกระบวนการเลือกกลุ่มตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ (1) การสร้างกลุ่มตัวอย่างจากภายนอกในรูปแบบเวกเตอร์หรือราสเตอร์และ (2) การเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยตรงจากวัตถุภาพที่ถูกตัดแล้วจากค่า Scale parameter ที่ผู้แปลกำหนดโดยจะมีผลต่อขนาด รูปร่างและปริมาณของวัตถุภาพ ซึ่งกระบวนการในการจำแนกภาพถ่ายด้วย 2 กระบวนการนี้อาจมีความถูกต้องหรือความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันไปตามกระบวนการและรายละเอียดในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการจำแนกโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง ณ หมู่บ้าน

แห่งหนึ่งตั้งอยู่ในอำเภอ นาตุน จังหวัดมหาสารคามเป็นพื้นที่ทดสอบกระบวนการจำแนกภาพโดยใช้คุณสมบัติเชิงช่วงคลื่นและเชิงจุดภาพควบคุมชุดเดียวกันเทียบกับความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากเป็นชุมชนที่ตั้งอยู่ในเขตเมืองโบราณ นครจำปาศรีและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบๆ ชุมชนที่มีการบันทึกไว้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงโดยใช้กระบวนการการจำแนกแบบกำกับควบคุม (Supervised classification: Nearest Neighbor) โดยกระบวนการจำแนกแบบเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) ด้วยการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพที่ถูกสร้างขึ้นแล้วเปรียบเทียบกับ การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบจุดเวกเตอร์ที่ได้จากการแปลภาพด้วยสายตา

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird ที่ขยายความแยกชัดเชิงพื้นที่ (Pansharpened image) แล้วจำนวน 4 ช่วงคลื่น (Blue, Green, Red, NIR และ Panchromatic รายละเอียด 0.6 ซม.) รายละเอียดของจุดภาพ 0.6 เซนติเมตร โดยภาพถ่ายดาวเทียมนี้ทำการบันทึกเมื่อปี พ.ศ. 2548 WGS 84 zone 48 ขนาดของภาพ 805x745 จุดภาพ (Figure 1)

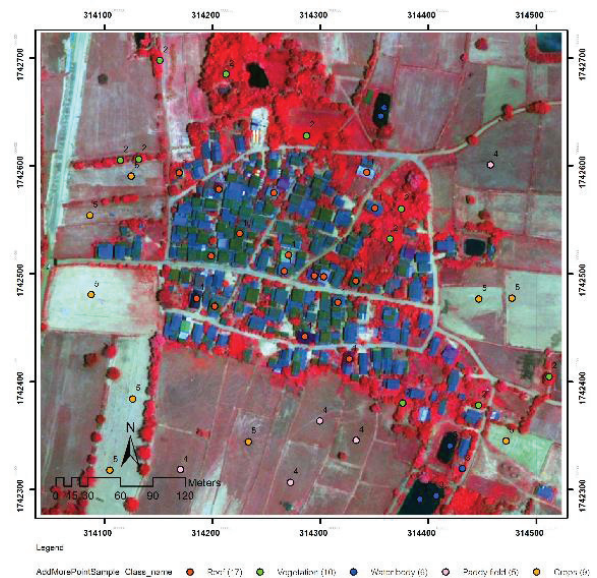


Figure 1 The selected village located in Na Dun cultural settlement, Maha Sarakham Province

กระบวนการที่ 1 (Scenario 1: S1) การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบเชิงวัตถุ โดยใช้เทคนิคการจำแนกแบบ Nearest neighbor (Cariou *et al.*, 2020 ; Luo *et al.*, 2020 ; Tang *et al.*, 2020) ซึ่งเป็นกระบวนการจำแนกแบบกำกับควบคุม ภายในสิ่งแวดล้อมของการจำแนกข้อมูลแบบเชิงวัตถุ ภาพถ่ายดาวเทียม Pansharpened QuickBird รายละเอียด 0.6 เซนติเมตรถูกแยกดำเนินการ 2 กระบวนการได้แก่ การเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยสายตาแบบสร้างจุดสุ่มตัวอย่างด้วยการจำแนกด้วยสายตา (NN with

point samples) (Wang *et al.*, 2020) โดยในกระบวนการนี้ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการสร้างจุด โดยเลือกจุดให้ครอบคลุมทุกชั้นการจำแนกโดยกำหนดให้มีชั้นการจำแนกสิ่งปกคลุมดินทั้งสิ้น 5 ชั้นการจำแนกได้แก่ หลังคาเรือน (Roofs) นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) แหล่งน้ำ (Waterbodies) และไม้ยืนต้น (Trees) รายละเอียดของจุดควบคุมหรือจุดสุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 กระบวนการวิเคราะห์แสดงได้ดัง Table 1

