วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565

Volume 15 No.1 January – June 2022

ISSN: 1906-5337 (Print) / E-ISSN: 2672-9539 (Online)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

โทรศัพท์ 0 5423 7352 ต่อ 1339 โทรสาร 0 5424 1079

http://www.itech.lpru.ac.th

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ISSN: 1906-5337 (Print) / E-ISSN: 2672-9539 (Online) เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/Itech

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการมาเป็นปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ และเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการ เข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและเป็นการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไปอย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ และขออวยพรให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จและมีกำลังใจเพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางฉบับนี้ ดำเนินการมาเป็นปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลาง การเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และประชาสัมพันธ์ผลงานที่เกี่ยวข้องกับบทความวิชาการ บทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผลการดำเนินงานของคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ซึ่งได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม คณะทำงานมีความมุ่งมั่น และตั้งใจที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารให้ได้มาตรฐานของวารสาร ที่ได้การยอมรับในระดับอาเซียนต่อไป

จากผลการดำเนินการของ วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลา 14 ปี ที่ผ่านมา ที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ การใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยี และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิติกร
บรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี
สารจากบรรณาธิการ

CONTENTS

การศึกษางานและเวลามาตรฐานในการผลิตโอ่งมังกร กรณีศึกษาโรงโอ่งมังกร

Work Study and Standard Time for Processing Dragon Jars: Case Study of a Dragon Jar Factory

ธวัชชัย ประหยัดวงศ์[1*], เชิดชัย ธุระแพง[2], ทองแท่ง ทองลิ่ม[3] และชูศักดิ์ พรสิงห์[4]
Thawatchai Prayatwong[1*], Chertchai Thurapaeng[2], Tongtang Tonglim[3] and Choosak Pornsing[4]
[1*,2,3]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง 46 หมู่ 3 อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150
[4]คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ 6 ตำบลพระปฐมเจดีย์
อำเภอเมือง นครปฐม 73000 โทรศัพท์ 08 3256 7778 E-mail: 61a951018@mcru.ac.th
[1*,2,3]Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University
46 M. 3 Chom Bueng, Ratchaburi, 70150
[4]Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus
6 Phra Pathom Chedi, Muang, Nakhon Pathom, 73000
Tel. +668 3256 7778 E-mail: 61a951018@mcru.ac.th

วันที่รับบทความ 7 กุมภาพันธ์ 2565 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 13 มิถุนายน 265 **วันที่ตอบรับบทความ** 15 มิถุนายน 2565
Received: Feb. 7, 2022 **Revised:** Jun. 13, 2022 **Accepted:** Jun. 15, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษางานและเวลามาตรฐานการผลิตโอ่งมังกร ในกระบวนการผลิตที่มีการผลิตแบบตามคำสั่ง ใช้วิธีการศึกษาเวลาโดยตรงร่วมกับแบบประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงานระบบเวสติ้งเฮาส์โดยผู้เชี่ยวชาญ จากการหาเวลามาตรฐานโดยวิธีการจับเวลากิจกรรมย่อยใช้คำนวณหาจำนวนที่เหมาะสมโดยใช้ตาราง Maytag ที่ระดับคววามเชื่อมั่นร้อยละ 95 และความละเอียดแม่นยำร้อยละ 5 พบว่า จำนวนครั้งที่จับเวลาที่เหมาะสม 6 วัฎจักร นำเวลาเฉลี่ยเป็นตัวแทนที่ได้มาคำนวณกับค่าเผื่อเวลาแต่ละกิจกรรมย่อย พบว่ามีเวลามาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิตตามสถานีการผลิต ดังนี้ สถานีเตรียมดิน 12.34 นาที, สถานีปั้นโอ่ง 24.33 นาที, สถานีตีโอ่ง 20.28 นาที, สถานีเคลือบ 8.43 นาที และสถานีเตาเผา 5.31 นาที ผลจากการศึกษาเวลามาตรฐานถือว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในพิจารณาการควบคุมเวลาทำงาน การคำนวณต้นทุนและการวางแผนการผลิต เพื่อใช้เป็นแนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา
คำสำคัญ: โอ่งมังกร, แผนภูมิการไหล, การศึกษางาน, เวลามาตรฐาน

Abstract

The purpose of this research was to investigate the work study and standard time for producing dragon jars in the made by order production process. A direct time study was carried out in conjunction with an expert and using the Westinghouse Performance Assessment Scale. Optimal counts were calculated using the Maytag table with 95% confidence level and 5% accuracy. It was found that the number of time intervals suitable for 6 cycles was taken as the representative mean time

calculated with the time allowance for each sub-activity. It was found that the standard time used in the production process at the production station was as follows: clay preparation station- 12.34 minutes; forming station- 24.33 minutes; decoration station- 20.28 minutes; glazing station- 8.43 minutes; and kiln station- 5.31 minutes. Standard time studies can be considered as important in providing relevant background data, in relation to the control of working hours, cost calculation and production planning. Moreover, they can be used as the guidelines for increasing productivity in the pottery industry.
Keywords: Dragon Jar, Flow Process Chart, Work Study, Standard Time

1. บทนำ

การผลิตโอ่งมังกรของชาวจังหวัดราชบุรีในยุคแรก จะใช้ช่างชาวจีนที่เดินทางมารับจ้างเป็นช่างปั้นในประเทศไทยลวดลายต่าง ๆ จะเหมือนโอ่งมังกรที่ทำในประเทศจีนแทบทั้งหมด ต่อมาเมื่อหมดยุคของช่างชาวจีนจึงเหลือแต่ช่างชาวไทย ซึ่งได้เปลี่ยนรูปลายมังกรโดยเพิ่มลวดลายมาทางตามเอกลักษณ์ไทย แต่เนื่องจากภาวะทางเศรษฐกิจ โรงงานต้องผลิตโอ่งเป็นจำนวนมาก ช่างปั้นโอ่งจึงมีการเร่งรีบในการวาดลวดลาย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ลวดลายเปลี่ยนแปลงไป (Suainapanusorn & Toadithep, 2018) สำหรับขั้นตอนการผลิตโอ่งมังกรมีกระบวนการผลิต มีสถานีการผลิตตามกระบวนการผลิต ได้แก่ สถานีเตรียมดิน สถานีปั้นโอ่ง สถานีตีโอ่ง สถานีเคลือบ และสถานีเตาเผา

การศึกษาด้านสมรรถภาพการปฏิบัติงาน (Performance Rating) ได้ศึกษาระดับของผลงานในการทำงานตามวิธีเวสติงเฮาส์ (Westinghouse) ซึ่งอาศัยองค์ประกอบหลัก 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านทักษะ (Skill) 2) ด้านความพยายาม (Effort) 3) ด้านสภาพแวดล้อมการทำงาน (Conditions) และ 4) ความสม่ำเสมอ (Consistency) (Lukodono & Ulfa, 2017) แต่ละปัจจัยเหล่านี้โดยตรงสะท้อนให้เห็นในประสิทธิภาพการทำงานของแรงงาน ด้านทักษะ หมายถึงระดับความสามารถในการปฏิบัติตามวิธีการ สามารถกำหนดได้โดยประสบการณ์ ด้านความพยายาม หมายถึงความตั้งใจในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลต่อการทำงาน ด้านสภาพแวดล้อมการทำงาน หมายถึงการทำงานอยู่ในสภาพที่มีลักษณะเดียวกันตลอดเวลา และความสม่ำเสมอ หมายถึงในระหว่างกระบวนการผลิตพนักงานมีการทำงานอยู่สม่ำเสมอไม่มีการหยุดพัก (López et al., 2019)

การศึกษาเวลา (Time Study) เป็นเทคนิคในการวัดงานที่จะใช้การจับเวลาในงานปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานต่อหนึ่งงานตั้งแต่เริ่มจนเสร็จงาน และนำเวลาการทำงานที่ได้จากการวัดเวลามากำหนดเป็นเวลามาตรฐานของการทำงาน (Standard Time) ซึ่งจะนำเวลาที่ได้ไปใช้ในการจัดแผนการผลิตและกำหนดอัตราการผลิตที่เหมาะสมต่อการผลิตได้ ซึ่งในการรับรู้ข้อมูลเวลาในการปฏิบัติงานจะได้ทำให้เห็นถึงการใช้เวลาได้อย่างเหมาะสม และยังนำข้อมูลเวลาที่ได้มาวางแผนการผลิตให้เกิดประโยชน์มากที่สุด การจับเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานที่นิยมใช้คือ การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) (Kaewpia & Tosupan, 2021) โดยที่ผู้วิจัยเข้าไปศึกษาเก็บข้อมูลโดยการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม และจับเวลาในการทำงานด้วยโดยการใช้สมาร์ทโฟน

ถ่ายบันทึกเป็นวิดีโอการปฏิบัติงาน โดยงานที่ต้องการจะทำการจับเวลาจะถูกแบ่งเป็นขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดในทุกขั้นตอนการทำงานซึ่งจะเรียกว่า กิจกรรมย่อย (Element) ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด วิธีการวัดเวลามาตรฐานนี้เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง จึงทำให้เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือได้