Table 1 Samples data derived from visual interpretation (S1) and image objects segmentation (S2)

Class	Class_id	Sample point number (S1)	Image object sample number (S2)
Roofs	1	17	7
Trees	2	10	7
Waterbodies (w1)	3	6	3
Paddy field (A1)	4	5	6
Crops	5	9	13
Total		46	36

จากนั้นจุดควบคุมหรือกลุ่มตัวอย่างเหล่านี้ถูกนำเข้าสู่ eCognition ในรูปแบบของชั้นข้อมูลจำเพาะ (Thematic layer) โดยภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ถูกตัดวัตถุภาพด้วยค่า Scale parameter = 80, Shape = 0.1 และ Compactness = 0.5 และให้ค่าถ่วงน้ำหนักกับทั้ง 4 ช่วงคลื่นเท่ากับ 1 โดยใช้ อัลกอริทึม Multiresolution segmentation เพื่อสร้างชั้นจำแนกชื่อ Landcover สำหรับเป็นชั้นการจำแนกเป้าหมายในการรองรับผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ในการตัดวัตถุภาพและได้ใช้จุดตัวอย่างที่ถูกสร้างขึ้นดังกล่าวร่วมในกระบวนการตัดวัตถุภาพซึ่งทำให้ได้วัตถุภาพทั้งสิ้นจำนวน 600 วัตถุภาพ จากจำนวนจุดภาพทั้งสิ้น 808x745 จุดภาพ จำนวนจุดตัวอย่างสำหรับเป็นตัวแทนของการจำแนกสิ่งปกคลุมดินทั้ง 5 ชั้นการจำแนกได้แก่ หลังคาเรือน ประกอบด้วยจุดตัวแทน 11 จุด ไม้ยืนต้น 10 จุด แหล่งน้ำ จำนวน 6 จุด พื้นที่นาข้าว จำนวน 5 จุดและพื้นที่พืชไร่ จำนวนจุดตัวแทน 6 จุดซึ่งรวมจุดตัวอย่างที่ใช้ในพื้นที่ศึกษาขนาดเล็กนี้ทั้งสิ้นจำนวน 46 จุดตัวอย่าง โดยในตารางคุณลักษณะสัมพันธ์ ได้สร้างฟิลด์เก็บข้อมูลชื่อ Class_id เป็นชนิด Short integer เพื่อใช้รองรับรหัสตัวแทนการใช้ที่ดินโดยรหัสของสิ่งปกคลุมดิน Class_id = 1 ได้แก่ roofs Class_id = 2 ได้แก่ ไม้ยืนต้น Class_id = 3 ได้แก่แหล่งน้ำ Class_id = 4 นาข้าวและ Class_id = 5 ได้แก่

พืชไร่ตามลำดับ ภายหลังจากที่ตัดวัตถุภาพแล้วได้ใช้อัลกอริทึม Assign class เพื่อจำแนกชั้นการจำแนกโดยยึดตามตารางคุณลักษณะสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นจากฟิลด์ชื่อ Class_id โดยกำหนดให้ Threshold condition อ้างอิงไปยัง Thematic attribute ดังกล่าว โดยใช้เงื่อนไข **if Sample.shp (Class_id = 1) then Classify to roofs** และได้ใช้เงื่อนไขนั้นครบทั้ง 5 ชั้นการจำแนก หลังจากนั้นวัตถุภาพที่ถูกจำแนกโดยอาศัยจุดตัวอย่างดังกล่าวถูกแปลงให้เป็น Sample โดยใช้ อัลกอริทึม **Classified image object to sample** เพื่อที่จะแปลงค่าตัวแทนของชั้นการจำแนกที่ได้จากการแปลงภาพด้วยสายตาเหล่านั้นให้เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมของ eCognition developer จากนั้นได้ทำการตั้งค่าให้คุณสมบัติการจำแนกแบบ Nearest neighbor: NN classification โดยใช้เงื่อนไขได้แก่ Mean value, Standard deviation และ Pixel-based จากนั้นได้ทำการจำแนกจากค่าคุณสมบัติที่เลือกใช้โดยใช้การจำแนกแบบ NN classifier ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ได้ถูกกำหนดด้วยกฎที่ใช้ในการจำแนกให้แต่ละชั้นการจำแนกด้วย Assign class algorithm โดยเลือก Class filter ทุกๆ ชั้นการจำแนกรวมๆ กันเพียงครั้งเดียว คุณสมบัตินี้ใช้ในการจำแนกแสดงได้ดัง Table 2

Table 2 Threshold condition for image classification

Features types	Feature names
Spectral	Mean bands: Mean Blue, Mean Green, Mean Red, Mean NIR
Standard Deviation	Sdev.Red, Sdev. Green, Sdev blue, and Sdev. NIR
Pixel-based	Band ratios: Ratio Blue, Ratio Green, Ratio Red, and Ratio NIR

กระบวนการที่ 2 (Scenario 2: S2) เป็นกระบวนการจำแนกภาพถ่ายโดยทำการตัดวัตถุภาพซึ่งใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเช่นเดียวกันกับที่ใช้ในกระบวนการที่ 1 คุณสมบัติในการตัดวัตถุภาพเท่ากันเพื่อให้เกิดคุณสมบัติทางวัตถุภาพที่ใกล้เคียงกันได้แก่ค่า Scale parameter = 80 Shape = 0.1 และ Compactness = 0.5 โดยใช้อัลกอริทึม Multiresolution segmentation ทำให้ได้วัตถุภาพหลังจากที่ตัดวัตถุภาพแล้วจำนวนทั้งสิ้น 610 วัตถุภาพโดยไม่นำข้อมูลเวกเตอร์หรือ Thematic layer ใดๆ เข้ามาร่วมในการตัดวัตถุภาพ¹⁴ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวัตถุภาพตัวอย่างจากวัตถุภาพที่ตัดแล้ว (Sample selection from existing image objects) และเป็นพื้นที่เดียวกันกับที่เลือกจุดภาพในกระบวนการที่ 1 (Scenario 1: S1) ซึ่งขั้นการจำแนกที่ใช้ในกระบวนการนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นการจำแนกได้แก่หลังการเรือน หนาว พืชไร่ แหล่งน้ำและไม่ยืนต้น ในกระบวนการจำแนกข้อมูลได้ใช้วิธีเลือกวัตถุภาพ (Image objects) (Laliberte *et al.*, 2007 ; Wang *et al.*, 2018 ; Zhai *et al.*, 2018) โดยทำการเลือกวัตถุภาพให้ตรงกับชุดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่จุดสุ่มตั้งเช่นในกระบวนการที่ 1 ทุกประการ นอกจากนี้คุณสมบัติเชิงคลื่นและคุณสมบัติของวัตถุภาพอื่นๆ ก็มีคุณลักษณะเดียวกันในกระบวนการที่ 1 เช่นเดียวกัน

การเปรียบเทียบผลการจำแนกทำได้โดยใช้วัตถุภาพที่ได้จากการแปลงหรือนำเข้าจากข้อมูลภายนอกและจุดที่ได้จากการแปลงภาพด้วยสายตาในกระบวนการที่ 1 โดยถือว่ากลุ่มของวัตถุภาพที่เลือกให้เป็นข้อมูลอ้างอิงนี้ได้รับการพิจารณาแล้วจากกระบวนการแปลงภาพด้วยสายตา ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุภาพที่มีความถูกต้องตรงกับสิ่งปกคลุมดินหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แท้จริงในพื้นที่ศึกษา (Radoux & Bogaert, 2017) การตรวจสอบความถูกต้องได้แยกทำในแต่ละวิธีซึ่งพิจารณา Overall accuracy และ Kappa statistics ซึ่งเป็นกระบวนการในการศึกษาเปรียบเทียบแบบตาราง Error matrix ซึ่งประกอบด้วย User's accuracy/ Producers' accuracy/ Overall accuracy และ Kappa statistic (K_{hat}) (Costa *et al.*, 2018) โดยกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีในการสุ่มแบบ Stratified Random Sampling (Cai *et al.*, 2018 ; Kramm *et al.*, 2017) เนื่องจากเป็นกระบวนการในการจัดเก็บกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มทั่วทั้งพื้นที่สอดคล้องกันขั้นการจำแนกของขั้นการจำแนกแต่ละประเภท โดย Kappa coefficient หรือ K_{hat} มีค่าอยู่ระหว่าง