จากการศึกษางานในกระบวนการผลิตโอ่งมังกร ยังไม่มีการเก็บข้อมูลและการบันทึกเวลาที่ใช้ในกิจกรรมย่อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการไหลของกระบวนการผลิตโอ่งมังกรราชบุรี โดยใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ร่วมกับการศึกษาเวลาโดยตรงในขั้นตอนการผลิตโอ่งมังกร มาวิเคราะห์หาเวลามาตรฐานของการทำงานซึ่งจะนำไปใช้ในการจัดแผนการผลิตที่เหมาะสมตามคำสั่งซื้อของลูกค้า เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนและหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน และหาเวลามาตรฐานในการทำงานในกระบวนการผลิตโอ่งมังกร เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตเซรามิกส์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการไหลของกระบวนการผลิตโอ่งมังกร กรณีศึกษา โรงงานผลิตโอ่งมังกร จังหวัดราชบุรี มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 กำหนดขอบเขตของการวิจัย คือ ศึกษาการไหลของกระบวนการผลิตโอ่งมังกรขนาดบรรจุน้ำได้ 70 ปี๊บ (Suainapanusorn & Toadithep, 2018)

3.2 การเก็บข้อมูล แบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการเก็บข้อมูลและบันทึกลงในตารางเก็บข้อมูล เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลในกระบวนการผลิต (Kaewpia & Tosupan, 2021) โดยการใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) และลักษณะพฤติกรรมการเคลื่อนไหวและท่าทางของแรงงานที่ปฏิบัติงานตามกิจกรรมย่อยในแต่ละสถานีการผลิต

2. ข้อมูลทุติภูมิ เป็นเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานในกิจกรรมย่อย โดยการสังเกตและจดบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกภาคสนาม (Dejtanon & Lopandung, 2021) ร่วมกับการบันทึกภาพเคลื่อนไหวเพื่อเก็บข้อมูลในภายหลังได้ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเองแบบไม่มีส่วนร่วม

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเวลามาตรฐานในปฏิบัติงาน ผู้วิจัยใช้แบบประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน (Westinghouse) ดังตารางที่ 1 ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการศึกษางานทางอุตสาหกรรม จำนวน 3 ท่าน นำมาหาค่าเฉลี่ยประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน (Average Rating)

3.4 การหาจำนวนครั้งที่เหมาะสม โดยทำการจับเวลาที่สถานีงานเตรียมดินกิจกรรมย่อย คือการขนย้ายดินใส่เครื่องนวดดิน คำนวณหาค่าพิสัย (Rang) จากค่าสูงสุด (High) ลบด้วยค่าต่ำสุด (Low) ดังสมการที่ 1 นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย จากผลรวมของเวลากิจกรรมย่อย ดังสมการที่ 2 นำค่าพิสัยหารด้วยค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้ไปเปิดตาราง Maytag เพื่อหาจำนวนจับเวลาที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 และความละเอียดแม่นยำร้อยละ 5 (Cheewaworanontree et al., 2018)

$$\text{Rang} = \text{High} - \text{Low} \quad (1)$$

$$\bar{X} = \sum X_i / N \quad (2)$$

3.5 การวัดผล การเก็บข้อมูลโดยใช้การสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ทำการจับเวลาโดยตรงแบบวิธีจับซ้ำ (Repetitive Timing) ถ้าวัฏจักรงานสั้นกว่า 2 นาที จับเวลามา 10 ครั้ง และถ้าวัฏจักรงานยาวกว่า 2 นาที ให้จับเวลามา 5 ครั้ง ในการวิจัยครั้งนี้ มีกิจกรรมย่อยในแต่ละงานมีเวลาไม่เกิน 2 นาที จับเวลาจำนวน 10 ครั้ง (Kuaites, 2021) แปลงหน่วยเป็นวินาที

3.6 การคำนวณหาค่าเวลาเฉลี่ย (Selected Time) เป็นค่าเฉลี่ยจากการจับเวลาที่ได้จากจับเวลาโดยตรงจากการปฏิบัติงานของแรงงาน การประเมินอัตราเร็ว (Rating Factor), ค่าเวลาปกติ (Normal Time) และเวลาเผื่อ (Allowance Time) เพื่อใช้ประกอบการหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) ของการทำงาน (Kaewpia & Tosupan, 2021) ดังสมการที่ 3

$$\%\text{ Rating of Factor} = \text{Average Rating} + 1 \quad (3)$$

$$\text{Normal Time} = \text{Selected Time} \times \%\text{ Rating of Factor} \quad (4)$$

$$\text{Standard Time} = \text{Normal Time} + (\text{Normal Time} \times \text{Allowance Time}) \quad (5)$$

ตารางที่ 1 คะแนนในการประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน

Skill			Effort			Condition			Consistency		
Super skill	+0.15	A1	Excessive	+0.13	A1	Ideal	+0.06	A	Perfect	+0.04	A
Super skill	+0.13	A2	Excessive	+0.12	A2	Excellent	+0.04	B	Excellent	+0.03	B
Excellent	+0.11	B1	Excellent	+0.10	B1	Good	+0.02	C	Good	+0.01	C
Excellent	+0.08	B2	Excellent	+0.08	B2	Average	0.00	D	Average	0.00	D
Good	+0.06	C1	Good	+0.05	C1	Fair	-0.03	E	Fair	-0.02	E
Good	+0.03	C2	Good	+0.02	C2	Poor	-0.07	F	Poor	-0.04	F
Average	0.00	D	Average	0.00	D						
Fair	-0.05	E1	Fair	-0.04	E1						
Fair	-0.10	E2	Fair	-0.08	E2						
Poor	-0.16	F1	Poor	-0.12	F1						
Poor	-0.22	F2	Poor	-0.17	F2						

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษากิจกรรมย่อยในกระบวนการผลิตโอ่งมังกร

การศึกษากิจกรรมย่อยในกระบวนการผลิตโอ่งมังกรในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา ประกอบด้วย 5 สถานี มีดังนี้

1. สถานีเตรียมดิน วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตโอ่งมังกรเป็นดินเหนียวที่ขุดได้จากแหล่งดินจากอำเภอโพธาราม มาเก็บไว้บริเวณในโรงงาน คนงานใช้รถบรรทุกขนาดเล็กขนดินเหนียวมาแช่ในบ่อหมักดิน ผสมกับทรายละเอียดและน้ำ หมักทิ้งไว้ 2 - 3 วัน เมื่อได้เวลาคนงานจะใช้เหล็กเสียม ตักดินขึ้นไว้บริเวณขอบบ่อหมักดิน นำเข้าเครื่องนวดดินให้ดินเหนียวกับทรายละเอียดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขนไปส่งสถานีปั้นโอ่งด้วยรถเข็น ดังภาพที่ 1

2. สถานีปั้นโอ่ง ขนดินใส่เครื่องนวดดิน แล้วแบ่งดินเป็นท่อนๆสำหรับปั้นโอ่ง ช่างปั้นโอ่งจะโรยขี้เถ้าบนแป้นหมุนไฟฟ้า แล้วนำดินวางบนตรงกลางปั้นหมุน ใช้มือปั้นเป็นฐานของโอ่ง มีผู้ช่วยช่างปั้นทำหน้าที่ช่วยยกงานที่ปั้นเสร็จแล้วออกจากแป้น ตกแต่งความเรียบร้อย และขนย้ายไปพื้นที่จัดเก็บ ช่างปั้นจะปั้นโอ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ฐานโอ่ง ส่วนกลางโอ่ง และปากโอ่ง ซึ่งการต่อแต่ละส่วนของโอ่งจะต้องใช้เวลาในการผึ่งลมให้หมาด ใช้เวลา 1 วัน ดังภาพที่ 2, 3

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 สถานีเตรียมดิน (ก) บ่อหมักดิน (ข) ขุดดินขึ้นจากบ่อหมักดิน (ค) นวดดินเหนียวกับทราย

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2 การปั้นฐานโอ่ง (ก) ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (ข) ขึ้นรูปให้ได้ขนาด (ค) ใช้อุปกรณ์ช่วยทรงตัว

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3 การปั้นปากโอ่ง (ก) ตั้งศูนย์ (ข) ต่อท่อนดินปั้นโอ่ง (ค) การยกโอ่งออกจากแป้นหมุน

3. สถานีตีโอ่ง ช่างตีโอ่งจะย้ายโอ่งวางบนแป้นเหล็กกลมที่รองด้วยยางรถยนต์ เพื่อลดการกระแทรก ช่างตีโอ่งจะใช้ ฮวยหลุบประคองด้านในตัวโอ่งและใช้ไม้ต๊าตีด้านนอกของโอ่ง พร้อมทั้งเดินรอบโอ่ง โอ่งจะมีรูปทรงป่องขึ้นและผิวเรียบ หลังจากนั้นย้ายโอ่งไปยังแป้นหมุนสำหรับตกแต่งเขียนลาย ช่างเขียนลายใช้ดินขาวเขียนลายเส้น ด้านบนและด้านล่าง ส่วนลายมังกรจะใช้แผ่นพลาสติกฉลุลายทาบตัวโอ่งแล้วทาด้วยดินขาวทั้งสองด้านของโอ่ง เสร็จแล้วนำไปวางบนพื้นที่จัดเก็บและผึ่งลมให้หมาด ดังภาพที่ 4

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4 สถานีตีโอ่ง (ก) ฮวยหลุบกับไม้ต๊า (ข) ตีโอ่งพร้อมทั้งเดินรอบโอ่ง (ค) ตกแต่งเขียนลาย

4. สถานีเคลือบ คนงานผู้ช่วยช่างชุบเคลือบขนย้ายโอ่งจากสถานีตีโอ่งและเขียนลายด้วยรถเข็น ช่างชุบเคลือบนำน้ำเคลือบเทราดภายในโอ่ง ผู้ช่วยจะตักน้ำเคลือบส่วนที่เหลือออก นำโอ่งมาวางบนแผ่นผ้าใบที่รองรับน้ำเคลือบ ช่างชุบเคลือบเทราดน้ำเคลือบภายนอกตัวโอ่งให้ทั่ว เสร็จแล้วนำไปวางบนพื้นที่จัดเก็บ ดังภาพที่ 5