0 ถึง 1 ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องของการคำนวณค่าความถูกต้องจากตาราง Error matrix ที่มีการเปรียบเทียบจากตารางของเมทริกซ์แนวเฉียงซึ่งประกอบด้วยความถูกต้อง 3 ประเภทดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ทั้งนี้ K_{hat} สามารถคำนวณได้จาก Equation 1

$$k_{hat} = \frac{Obs-exp}{1-Exp} \quad (1)$$

เมื่อ

Obs = ความถูกต้องหลังการจำแนกโดยรวม (Overall accuracy)

Exp = ความถูกต้องหลังการจำแนกที่ผู้จำแนกคาดหวัง (Expected correct)

ซึ่งหากพิจารณาความถูกต้องโดยรวมของจุดภาพหรือวัตถุภาพที่ได้รับการจำแนกแบบแนวเฉียงร่วมกันระหว่างผลที่ได้จากการจำแนกเทียบกับแหล่งข้อมูลอ้างอิงแล้วจะสามารถคำนวณได้ตั้ง Equation 2 โดยค่า K_{hat} ควรมีค่า ≥ 0.8 จึงจะถือว่าการจำแนกครั้งนี้ได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ (Ma *et al.*, 2017)

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+})(x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+})(x_{+i})} \quad (2)$$

โดย

$N \sum_{i=1}^k x_{ii}$ = จำนวนจุดภาพทั้งหมดคูณด้วยผลรวมของขั้นการจำแนกทั้งชั้นตามแนวทแยง

$\sum_{i=1}^k (x_{i+})(x_{+i})$ = ผลรวมของค่าผลคูณจากจุดภาพที่ได้รับการจำแนกทั้งหมดทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

กระบวนการดำเนินงานทั้งหมดของการศึกษานี้แสดงได้ตั้ง Figure 2

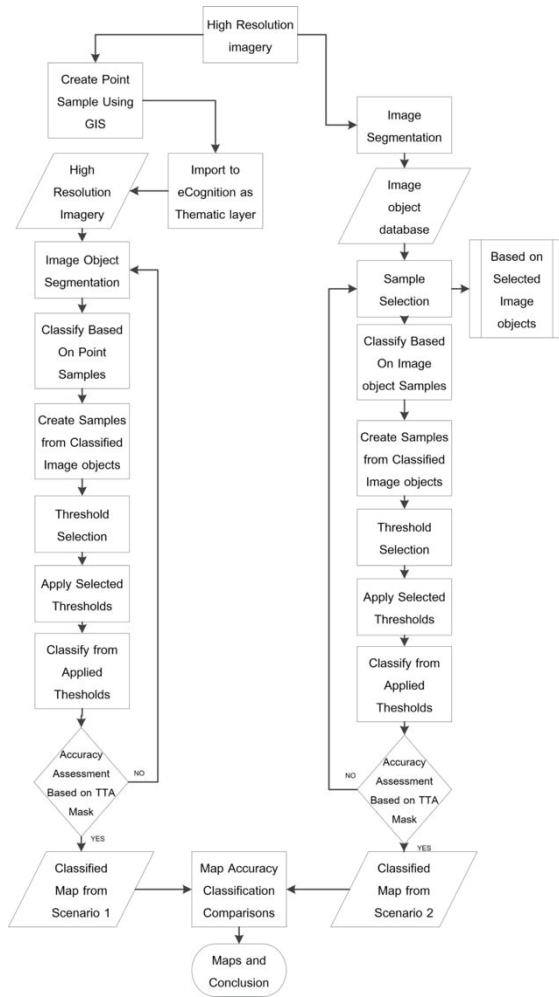


Figure 2 Work flow diagram

ผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการในการจำแนกแบบเชิงวัตถุโดยทำการเปรียบเทียบการจำแนกแบบกำกับควบคุมโดยนำเข้าข้อมูล 2 ชุดข้อมูลได้แก่ การใช้จุดตัวอย่างจากการแปลภาพด้วยสายตาและกระบวนการในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยตรงจากวัตถุภาพที่ทำการตัดแล้ว

ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยกระบวนการที่ 1 ซึ่งเป็นการจำแนกแบบใช้จุดควบคุมจากภายนอกในรูปแบบเวกเตอร์แบบจุดผลการจำแนกภาพถ่ายในกระบวนการวิเคราะห์ที่ 1 พบว่าจากชั้นการจำแนกทั้งสิ้น 5 ชั้นการจำแนกหลังคาเรือนถูกจำแนกทั้งสิ้น 35,341.92 ตร.ม. เป็นจำนวน 187 จุดภาพ ชั้นการจำแนกไม้ยืนต้นได้รับการจำแนกคิดเป็นพื้นที่ 50,905.80 ตร.ม. พื้นที่แหล่งน้ำได้รับการจำแนกทั้งสิ้น 3,583.08 ตร.ม. พื้นที่นาข้าวถูกจำแนก 64,346.04 ตร.ม. พืชไร่ ถูกจำแนก 61,555.68 ตร.ม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ในกระบวนการวิเคราะห์ที่ 1 พื้นที่นาข้าว ได้รับการจำแนกมากที่สุด รองลงมาได้แก่พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่แหล่งน้ำได้รับการจำแนกน้อยที่สุดมีจำนวน 7 วัตถุภาพรายละเอียดแสดงได้ดัง Table 3 และผลการจำแนกแสดงได้ดัง Figure 3

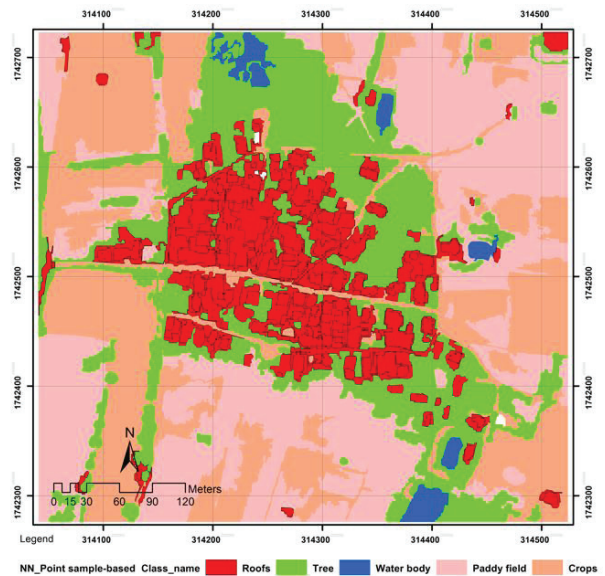


Figure 3 Classification result from points sample-based (scenario 1)

Table 3 Area of classified image objects from scenario 1 (S1)

Class name	Area (sq.m.)	Classified Image objects
Roofs	35,341.92	187
Trees	50,905.80	174
Water bodies	3,583.08	7
Paddy field	64,346.04	96
Crops	61,555.68	133
Total	215,732.52	597

สำหรับผลการวิเคราะห์ภาพจากกระบวนการที่ 2 (Scenario 2: S2) พบว่าพบจากชั้นการจำแนกทั้งสิ้น 5 ชั้น การจำแนก หลังคาเรือนถูกจำแนกทั้งสิ้น 31,793.76 ตร.ม. เป็นจำนวน 160 วัตถุภาพ ชั้นการจำแนกไม่มียืนต้นได้รับการจำแนกคิดเป็นพื้นที่ 51,765.12 ตร.ม. พื้นที่แหล่งน้ำได้รับการจำแนกทั้งสิ้น 1,945.80 ตร.ม. พื้นที่นาข้าวถูกจำแนก 55,955.88 ตร.ม. ไร่พืชไร่ถูกจำแนก 73,614.96 ตร.ม. ตามลำดับ