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 สถานีเคลือบ (ก) ขนย้ายโอ่ง (ข) เทราดเคลือบด้านในโอ่ง (ค) เทราดเคลือบด้านนอกโอ่ง

5. สถานีเตาเผา คนงานขนชิ้นงานออกจากเตาเผา ทำความสะอาดและปรับพื้นเตาให้เรียบ นำโอ่งเข้าเตาเผาทางประตูเตาทางด้านท้ายเตา เนื่องจากโอ่งมังกรมีขนาดใหญ่จำเป็นต้องได้รับความร้อนในการเผาอย่างช้า ๆ หลังจากการลำเลียงงานเข้าเตาเผา จะเริ่มจุดไฟจากปากเตาเผาโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ใช้เวลาในการเผาประมาณ 24 - 28 ชั่วโมง หลังจากทิ้งให้เตาเย็นตัวลงอีก 1 วัน คนงานจะลำเลียงโอ่งมังกร และผลิตภัณฑ์อื่นออกจากเตาเผาไปเก็บโรงเก็บสินค้ารอการจำหน่าย

ตารางที่ 2 การไหลของกระบวนการผลิตโอ่งมังกรราชบุรี

Event Description		Symbol					Time (m)	Distance (M)	Man
		○	⇨	D	□	▽			
1	**สถานีเตรียมดิน**								2
	ขนดินใส่เครื่องนวดดิน		⇨				5	2	
	ทำการนวดดิน	○					10		
	นำดินไปส่งสถานีปั้น		⇨				5	5	
2	**สถานีปั้นโอ่ง**								3
	นำดินใส่เครื่องนวดดิน	○					1	1	
	ปั้นส่วนก้นโอ่ง	○					5		
	นำไปผึ่งให้หมาด			D			3	10	
	นำส่วนก้นโอ่งมาแป้นหมุน		⇨				3	10	
	ปั้นส่วนลำตัวโอ่ง	○					5		
	นำไปผึ่งให้หมาด			D			3	10	
	นำตัวโอ่งมาที่แป้นหมุน		⇨				3	10	
	ปั้นส่วนปากโอ่ง	○					5		
	นำไปผึ่งลมที่สถานีตีโอ่ง			D			4	20	
3	**สถานีตีโอ่ง**								2
	นำโอ่งมาที่แป้นตีโอ่ง		⇨				3	10	
	เดินตีรอบตัวโอ่ง	○					10		
	นำโอ่งมาที่แป้นเขียนลาย		⇨				0.30	1	
	เขียนลายและตกแต่ง	○					5		
	นำโอ่งผึ่งลมให้แห้ง			D			3	10	
4	**สถานีเคลือบ**								2
	ขนโอ่งด้วยรถเข็น		⇨				15	200	
	ราดน้ำเคลือบทั่วตัวโอ่ง	○					3		
5	**สถานีเตาเผาโอ่ง**								5
	ขนโอ่งเข้าเตาเผา		⇨				5	15	
	เผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส	○					1440		
	ตรวจสอบและคัดคุณภาพ				□		30		
	ขนโอ่งไปที่โรงเก็บสินค้า		⇨				3	10	
ผลรวม							**1569.30**	**314**	

ตารางที่ 3 ผลประเมินการทำงานในกระบวนการปั้นโอ่งมังกรตามวิธีเวสติงเฮาส์

Event Description	ผลประเมินอัตราความเร็ว												
	Skill			Effort			Condition			Consistency			Average Rating
ผู้เชี่ยวชาญ	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1 สถานีเตรียมดิน													
ขนดินใส่เครื่องนวดดิน	D	C1	C1	C2	C1	B1	D	D	B	D	C	A	0.13
ทำการนวดดิน	D	D	B1	D	D	C1	D	B	A	D	B	B	0.11
นำดินไปส่งสถานีปั้น	D	B2	C1	D	B2	C2	D	C	C	D	C	B	0.10
2 สถานีปั้นโอ่ง													
นำดินใส่เครื่องนวดดิน	D	C2	C1	D	C2	C2	D	D	B	D	C	A	0.07
ปั้นส่วนก้นโอ่ง	A1	B1	A1	B1	B1	A1	B	C	A	B	B	A	0.32
นำไปผึ่งให้หมาด	C2	C2	C2	C2	C1	C2	D	B	B	C	B	B	0.11
นำส่วนก้นโอ่งมาแป้นหมุน	C2	A2	B2	C2	A2	C1	D	B	C	C	B	C	0.18
ปั้นส่วนลำตัวโอ่ง	A1	A2	A1	A2	A2	A1	B	B	A	B	B	A	0.35
นำไปผึ่งให้หมาด	C2	C2	C2	C2	C1	C2	D	A	B	C	B	B	0.11
นำตัวโอ่งมาที่แป้นหมุน	C2	A2	B2	C2	A2	C1	D	A	C	C	B	C	0.19
ปั้นส่วนปากโอ่ง	A1	A1	A1	A2	A1	A1	B	A	A	B	A	A	0.37
นำไปผึ่งลมที่สถานีตีโอ่ง	C2	C1	C2	C2	B2	C2	D	B	B	C	B	B	0.13
3 สถานีตีโอ่ง													
นำโอ่งมาที่แป้นตีโอ่ง	C2	C2	B	C2	C1	C1	D	B	C	C	B	B	0.13
เดินตีรอบตัวโอ่ง	A2	A2	A1	A2	A2	A1	C	B	A	C	B	A	0.33
นำโอ่งมาที่แป้นเขียนลาย	C2	A1	B2	C2	A1	C1	D	A	C	C	A	C	0.20
เขียนลายและตกแต่ง	A1	A1	A1	A1	A2	A1	A	A	A	A	A	A	0.38
นำโอ่งผึ่งลมให้แห้ง	C2	C2	C2	C2	C1	C2	D	B	B	C	B	B	0.11
4 สถานีเคลือบ													
ขนโอ่งและขนน้ำเคลือบ	C2	A2	B2	C2	A2	C1	D	C	C	C	C	B	0.17
ราดน้ำเคลือบทั่วตัวโอ่ง	C2	B1	A2	C2	B1	A2	D	B	A	C	B	A	0.23
5 สถานีเตาเผาโอ่ง													
ขนโอ่งเข้าเตาเผา	C1	A2	A2	C1	A2	A2	B	C	B	B	C	B	0.26
ตรวจสอบและคัดคุณภาพ	A2	A1	A1	B2	A1	B1	A	B	A	A	B	B	0.33
ขนโอ่งไปที่โรงเก็บสินค้า	C2	A1	B2	C2	A1	B2	D	B	B	C	A	B	0.22

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณค่าเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตโอ่งมังกร

Event Description		Selected Time (s)	Average Rating	% Rating of Factor	Normal Time (s)	Allowance Time(%A)	Standard Time (s)
1	**สถานีเตรียมดิน**						754.16
	ขนดินใส่เครื่องนวดดิน	160	0.13	1.13	180.80	10	198.88
	ทำการนวดดิน	210	0.11	1.11	233.10	10	256.41
	นำดินไปส่งสถานีปั้น	247	0.10	1.10	271.70	10	298.87
2	**สถานีปั้นโอ่ง**						1472.94
	นำดินใส่เครื่องนวดดิน	90	0.07	1.07	96.30	10	105.93
	ปั้นส่วนก้นโอ่ง	208	0.32	1.32	274.56	10	302.016
	นำไปผึ่งให้หมาด	60	0.11	1.11	66.60	10	73.26
	นำส่วนก้นโอ่งมาแป้นหมุน	30	0.18	1.18	35.40	10	38.94
	ปั้นส่วนลำตัวโอ่ง	268	0.35	1.35	361.80	10	397.98
	นำไปผึ่งให้หมาด	60	0.11	1.11	66.60	10	73.26
	นำตัวโอ่งมาที่แป้นหมุน	30	0.19	1.19	35.70	10	39.27
	ปั้นส่วนปากโอ่ง	244	0.37	1.37	334.28	10	367.708
	นำไปผึ่งลมที่สถานีตีโอ่ง	60	0.13	1.13	67.80	10	74.58
3	**สถานีตีโอ่ง**						1228.04
	นำโอ่งมาที่แป้นตีโอ่ง	60	0.13	1.13	67.80	10	74.58
	เดินตีรอบตัวโอ่ง	400	0.33	1.33	532.00	10	585.2
	นำโอ่งมาที่แป้นเขียนลาย	30	0.20	1.20	36.00	10	39.60
	เขียนลายและตกแต่ง	300	0.38	1.38	414.00	10	455.4
	นำโอ่งผึ่งลมให้แห้ง	60	0.11	1.11	66.60	10	73.26
4	**สถานีเคลือบ**						521.73
	ขนโอ่งและขนน้ำเคลือบ	90	0.17	1.17	105.30	10	115.83
	ราดน้ำเคลือบทั่วตัวโอ่ง	300	0.23	1.23	369.00	10	405.90
5	**สถานีเตาเผาโอ่ง**						330.99
	ขนโอ่งเข้าเตาเผา	120	0.26	1.26	151.20	10	166.32
	ตรวจสอบและคัดคุณภาพ	30	0.33	1.33	39.90	10	43.89
	ขนโอ่งไปที่โรงเก็บสินค้า	90	0.22	1.22	109.80	10	120.78

4.2 ผลการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

1. หาจำนวนจับเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 และความละเอียดแม่นยำร้อยละ 5 โดยทำการจับเวลาที่สถานีงานเตรียมดินกิจกรรมย่อย คือการขนย้ายดินใส่เครื่องนวดดิน จำนวน 10 ครั้ง มีดังนี้ 150, 160, 160, 165, 165, 170, 155, 160, 155 และ 160 วินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 160 วินาที คำนวณหาค่าพิสัย มีค่าเท่ากับ 20 วินาที นำค่าพิสัยหารด้วยค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.125 ค่าที่ได้ไปเปิดตาราง Maytag ได้จำนวนการจับเวลาที่เหมาะสม 6 วัฏจักร

2. การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา ของกิจกรรมย่อยที่ใช้ในกระบวนการผลิตแต่ขั้นตอนการผลิตโอ่งมังกรในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา โดยการศึกษาด้านสมรรถภาพการปฏิบัติงานได้ศึกษาระดับของผลงานในการทำงานตามวิธีเวสติงเฮาส์ ตามตารางที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลขั้นตอนการผลิตโอ่งมังกรได้ขอความอนุเคราะห์ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการศึกษางานทางอุตสาหกรรม จำนวน 3 ท่าน พิจารณาและประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน นำมาคิดน้ำหนักการประเมินสมรรถภาพเป็นค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 3 โดยขอยกตัวอย่างการคำนวณในกิจกรรมย่อย ขนดินใส่เครื่องนวดดิน ผู้เชี่ยวชาญที่คนที่ 1 ประเมินด้านทักษะเท่ากับ D ด้านความพยายามเท่ากับ C2 ด้านสภาพแวดล้อมการทำงานเท่ากับ D และความสม่ำเสมอเท่ากับ D ผลประเมินรวมเท่ากับ 0.02 ผู้เชี่ยวชาญที่คนที่ 2 ประเมินด้านทักษะเท่ากับ C1 ด้านความพยายามเท่ากับ C1 ด้านสภาพแวดล้อมการทำงานเท่ากับ D และความสม่ำเสมอเท่ากับ C ผลประเมินรวมเท่ากับ 0.12 ผู้เชี่ยวชาญที่คนที่ 3 ประเมินด้านทักษะเท่ากับ C1 ด้านความพยายามเท่ากับ B1 ด้านสภาพแวดล้อมการทำงานเท่ากับ B และความสม่ำเสมอเท่ากับ A ผลประเมินรวมเท่ากับ 0.24 รวมผลคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้เท่ากับ 0.38 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 เป็นต้น

3. การคำนวณหาค่าเวลามาตรฐาน เป็นค่าเฉลี่ยจากการจับเวลาที่ได้จากการปฏิบัติงานของแรงงาน การประเมินอัตราเร็ว, ค่าเวลาปกติ และเวลาเผื่อ (Kaewpia & Tosupan, 2021) เพื่อใช้ประกอบการหาเวลามาตรฐานของการทำงาน มีผลการคำนวณค่าเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตโอ่งมังกร ดังตารางที่ 4 โดยขอยกตัวอย่างการคำนวณในกิจกรรมย่อย ขนดินใส่เครื่องนวดดิน ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 160 วินาที ผลประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 อัตราความเร็วเท่ากับ 1.13 ค่าเวลาปกติเท่ากับ 180.80 วินาที เวลาเผื่อร้อยละ 10 และเวลามาตรฐานเท่ากับ 198.88 วินาที เป็นต้น

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาเป็นเทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลาและอัตราการทำงาน ของส่วนงานย่อยของงานชิ้นหนึ่ง และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำงานชิ้นหนึ่งได้ ซึ่งการศึกษาเวลานี้จะเกี่ยวกับการวัดผลงานโดยตรง และผลที่ได้จะถูกกำหนดให้ออกมาหน่วยเป็นวินาที เป็นการประยุกต์ใช้การประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงาน โดยมีผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน เพื่อเป็นข้อมูลผลการศึกษาการทำงาน พบว่ามีเวลามาตรฐานตามสถานีการผลิต ดังนี้ สถานีเตรียมดิน 12.34 นาที, สถานีปั้นโอ่ง 24.33 นาที, สถานีตีโอ่ง 20.28 นาที, สถานีเคลือบ 8.43 นาที และสถานี

เตาเผา 5.31 นาที จากการวิเคราะห์การผลิตโอ่งมังกร 1 ใบ ได้เวลามาตรฐานในการผลิตโอ่งมังกร คือ 65.38 นาที เมื่อคำนวณเวลาทำงาน 1 วันทำงานมีเวลา 7 ชั่วโมง สามารถผลิตโอ่งมังกรเฉลี่ยวันละ 6 ใบ ซึ่งเป็นข้อมูลในการทำงานและใช้เป็นตัวกำหนดและวางแผนในการผลิตต่อไป

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษากระบวนการผลิตโอ่งมังกรในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา โดยการศึกษาขั้นตอนการทำงานของแรงงาน ผลจากการศึกษาเวลามาตรฐานครั้งถือว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในพิจารณาการวางแผนการผลิต และการปรับปรุงงานที่มีประสิทธิภาพ จากการผลการวิจัยครั้งนี้ใช้การประเมินสมรรถภาพการปฏิบัติงานตามวิธีเวสติงเฮาส์โดยผู้เชี่ยวชาญ สามารถดำเนินการในรูปแบบออนไลน์ หรือส่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อความสะดวกและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงโอ่งรัตนโกสินทร์ 1 จังหวัดราชบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Athikulrat, K. (2018). A Standard Time Study of Install the Paint Mold: A Case Study of Plastic Bag Manufacturing Company. *Journal of Engineering, RMUTT*, *17*(1), 77-90. (in Thai)

Cheewaworanontree, W., et al. (2018). Motion and Time Study: A Case Study on A Short-Time Hydrostatic Failure Pressure Testing Process of Rigid PVC Plain-End Pipes. *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, *6*(1), 26-38. (in Thai)

Dejtanon, W., & Lopandung, J. (2021). Productivity of the Drinking Water Filling Process: Case Study of Thap Kaew Drinking Water Plant Nakhon Ratchasima Rajabhat University. I*ndustrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, *14*(2), 62-74. (in Thai)

Kaewpia, T., & Tosupan, N. (2021). Work Improvement in Herbal Medicine Process using by Work Method and Time Study. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, *14*(1), 37-51. (in Thai)

Kuaites, T. (2021). Calculating the Standard Time of Workers: A case Study in Hotel Industry. *Journal of Logistics and Supply Chain College*, *7*(1), 5-18. (In Thai)

López, J., et al. (2019). Simultaneous Non-Intrusive Monitoring of Environmental Parameters for Standard Time Synchronization as Part of the Westinghouse System of Rating in the Industrial Sector. *International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)*, 87-90.

Lukodono, R. P., & Ulfa, S. K. (2017). Determination of Standard Time in Packaging Processing using Stopwatch Time Study to Find Output Standard. *Journal of Engineering and Management Industrial System*, *5*(2), 87-94.

Suainapanusorn, J., & Toadithep, T. (2018). Changes in Local Wisdom of Glazed Water Jar with Dragon Pattern in Mueang District Ratchaburi Province, *Journal for Social Sciences Research*, *9*(2), 9-24. (in Thai)

สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าความร้อนสูงด้วยค่าการวิเคราะห์โดยประมาณของชีวมวลและถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และซังข้าวโพด

Proximate Analysis Based Higher Heating Value Correlation of Biomass and Biochar from Cacao Husk and Corncob

นงนุช ศรีเล็ก[1], ปรานต์ เมฆอากาศ[2], วิภาวรรณ นันโท[3], พรหทัย พุทธวัน[4] และสิทธิกฤต เหล็กพูล[5*]
Nongnoot Srilek[1], Pran Makarkard[2], Wipawan Nunto[3], Pornhathai Putthawan[4]
and Sitthikrit Leckpool[5*]
[1,2,5*]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[3,4] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 ถนนพหลโยธิน อ.เมืองเชียงราย จ.เชียงราย 57100
โทรศัพท์ 08 3573 1028 โทรสาร 0 5377 6015 อีเมล์ : sitthikrit.lec@crru.ac.th
[1,2,5*] Faculty of Industrial Technology,Chiang Rai Rajabhat University,
[3,4]Factory of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University
80 Phaholyotin Rd. Muang Chiang Rai, Thailand, 57100, Tel. +668 3573 1028, Fax. +66 5377 6015,
E-mail: sitthikrit.lec@crru.ac.th

วันที่รับบทความ 28 ธันวาคม 2564 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 22 มิถุนายน 2565 **วันที่ตอบรับบทความ** 22 มิถุนายน 2565
Received: Dec. 28, 2021 **Revised:** Jun. 22, 2022 **Accepted:** Jun. 22, 2022

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการคัดเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสม สำหรับการทำนายค่าความร้อนสูงโดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบ โดยประมาณของชีวมวลสองชนิดซึ่งเป็นชีวมวลคงเหลือจากพืชเศรษฐกิจในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ได้แก่ เปลือกโกโก้และซังข้าวโพด และถ่านชีวภาพจากชีวมวลทั้งสองซึ่งผลิตจากกระบวนการทอริแฟกชั่น โดยใช้สหสัมพันธ์สองกลุ่ม คือ สหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยประมาณและสหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุจำนวน 31 สหสัมพันธ์มาคำนวณเปรียบเทียบกับชีวมวลและถ่านชีวภาพตัวอย่าง โดยพบว่า สหสัมพันธ์ในกลุ่มสหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ PC15 มีความแม่นยำสูงสุดที่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย MAE = 4.69% จึงเป็นสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความร้อนสูงของชีวมวล และถ่านชีวภาพจากชีวมวลที่ทำการศึกษาตามเกณฑ์การคัดเลือกที่ได้นำเสนอไว้

คำสำคัญ: สหสัมพันธ์ค่าความร้อนสูง, เปลือกโกโก้, ซังข้าวโพด, ถ่านชีวภาพ

Abstract

This research article presents a selection routine for the higher heating value prediction correlations based on the proximate composition data. Thirty-one correlations from two different types - proximate analysis-based correlations and ultimate analysis - based correlations - were computed and validated against the experimental data from two Chiang Rai regional crop residue biomasses, including cacao husk and corncob, as well as their torrefied biochar. The result showed that the correlation PC15 was the most accurate in our study with the mean absolute error MAE = 4.69%.