ซึ่งพบว่า ในกระบวนการวิเคราะห์ที่ 2 พื้นที่พืชไร่ได้รับการจำแนกมากที่สุด รองลงมาได้แก่พื้นที่นาข้าวและไม่ยืนต้นตามลำดับ สำหรับพื้นที่ที่ได้รับการจำแนกน้อยที่สุดได้แก่ แหล่งน้ำจำนวน 6 วัตถุภาพซึ่งสอดคล้องกับสภาพที่แท้จริงของพื้นที่ศึกษารายละเอียดแสดงได้ดัง Table 4 ผลการจำแนกแสดงได้ดัง Figure 4

Table 4 Classification result from image objects sample-based (scenario 2: S2)

Class name	Area (sq.m.)	Classified Image objects
Roofs	31,793.76	160
Trees	51,765.12	171
Water bodies	1,945.80	6
Paddy field	55,955.88	92
Crops	73,614.96	172
Total	215,075.52	601

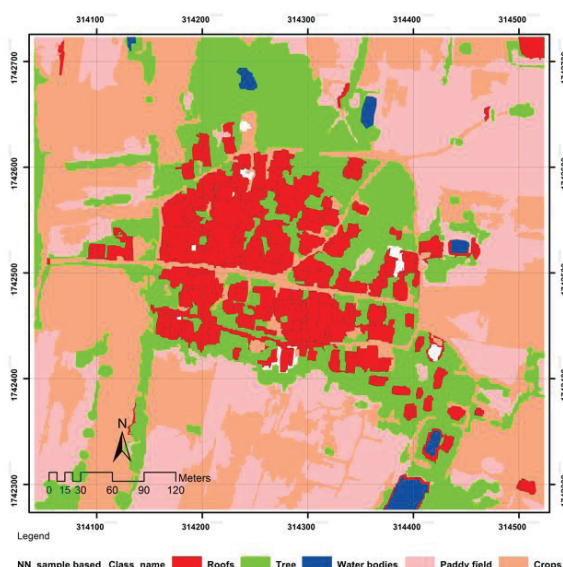


Figure 4 Classification result from image objects sample-based (scenario 2)

การตรวจสอบความถูกต้อง

ในการศึกษานี้ได้ใช้กระบวนการในการตรวจสอบความถูกต้องแบบ การเปรียบเทียบผลการจำแนก Stratified Random Sampling โดยได้เตรียมจุดควบคุมอ้างอิงที่ทราบแน่ชัดสอดคล้องกับชั้นการจำแนกที่ได้ทำการจำแนกทั้ง 5 ชั้น สำหรับกระบวนการจำแนกที่ 1 (S1) ซึ่งพบว่าความถูกต้องหลังการจำแนกผลการจำแนกโดยรวมร้อยละ 85.71 และค่า *Kappa statistic* = 0.82 สำหรับกระบวนการจำแนกที่ 2 (S2) ซึ่งพบว่าความถูกต้องหลังการจำแนกผลการจำแนกมีค่าความถูกต้องโดยรวม = 79.19% และ *Kappa statistic* = 0.73 ตามลำดับ ผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมของทั้ง 2 กระบวนการแสดงดัง Table 5

Table 5 Accuracy assessment process for each Land cover class from scenario 1 (S1) and 2 (S2)

Classes	Users' accuracy (UA)		Producer's accuracy (PA)	
	S1	S2	S1	S2
Roofs	77%	74%	88%	77%
Trees	94%	87%	89%	83%
Water bodies	89%	81%	74%	85%
Paddy field	85%	83%	79%	65%
Crops	81%	69%	88%	73%
Overall accuracy	S1: 85.71 %		S2: 79.19%	
K_{hat}	S1: 0.82		S2: 0.73	