Keywords: Higher heating value correlations, Cacao husk, Corncob, Biochar

1. บทนำ

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2561 - 2580 (Alternative energy development plan : AEDP2018) กำหนดเป้าหมายใน พ.ศ.2580 ให้มีการผลิตพลังงานความร้อนจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนคงเหลือประเภทชีวมวล ปริมาณ 23,000 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือร้อยละ 35.60 ของพลังงานความร้อนที่ต้องการทั้งหมด ในจังหวัดทางภาคเหนือมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและกลุ่มเกษตรกรทางการเกษตรหลายชนิด ได้แก่ ข้าว โกโก้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง อ้อย ลำไย ปาล์ม ฟางข้าว เป็นต้น ชีวมวลเหลือทิ้งจากผลผลิตเหล่านี้มีศักยภาพด้านปริมาณ จากข้อมูลของคณะทำงานพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านพืช ภาคเหนือ พ.ศ.2560 พบว่า จังหวัดเชียงรายมีผลผลิตข้าวโพด 263,293 ตัน (ปีเพาะปลูก พ.ศ.2558/2559) โดยมีแหล่งสำคัญ ได้แก่ อำเภอแม่สรวย เวียงป่าเป้า เทิง และ เวียงแก่น ตามลำดับ จะมีซังข้าวโพดเกิดขึ้น ร้อยละ 19 ของปริมาณข้าวโพดที่เก็บเกี่ยว คิดเป็น 50,025 ตัน นอกจากนี้ ในอำเภอแม่จัน มีกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกโกโก้เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากโกโก้เชิงพาณิชย์ โดยเกิดวัสดุเหลือทิ้งเปลือกโกโก้เป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่แล้วชีวมวล (Biomass) มีค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV) ประมาณ 16-19 MJ/kg (Wilson, Yang, Blasiak, John, & Mhilu, 2011) จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความร้อน ซึ่งกระบวนการทอริแฟกชั่น (Torrefaction) เป็นการเพิ่มความหนานแน่นพลังงาน (Energy density) รูปแบบหนึ่ง เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนจำกัด เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของชีวมวล ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนให้มีปริมาณของคาร์บอนเพิ่มขึ้นและลดปริมาณของออกซิเจนให้ต่ำลง โดยทั่วไปมีอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 200 - 300 ^{o}C (Basu, 2013, 13) ทำให้ได้ถ่านชีวภาพ (Biochar) ที่มีศักยภาพด้านความร้อนเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและขนส่ง

จากการวิจัยพบว่ามีการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากชีวมวลวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย เช่น ซังข้าวโพด (Onsree & Tippayawong, 2020) ฟางข้าว (Kaewpengkrow (Rittichote) et al, 2020, pp. 27 - 35) ทุเรียน (Saueprasearsit et al, 2020, pp. 580 - 586) เป็นต้น ถ่านชีวภาพที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV), องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate composition) ได้แก่ ร้อยละโดยมวล/มวล (%wt) ของความชื้น (Moisture, M), สารระเหยได้ (Volatile mater, VM),

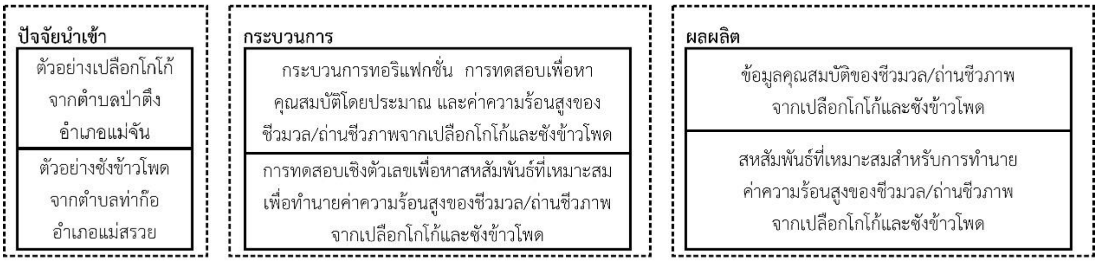
คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) และเถ้า (Ash, ASH) และองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Elemental composition) ซึ่งแสดงเป็นปริมาณร้อยละของโดยมวล/มวล ของคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) คุณสมบัติเหล่านี้บ่งบอกถึงคุณภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งหากการผลิตถ่านชีวภาพจากชีวมวลต่างชนิด ด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา อัตราการให้ความร้อน มีความจำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติที่จำเป็นเหล่านี้ทุกครั้งไป ในต่างประเทศ มีการศึกษาการทำนายค่าความร้อนสูง โดยใช้สหสัมพันธ์ (Correlation) อย่างกว้างขวาง (Acar & Ayanoglu, 2012; Nhuchhen & Afzal, 2017) สำหรับประเทศไทยนั้น การใช้สหสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าความร้อนสูงจากผลผลิตหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และการนำไปประยุกต์ใช้นั้นยังไม่แพร่หลายนัก ประกอบกับการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงนั้นใช้เครื่องมือที่มีค่าใช้จ่ายสูงจากเหตุผลข้างต้น จึงทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเสนอการใช้สหสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าความร้อนสูง นอกเหนือจากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์โดยตรง อย่างไรก็ดี สหสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าความร้อนสูงมีความหลากหลาย การเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกหาสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถ่านชีวภาพที่ทำการศึกษา ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute error หรือ MAE) ระหว่างค่าจากการวิเคราะห์คุณสมบัติและค่าจากการคำนวณสหสัมพันธ์ โดยใช้ค่าความร้อนสูงที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้ศึกษา เปรียบเทียบกับค่าความร้อนสูงที่ได้จากการคำนวณด้วยสหสัมพันธ์ จากบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 31 สหสัมพันธ์ ซึ่ง จำแนกเป็น 2 กลุ่มคือ สหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis-Based Correlations) และ สหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis-Based orrelations)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อคัดเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสม สำหรับการทำนายค่าความร้อนสูงจากถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และซังข้าวโพด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เป็นการคัดเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความร้อนสูง โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนสูงของชีวมวล 2 ชนิด ได้แก่ เปลือกโกโก้ (Cocoa husk) และซังข้าวโพด (Corncob) และถ่านชีวภาพจากชีวมวลดังกล่าว โดยเตรียมถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการทอริแฟกชั่นและนำไปทดสอบองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนสูง ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดและกระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.1 เตรียมถ่านชีวภาพจากชีวมวล 2 ชนิด ได้แก่ เปลือกโกโก้ จากแหล่งผลิตโกโก้ ตำบลป่าตึง อำเภอแม่จัน และซังข้าวโพด จากตำบลท่าก๊อ อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย โดยนำเปลือกโกโก้จำนวน 15 กิโลกรัม มาผลิตเป็นถ่านชีวภาพด้วยเตาสำหรับทอริแฟกชั่น (Uprakul and Srilek, 2021, pp. 1155 - 1167) โดยอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาเป็น 280 °C ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 150 นาที (Pukhampuang et al. 2021, pp. 19 - 20) ถ่านชีวภาพที่ได้หลังเสร็จสิ้นกระบวนการนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณ Solid yield ดำเนินการเช่นเดียวกันโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ จากนั้นนำชีวมวลและถ่านชีวภาพที่ได้ไปหาค่าความร้อนสูง โดยใช้เครื่อง Calorimeter (Parr™) 6400 และวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น สารระเหยได้ คาร์บอนคงตัว และเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM D7582

3.2 การคัดเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสม เพื่อทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับถ่านชีวภาพจากกระบวนการทอริแฟกชั่นของชีวมวลที่ทำการศึกษา

1) สหสัมพันธ์ที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นสหพันธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการและได้ถูกรวบรวมไว้ในบทความวิจัยของ (Nhuchhen & Afzal, 2017) จำนวน 31 สหสัมพันธ์ โดยจำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือสหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณตามตารางที่ 1 และสหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ตามตารางที่ 2

2) ขั้นตอนการคำนวณค่าความร้อนสูงจากสหพันธ์ การคำนวณดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2 ได้ถูกเขียนด้วยชุดคำสั่งภาษา Python โดยมีค่านำเข้าการคำนวณ คือ ค่าร้อยละโดยมวล/มวล (%wt) ของคาร์บอนคงตัว (FC) และค่าสารระเหยได้ (VM) ที่ได้จากวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณจากชีวมวลและถ่านชีวภาพที่ทำการศึกษา สำหรับปริมาณร้อยละโดยมวล/มวลของเถ้า (ASH) สามารถคำนวณได้จาก (Basu, 2013, p.79)

$$ASH = 100 - FC - VM \tag{1}$$

จากนั้นใช้สหสัมพันธ์จากตารางที่ 3 ประมาณค่าองค์ประกอบแบบแยกธาตุจากค่าองค์ประกอบโดยประมาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสหสัมพันธ์เพื่อทำนายองค์ประกอบแบบแยกธาตุอีกจำนวน 2 สหสัมพันธ์ โดยปริมาณร้อยละโดยมวล/มวล ของไนโตรเจน (N) สามารถคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันกับค่าปริมาณเถ้า (Basu, 2013, p.79) คือ

$$N = 100 - C - H - O \tag{2}$$

โดยที่ C, H, O คือ ปริมาณร้อยละโดยมวล/มวลของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ตามลำดับ

ค่าองค์ประกอบดังกล่าวมานี้ถูกใช้เป็นค่านำเข้า (Input) สำหรับการคำนวณสหสัมพันธ์ โดยจำแนกตามประเภทของององค์ประกอบ ดังภาพที่ 2 ทำให้มีรูปแบบการคำนวณรวมทั้งสิ้น 43 รูปแบบ

ตารางที่ 1 สหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis-Based Correlations)

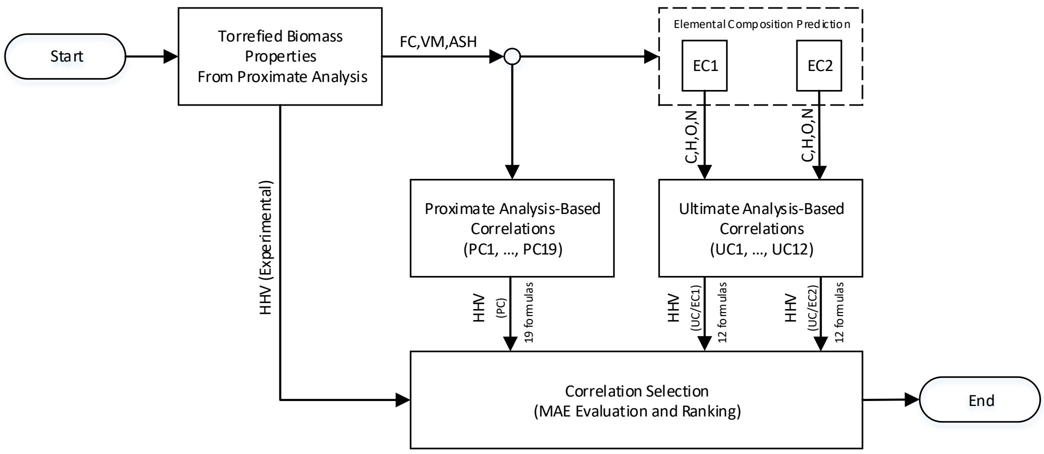
ที่	สหสัมพันธ์ (Correlations)	อ้างอิง
PC1	HHV = 0.1846VM + 0.3525FC	Nhuchhen, D. R. et al., 2017
PC2	HHV = 35.4879 - 0.3023ASH - 0.1905VM	Soponpongpipat et al., 2015
PC3	HHV = 19.2880 - 0.2135VM/FC - 1.9584ASH/VM + 0.0234FC/ASH	Nhuchhen, D. R. et al., 2012
PC4	HHV = 20.86 – 0.261ASH	Ferre, A. J. et al., 2011
PC5	HHV = -13.173 + 0.416VM	Ferre, A. J. et al., 2011
PC6	HHV = -2.057 - 0.092ASH + 0.279VM	Ferre, A. J. et al., 2011
PC7	HHV = 0.1905VM + 0.2521FC	Yin, C. Y., 2011
PC8	HHV = 19.914 - 0.2324ASH	Sheng, C. et al., 2005
PC9	HHV = -3.036 + 0.2218VM + 0.2601FC	Sheng, C. et al., 2005
PC10	HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078ASH	Parikh, J. et al., 2005
PC11	HHV = $-0.0066FC^2$ + 0.5866FC + 8.752	Demirbaş, A., 2003
PC12	HHV = $-0.0066VM^2$ + 0.7371VM + 1.2305	Demirbaş, A., 2003
PC13	HHV = 0.356248VM - 6.998497	Kathiravale, S. et al., 2003
PC14	HHV = 0.3543FC + 0.1708VM	Cordero, T. et al., 2001
PC15	HHV = 0.196FC + 14.119	Demirbaş, A., 1997
PC16	HHV = 0.312FC + 0.1534VM	Demirbaş, A., 1997
PC17	HHV = -10.81408 + 0.3133(FC+VM)	Jiménez, L. et al., 1991
PC18	HHV = 20.067 - 0.234ASH	Ebeling, J. M. et al., 1985
PC19	HHV = 26.601 - 0.304ASH - 0.082VM	Ebeling, J. M. et al., 1985

ตารางที่ 2 สหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis-Based Correlations)

ที่	สหสัมพันธ์ (Correlations)	อ้างอิง
UC1	HHV = 32.7934 + $0.0053C^2$ - 0.5321C - 2.8769H + 0.0608CH - 0.2401N	Nhuchhen, D. R. et al., 2017
UC2	HHV = 0.924C - 22.403	Ramzy, E. et al., 2013
UC3	HHV = 0.879C + 0.3214H + 0.056O - 24.826	Ramzy, E. et al., 2013
UC4	HHV = -3.147 + 0.468C	Ferre, A. J. et al., 2011
UC5	HHV = -1.642 - 0.024ASH + 0.475(C+N) - 0.376(H+N)	Ferre, A. J. et al., 2011
UC6	HHV = 23.668 - 7.032H - $0.002ASH^2$ + $0.005C^2$ + $0.771H^2$ + $0.019N^2$	Ferre, A. J. et al., 2011
UC7	HHV = ($3.55C^2$ - 232C - 2230H + 51.2CH + 131N + 20600)/1000	Friedl, A. et al., 2005
UC8	HHV = -1.3675 + 0.3137C + 0.7009H + 0.0318O	Sheng, C. et al., 2005
UC9	HHV = 0.3259C + 3.4597	Sheng, C. et al., 2005
UC10	HHV = 0.335C + 1.423H - 0.154O - 0.145N	Demirbaş, A., 1997
UC11	HHV = -0.763 + 0.301C + 0.525H + 0.064O	Ebeling, J. M. et al., 1985
UC12	HHV = 0.4373C - 1.6701	Tillman, D.A., 1978

ตารางที่ 3 สหสัมพันธ์สำหรับการทำนายองค์ประกอบแบบแยกธาตุจากองค์ประกอบโดยประมาณ (Elemental composition predicting correlations)

ที่	สหสัมพันธ์ (Correlations)	อ้างอิง
EC1	C = 0.637FC + 0.455VM H = 0.052FC + 0.062VM O = 0.304FC + 0.476VM	Parikh, J. et al., 2007
EC2	C = 0.635FC + 0.460VM - 0.095ASH H = 0.059FC + 0.060VM + 0.010ASH O = 0.340FC + 0.469VM - 0.023ASH	Shen, J. et al., 2010



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงการคำนวณเพื่อคัดเลือกสหสัมพันธ์ทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับถ่านชีวภาพจากชีวมวลที่ทำการศึกษา

3) ขั้นตอนการคัดเลือกสหสัมพันธ์ที่เหมาะสม ค่าความร้อนสูงที่คำนวณได้จากสหสัมพันธ์จะถูกนำมาคำนวณหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error, RE) เทียบกับค่าความร้อนสูงที่ได้จะการทดสอบถ่านชีวภาพแต่ละชนิด ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก (Nhuchhen & Afzal, 2017)

$$RE_{i,b} = \frac{HHV_{P_{i,b}} - HHV_{E_b}}{HHV_{E_b}} \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ $RE_{i,b}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสหพันธ์ที่ i และถ่านชีวภาพชนิด b ส่วน HHV คือ ค่าความร้อนสูง ในหน่วย MJ/kg และตัวห้อย P, E คือ ค่าทำนายที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ และค่าที่ได้จากการทดสอบทางกายภาพ ตามลำดับ จากนั้นจะนำค่า RE ที่คำนวณได้จากชีวมวลแต่ละชนิดด้วยสหสัมพันธ์หนึ่ง มาหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute error, MAE) ของสหสัมพันธ์นั้น โดย (Nhuchhen & Afzal, 2017)

$$MAE_i = \frac{1}{n}\sum_{b=1}^{n}\left|RE_{i,b}\right| \qquad (4)$$

โดย n คือ จำนวนชีวมวลที่นำมาใช้ในการคำนวณ ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเรียงลำดับค่า MAE และสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมนั้นจะถูกพิจารณาจากค่า MAE ที่น้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการผลิตถ่านชีวภาพและการทดสอบคุณสมบัติโดยประมาณและค่าความร้อนสูง

1) ลักษณะทางกายภาพของชีวมวลเปลือกโกโก้ ซังข้าวโพด ถ่านชีวภาพเปลือกโกโก้ และถ่านชีวภาพซังข้าวโพด ได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3

(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ลักษณะกายภาพ (ก) เปลือกโกโก้และถ่านชีวภาพเปลือกโกโก้ (ข) ซังข้าวโพดและถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

2) องค์ประกอบโดยประมาณ (ฐานแห้ง) ค่าความร้อนสูง และ Solid yield ของชีวมวลและถ่านชีวภาพ แสดงไว้ดังตารางที่ 4 โดย เปลือกโกโก้ และซังข้าวโพด มีสัดส่วนของสารระเหยได้สูงเป็นร้อยละ 73.6 และ 82.3 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนคงตัว ใกล้เคียงกัน มีค่าระหว่างร้อยละ 16 - 17 เมื่อผ่านกระบวนการทอริแฟกชั่นแล้วพบว่า สารระเหยของถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด มีสัดส่วนสารระเหยได้ลดลงและใกล้เคียงกัน มีค่าระหว่างร้อยละ 33 - 37 แต่ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดมีค่าสูงมากถึงร้อยละ 63.2 ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มากทำให้ค่าความร้อนสูงสูงตามไปด้วย พบว่า ค่าความร้อนสูงของถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด มีค่าเป็น 23.20 ± 1.22 และ 28.77 ± 1.11 MJ/kg ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว ทำให้ค่าความร้อนสูงเปลี่ยนแปลง

ส่วนปริมาณ Solid yield ของถ่านชีวภาพเปลือกโกโก้และถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเป็นร้อยละ 44.0 และ 37.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบโดยประมาณ (ฐานแห้ง) ค่าความร้อนสูง และ Solid yield