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird รายละเอียดเชิงพื้นที่ 0.60 เซนติเมตร โดยใช้กระบวนการการจำแนกแบบ Nearest Neighbor โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากวัตถุภาพที่ถูกสร้างขึ้นและเปรียบเทียบกับวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลแบบจุดเวกเตอร์ที่ได้จากการแปลภาพด้วยสายตาจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยมีขั้นตอนการจำแนกที่ใช้จำนวน 5 ขั้นตอนการจำแนก ได้แก่ หลังคาเรือน ไม้ยืนต้น แหล่งน้ำ นาข้าวและพืชไร่ การจำแนกพบว่า การเลือกจุดตัวอย่าง (S1) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการสร้างกลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมสูงกว่ากระบวนการวิเคราะห์ที่ 2 (S2) โดยคิดเป็นร้อยละ 85.71 และค่า Khat มีค่าเท่ากับ 0.82 ในขณะที่ความถูกต้องโดยรวมของกระบวนการวิเคราะห์แบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 79.19 และค่า khat มีค่าเท่ากับ 0.73 โดยกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องนี้ผู้วิจัยได้ใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (Error matrix) ในการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับจุดที่ได้จากการแปลภาพด้วยสายตาและเวกเตอร์ที่ได้ทำการดิจิทัลเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาดังกล่าว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเป็นรายขั้นตอนการจำแนกของแต่ละกระบวนการวิเคราะห์พบว่า ยังมีความเหลื่อมล้ำและค่าความถูกต้องโดยรวมอาจยังไม่ใช่คำตอบท้ายที่สุดที่ต้องพิจารณา โดยพบว่ากระบวนการจำแนกในวิธีการที่ 2 มีบางชั้นข้อมูลที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกันเช่น ชั้นหลังคาเรือน (Roofs) และนาข้าว (Paddy field) เป็นต้น ทั้งนี้หากเป็นพื้นที่ศึกษาขนาดเล็กทำให้สะดวกและใช้เวลาไม่มากนักในการเตรียมจุดตัวอย่างจากภายนอกมาใช้เพื่อเป็นพื้นที่ตัวอย่างหรือตัวแทนในแต่ละขั้นตอนการจำแนกแน่นอนว่าจากผลการศึกษาผู้วิจัยแนะนำว่าใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบที่ 1 น่าจะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากได้ผ่านกระบวนการแปลด้วยสายตามาแล้วในระดับหนึ่ง แต่หากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ครอบคลุมบริเวณที่กว้างขึ้นอาจต้องใช้เวลาหรือในการจัดเตรียมข้อมูลหากเป็นเช่นนั้นผู้วิจัยแนะนำว่าควรใช้กระบวนการวิเคราะห์ภาพแบบที่ 2 จะเหมาะสมที่สุดแต่เพื่อให้ความถูกต้องหลังการจำแนกให้ได้ค่าที่พึงพอใจมากที่สุดผู้ศึกษาอาจต้องมีการเพิ่มกระบวนการต่างๆ เข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ เช่น ใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์ทั้งในส่วนของคุณสมบัติเชิงคลื่นและเชิงรูปร่างของวัตถุภาพเพิ่มเติมเข้าไปในกฎการจำแนกร่วมกับการเทียบเคียงกับแหล่งข้อมูลจากหน่วยงานอื่นๆ เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลัง

กระบวนการซึ่งนับเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงแบบเชิงวัตถุ นั่นเอง นอกจากนี้อาจมีการผสมผสานกระบวนการทั้ง 2 ข้างต้นเข้าด้วยกันกล่าวคือการใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งแบบจุดในบางขั้นตอนการจำแนกที่ต้องการความถูกต้องสูงหรืออาจใช้ในกรณีที่เกิดความลังเลสงสัยว่าลักษณะที่ปรากฏในภาพถ่ายเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดินประเภทใด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird แบบหลายช่วงคลื่นเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Cai, L., Shi, W., Miao, Z., & Hao, M. (2018). Accuracy assessment measures for object extraction from remote sensing images. *Remote Sensing*, 10(2), 303. <https://doi.org/10.3390/rs10020303>
- Cariou, C., Chehdi, K., & Moan, S. L. (2020). Improved nearest neighbor density-based clustering techniques with application to hyperspectral images. *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 4127–4131. <https://doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053489>
- Costa, H., Foody, G. M., & Boyd, D. S. (2018). Supervised methods of image segmentation accuracy assessment in land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 205, 338–351. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.024>
- Delfan, E., Naghavi, H., Maleknia, R., & Nouredini, A. (2020). Comparing the capability of sentinel 2 and landsat 8 satellite imagery in land use and land cover mapping using pixel-based and object-based classification methods. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(25), 1–12. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.25.25>
- Hegyi, A., Vernica, M.-M., & Drăguț, L. (2020). An object-based approach to support the automatic delineation of magnetic anomalies. *Archaeological Prospection*, 27(1), 3–12. <https://doi.org/10.1002/arp.1752>