ที่	ชีวมวล/ถ่านชีวภาพ	องค์ประกอบโดยประมาณ (%wt), ฐานแห้ง				ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)	Solid yield (%wt)
		M	VM	FC	ASH		
1	เปลือกโกโก้	10.9	73.6	17.1	9.3	16.10 ± 0.04	-
2	ซังข้าวโพด	9.4	82.3	16.2	1.4	17.02 ± 0.05	-
3	ถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้	3.7	37.5	45.4	17.1	23.20 ± 1.22	44.0
4	ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด	6.8	33.4	63.2	3.4	28.77 ± 1.11	37.5

4.2 ผลการคำนวณสหสัมพันธ์ทำนายค่าความร้อนสูง สำหรับถ่านชีวภาพจากชีวมวลที่ทำการศึกษา

1) จากการคำนวณตามขั้นตอนที่ 3.3 ด้วยข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของชีวมวลและถ่านชีวภาพตามตารางที่ 4 จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนดังที่แสดงในตารางที่ 5 โดยเรียงลำดับค่า MAE จากน้อยไปมาก และภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบสหสัมพันธ์ 10 อันดับแรกที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยน้อยที่สุด พบว่าผลการคำนวณจากสหสัมพันธ์ PC15 ให้ค่า MAE น้อยที่สุดจากสหสัมพันธ์ทั้งหมดที่ทำการศึกษา โดยมีค่า MAE เท่ากับร้อยละ 4.69 และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากถ่านชีวภาพแต่ละชนิด $|RE_b| \leq 10\%$

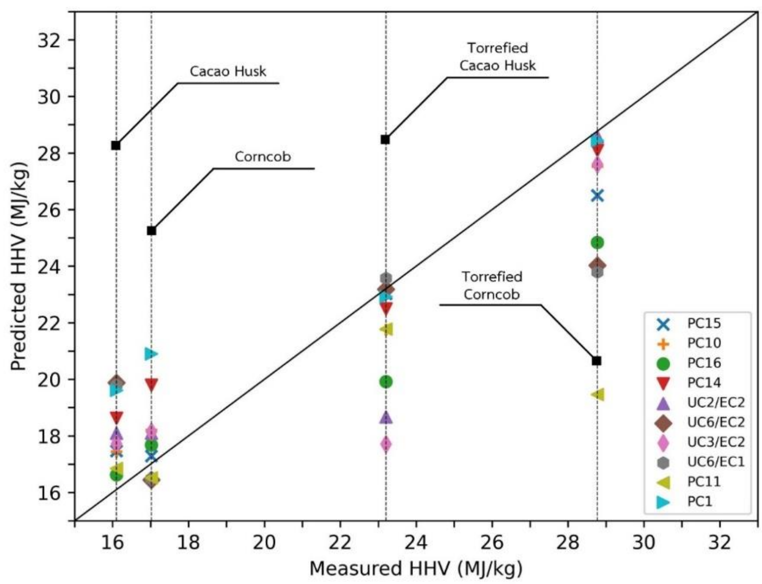
ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เฉลี่ยจากการคำนวณสหสัมพันธ์ที่ทำการศึกษาเทียบค่าความร้อนสูง จากการทดสอบชีวมวลและถ่านชีวภาพ

ที่	สหสัมพันธ์	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)				MAE (%)
		ชีวมวลจากเปลือกโกโก้ (16.10 ± 0.04)	ชีวมวลจากซังข้าวโพด (17.02 ± 0.05)	ถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้ (23.20 ± 1.22)	ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด (28.77 ± 1.11)	
1	PC15	8.51 (17.471)	1.61 (17.294)	-0.79 (23.017)	-7.87 (26.506)	4.69
2	PC10	8.37 (17.448)	6.96 (18.205)	-6.18 (21.766)	-4.32 (27.528)	6.46
3	PC16	3.26 (16.625)	3.87 (17.679)	-14.15 (19.917)	-13.65 (24.842)	8.73
4	PC14	15.71 (18.629)	16.31 (19.796)	-3.06 (22.490)	-2.34 (28.096)	9.36
5	UC2/EC2	12.40 (18.097)	6.33 (18.098)	-19.51 (18.673)	-0.67 (28.577)	9.73
6	UC6/EC2	23.49 (19.882)	-3.36 (16.449)	-0.06 (23.185)	-16.48 (24.028)	10.85
7	UC3/EC2	10.07 (17.722)	6.66 (18.154)	-23.64 (17.716)	-4.06 (27.601)	11.11
8	UC6/EC1	22.97 (19.798)	-3.12 (16.489)	1.61 (23.572)	-17.30 (23.793)	11.25
9	PC11	4.68 (16.853)	-2.92 (16.523)	-6.12 (21.780)	-32.35 (19.463)	11.52
10	PC1	21.83 (19.614)	22.81 (20.903)	-1.18 (22.926)	-1.13 (28.444)	11.74
11	UC5/EC1	12.73 (18.149)	5.40 (17.939)	-14.75 (19.778)	-20.03 (23.007)	13.23
12	UC4/EC2	7.86 (17.366)	2.04 (17.366)	-23.89 (17.658)	-21.19 (22.674)	13.74
13	UC5/EC2	11.32 (17.923)	-3.81 (16.371)	-18.49 (18.910)	-21.75 (22.512)	13.84
14	UC12/EC2	8.68 (17.497)	2.81 (17.498)	-23.41 (17.770)	-21.94 (22.457)	14.21
15	UC2/EC1	15.56 (18.605)	27.69 (21.733)	-13.43 (20.085)	0.24 (28.838)	14.23
16	UC7/EC2	16.21 (18.709)	7.09 (18.227)	-14.35 (19.871)	-22.50 (22.297)	15.04
17	UC3/EC1	12.98 (18.190)	26.56 (21.541)	-18.66 (18.871)	-4.04 (27.607)	15.56
18	UC9/EC2	10.21 (17.744)	4.26 (17.745)	-22.64 (17.947)	-25.48 (21.441)	15.65
19	UC4/EC1	9.46 (17.623)	12.85 (19.207)	-20.81 (18.373)	-20.73 (22.806)	15.96
20	UC7/EC1	16.94 (18.828)	12.73 (19.187)	-12.34 (20.337)	-21.97 (22.450)	16.00
21	UC1/EC2	-0.90 (15.955)	-1.97 (16.685)	-37.72 (14.448)	-24.06 (21.847)	16.16
22	UC12/EC1	10.17 (17.738)	12.91 (19.218)	-20.53 (18.438)	-21.51 (22.581)	16.28
23	PC3	12.82 (18.165)	0.65 (17.131)	-21.20 (18.281)	-32.53 (19.411)	16.80
24	UC8/EC2	8.85 (17.526)	6.94 (18.201)	-25.91 (17.190)	-26.45 (21.161)	17.04
25	UC9/EC1	11.33 (17.923)	11.79 (19.027)	-20.49 (18.445)	-25.16 (21.533)	17.19

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เฉลี่ยจากการคำนวณสหสัมพันธ์ที่ทำการศึกษาเทียบค่าความร้อนสูง จากการทดสอบชีวมวลและถ่านชีวภาพ (ต่อ)

ที่	สหสัมพันธ์	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)				MAE (%)
		ชีวมวลจากเปลือกโกโก้ (16.10 ± 0.04)	ชีวมวลจากซังข้าวโพด (17.02 ± 0.05)	ถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้ (23.20 ± 1.22)	ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด (28.77 ± 1.11)	
26	UC11/EC2	11.15 (17.895)	8.81 (18.519)	-25.07 (17.383)	-26.16 (21.244)	17.80
27	PC7	13.86 (18.332)	16.11 (19.762)	-19.87 (18.589)	-22.50 (22.295)	18.09
28	PC12	22.54 (19.729)	1.00 (17.190)	-15.56 (19.590)	-35.74 (18.487)	18.71
29	UC8/EC1	9.66 (17.656)	12.73 (19.186)	-25.22 (17.348)	-27.35 (20.900)	18.74
30	UC1/EC1	0.99 (16.259)	12.26 (19.106)	-35.75 (14.907)	-26.12 (21.257)	18.78
31	U10/EC1	-6.89 (14.990)	1.95 (17.352)	-36.92 (14.634)	-29.78 (20.203)	18.89
32	UC11/EC1	12.01 (18.033)	14.91 (19.558)	-24.30 (17.563)	-27.05 (20.989)	19.57
33	PC9	10.16 (17.736)	14.17 (19.432)	-26.34 (17.090)	-27.67 (20.810)	19.58
34	U10/EC2	-7.89 (14.830)	-5.38 (16.105)	-37.32 (14.541)	-28.08 (20.692)	19.67
35	PC2	15.87 (18.656)	-64.25 (6.085)	-0.11 (23.175)	-2.34 (28.097)	20.64
36	PC17	9.33 (17.602)	17.78 (20.046)	-34.66 (15.158)	-32.39 (19.451)	23.54
37	PC19	10.18 (17.739)	-64.45 (6.051)	-21.00 (18.328)	-20.65 (22.829)	29.07
38	PC18	11.12 (17.891)	-44.52 (9.443)	-30.75 (16.066)	-33.02 (19.271)	29.85
39	PC8	10.27 (17.753)	-44.99 (9.363)	-31.29 (15.940)	-33.53 (19.124)	30.02
40	PC4	14.49 (18.433)	-47.06 (9.011)	-29.32 (16.397)	-30.58 (19.973)	30.36
41	PC6	9.45 (17.622)	-1.72 (16.728)	-70.55 (6.832)	-75.85 (6.949)	39.39
42	PC13	19.39 (19.221)	31.14 (22.321)	-72.58 (6.361)	-82.97 (4.900)	51.52
43	PC5	8.35 (17.445)	23.76 (21.064)	-89.54 (2.427)	-97.49 (0.721)	54.79