- Huang, H., Lan, Y., Yang, A., Zhang, Y., Wen, S., & Deng, J. (2020). Deep learning versus object-based image analysis (OBIA) in weed mapping of UAV imagery . *International Journal of Remote Sensing*, 41(9), 3446–3479. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1706112>
- Kramm, T., Hoffmeister, D., Curdt, C., Maleki, S., Khormali, F., & Kehl, M. (2017). Accuracy assessment of landform classification approaches on different spatial scales for the Iranian loess plateau . *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 366. <https://doi.org/10.3390/ijgi6110366>
- Laberte, A. S., Rango, A., Herrick, J. E., Fredrickson, E. L., & Burkett, L. (2007). An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. *Journal of Arid Environments*, 69(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.016>
- Lubis, A. R., Lubis, M., & Khowarizmi, A.-. (2020). Optimization of distance formula in k-nearest neighbor method . *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(1), 326–338. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i1.1464>
- Luo, S., Miao, D., Zhang, Z., & Wei, Z. (2020). Non-numerical nearest neighbor classifiers with value-object hierarchical embedding. *Expert Systems with Applications*, 150, 113206. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113206>
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., & Liu, Y. (2017). A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277–293. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. Object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1145–1161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.017>
- Papakonstantinou, A., Stamati, C., & Topouzelis, K. (2020). Comparison of true-color and multispectral unmanned aerial systems imagery for marine habitat mapping using object-based image analysis. *Remote Sensing*, 12(3), 554. <https://doi.org/10.3390/rs12030554>
- Radoux, J., & Bogaert, P. (2017). Good practices for object-based accuracy assessment. *Remote Sensing*, 9(7), 646. <https://doi.org/10.3390/rs9070646>
- Rozali, S., Latif, Z. A., Adnan, N. A., Hussin, Y., Blackburn, A., & Pradhan, B. (2020). Estimating feature extraction changes of berkelelah forest, Malaysia from multisensor remote sensing data using an object-based technique . *Geocarto International*, 0(ja), 1–15. <https://doi.org/10.1080/106049.2020.1852610>
- Song, A., Kim, Y., & Han, Y. (2020). Uncertainty Analysis for object-based change detection in very high-resolution satellite images using deep learning network . *Remote Sensing*, 12(15), 2345. <https://doi.org/10.3390/rs12152345>
- Tang, Z., Wang, H., Li, X., Li, X., Cai, W., & Han, C. (2020). An object-based approach for mapping crop coverage using multiscale weighted and machine learning methods . *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 1700–1713. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2983439>
- Wang, X., Liu, S., Du, P., Liang, H., Xia, J., & Li, Y. (2018). Object-based change detection in urban areas from high spatial resolution images based on multiple features and ensemble learning . *Remote Sensing*, 10(2), 276. <https://doi.org/10.3390/rs10020276>
- Wang, Z., Li, X., Jin, J., Liu, Z., & Liu, W. (2020). Unsupervised clustering of neighborhood associations and image segmentation applications. *Algorithms*, 13(12), 309. <https://doi.org/10.3390/a13120309>
- Wu, Y., & Zhang, X. (2020). Object-Based Tree Species classification using airborne hyperspectral images and lidar data . *Forests*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.3390/f11010032>
- Zhai, D., Dong, J., Cadisch, G., Wang, M., Kou, W., Xu, J., Xiao, X., & Abbas, S. (2018). Comparison of pixel- and object-based approaches in phenology-based rubber plantation mapping in fragmented landscapes . *Remote Sensing*, 10(1), 44. <https://doi.org/10.3390/rs10010044>

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 บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่จะเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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**

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.journal.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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 ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

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

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

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

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.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. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (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). เติลนิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวส์*, 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/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Intruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

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

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

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

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

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **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.journal.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-distict, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Orawich Goompol
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathnsi Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian R. Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

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