หมายเหตุ ในวงเล็บ คือ ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)



ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงความคาดเคลื่อนของการประมาณค่าความร้อนสูง ของชีวมวลและถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้ และซังข้าวโพดจากการคำนวณด้วยสหสัมพันธ์

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความร้อนสูง จากถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และซังข้าวโพดที่ได้จากการทอริแฟกชั่น พบว่า

1) ถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดที่ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีสัดส่วนสารระเหยได้ลดลงและปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ถ่านชีวภาพนี้มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลตั้งต้น สามารถผลิตถ่านชีวภาพที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นโดยค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้เป็น 23.20 ± 1.22 MJ/kg สอดคล้องกับการศึกษาการทอริแฟกชั่นของเปลือกโกโก้ซึ่งได้ค่าความร้อน 21.20-23.11 MJ/kg ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 250- 300 ^{o}C (Surono U.B. et al., 2020) กรณี ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงเป็น 28.77 ± 1.11 MJ/kg สอดคล้องกับการศึกษาการทอริแฟกชั่นของซังข้าวโพดซึ่งได้ได้ความร้อนของถ่านชีวภาพระหว่าง 20.11 – 28.09 MJ/kg (Tian et al., 2020) และอยู่ในระดับที่เทียบเคียงได้กับถ่านชีวภาพจากงานวิจัยที่ใช้ชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าเป็น 25.91 MJ/kg (Homchat, 2021) และถ่านชีวภาพชานอ้อย 28.27 MJ/kg (Kreatananchai, 2013)

2) จากการศึกษาค่าความร้อนสูงที่คำนวณได้จากสหสัมพันธ์ทั้ง 31 สหสัมพันธ์ 43 รูปแบบการคำนวณ โดยเปรียบเทียบกับค่าความร้อนสูงจากการทดสอบชีวมวลและถ่านชีวภาพจากวัตถุดิบทั้งสองชนิด พบว่า สหสัมพันธ์ของ Demirbaş, A. (1997) ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มสหสัมพันธ์สำหรับการคำนวณค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

$$HHV = 0.196FC + 14.119 \qquad \text{(PC15)}$$

มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย MAE = 4.69% ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่มสหสัมพันธ์ที่ทำการทดสอบ โดยในภาพรวม พบว่า จากการนำสหพันธ์ค่าความร้อนสูงจำนวน 31 สหสัมพันธ์มาทำการคำนวณเปรียบเทียบกับชีวมวลและถ่านชีวภาพตัวอย่าง ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่ได้นั้นแตกต่างกันเป็นช่วงกว้าง (MAE 4.96 – 54.79%) ทั้งนี้เนื่องจาก ความแม่นยำของสหพันธ์ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลดิบและระเบียบวิธีที่นำมาใช้สร้างสหสัมพันธ์ ดังนั้น การนำสหพันธ์มาใช้เพื่อการทำนายค่าความร้อนสูงจึงควรมีการทดสอบ (Validation) กับตัวอย่างชีวมวลและถ่านชีวภาพจากพื้นที่นั้น ๆ อีกครั้งหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม สหสัมพันธ์ (PC15) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย MAE = 4.69% ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่มสหสัมพันธ์ที่ทำการทดสอบ ดังนั้น จึงเป็นสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความร้อนสูงของชีวมวลและถ่านชีวภาพจากชีวมวลที่ทำการศึกษาตามเกณฑ์การคัดเลือกที่ได้นำเสนอไว้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำนายค่าความร้อนสูงโดยลดค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีค่าใช้จ่ายสูงได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

Auprakul, U., and Srilek, N. (2021). *Biochar and Briquette Biochar Production Technology from Waste Residue Biomass, Case Study of Sanmaka Community Chiang Rai Province*. The 1st CRRU National Conference on Local Development, 1155-1167. (in Thai)

Basu, P. (2013). *Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction: practical design and theory*. Academic Press, Amsterdam.

Callejón-Ferre, A. J., Velázquez-Martí, B., López-Martínez, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2011). Greenhouse crop residues: Energy potential and models for the prediction of their higher heating value. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(2), 948-955.

Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., & Rodriguez, J. J. (2001). Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*, 80(11), 1567-1571.

Demirbaş, A. (1997). Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, 76(5), 431-434.

Demirbaş, A. (2003). Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy conversion and management*, 44(9), 1465-1479.

Ebeling, J. M., & Jenkins, B. M. (1985). Physical and chemical properties of biomass fuels. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 898-0902.

Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy. (2021). *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015.* [online], Available: http://www.eppo.go.th/ index.php/th/plan-policy/tieb/aedp access on November 29, 2021. (in Thai)

Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., & Varmuza, K. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica chimica acta*, 544(1-2), 191-198.

Homchat, K. (2013). *Pyrolysis of Cassava Rhizome in metal kiln for charcoal production (Doctoral's thesis).* Chiang Mai: Chiang Mai University.

Jiménez, L., & González, F. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, 70(8), 947-950.

Kreatananchai, B. (2013). *Parametric and cost analysis of biochar production from agricultural residues by slow pyrolysis process*. (Master's thesis). Chiang Mai: Chiang Mai University.

Kaewpengkrow (Rittichote), P., Usapein, P., and Sripha, Y. (2020). Increasing Heating value of Biochar using Pyrolysis of Alkaline Pretreated Rice Straw. *The Journal of Industrial Technology*: *Suan Sunandha Rajabhat University*, 8(2), 27-35. (in Thai)

Kathiravale, S., Yunus, M. N. M., Sopian, K., Samsuddin, A. H., & Rahman, R. A. (2003). Modeling the heating value of Municipal Solid Waste. *Fuel*, 82(9), 1119-1125.

Nhuchhen, D. R., & Afzal, M. T. (2017). HHV predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses. *Bioengineering*, 4(1), 7.

Nhuchhen, D. R., & Salam, P. A. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 99, 55-63.

Onsree, T., & Tippayawong, N. (2020). Torrefaction of Maize Residue Pellets with Dry Flue Gas. *BioEnergy Research*, 13, 1-11.

Parikh, J., Channiwala, S. A., & Ghosal, G. K. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 84(5), 487-494.

______. (2007). A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. *Fuel,* 86(12-13), 1710-1719.

Ramzy, E., Shaharin, A., & Bambang, A. (2013). Prediction of heating values of oil palm fronds from ultimate analysis. *Journal of Applied Sciences*, 13(3), 491-496.

Pukumpuang, W., Prasertsin, T., Wanachewin, O., Putthawan, P., Intakul, N., Srilek, N., and Auprakul.U., (2021). *Innovative development to increase value of cocoa in Chiang Rai Province.* Research report. National Research Council of Thailand.

Saueprasearsit, P., Kaewsawing, S., and Thitkrathok, A. (2020). Bio-coal and Green Fuel Production from Durian Peel. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 39(5), 580-586. (in Thai)

Shen, J., Zhu, S., Liu, X., Zhang, H., & Tan, J. (2010). The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. *Energy Conversion and Management*, 51(5), 983-987.

Sheng, C., & Azevedo, J. L. T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and bioenergy*, 28(5), 499-507.

Soponpongpipat, N., Sittikul, D., & Sae-Ueng, U. (2015). Higher heating value prediction of torrefaction char produced from non-woody biomass. *Frontiers in Energy*, 9(4), 461-471.

Surono U.B., S. H., and Rohmat T.A. (2020). Improving Thermochemical and Physical Properties of Cocoa Pod Shell by Torrefaction and its Potential Utilization. *International Energy Journal, 20*(2), 141-154.

Tian, X., Dai, L., Wang, Y., Zeng, Z., Zhang, S., Jiang, L., . . . Ruan, R. (2020). Influence of torrefaction pretreatment on corncobs: A study on fundamental characteristics, thermal behavior, and kinetic. *Bioresource Technology,* 297, 122490.

Tillman, D.A. (1978). *Wood as an Energy Source.* Academic Press: New York, NY, USA.

Wilson, L., Yang, W., Blasiak, W., John, G. R., & Mhilu, C. F. (2011). Thermal characterization of tropical biomass feedstocks. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 191-198.

Yin, C. Y. (2011). Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. *Fuel*, 90(3), 1128-1132.

การเปรียบเทียบโซ่คุณค่าของกระบวนการผลิตกาแฟกะลา กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านดอยช้าง
Value Chain Comparison of Parchment Coffee Production Process: A Case Study of Doi Chang Village Community Enterprise

ประเวช อนันเอื้อ[1*], เสกสรรค์ วินยางค์กูล[2], นคร ไชยวงศ์ศักดา[3] และวุฒิชัย เทียมศิริ[4]
Prawet Anan-ue[1*], Seksan Winyangkul[2], Nakorn Chaiwongsakda[3]
and Wuttichai Tiamsiri[4]
[1*,2,3,4] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
80 หมู่ 9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100 โทร 0 5377 6015 โทรสาร 0 5377 6015 ต่อ 111
อีเมล์ prawet.ana@crru.ac.th
[1*,2,3,4] Program of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chaingrai Rajabhat University 57100
80 Moo 9 Bandu Sub District, Muang District, Chiangrai
Tel. +66 5377 6015 Fax. +66 5377 6015 Ext.111 E-mail: prawet.ana@crru.ac.th

วันที่รับบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2565 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 13 มิถุนายน 2565 **วันที่ตอบรับบทความ** 15 มิถุนายน 2565
Received: Feb. 28, 2022 **Revised:** Jun. 13, 2022 **Accepted:** Jun. 15, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เปรียบเทียบคุณค่า และผลตอบแทนการลงทุนของกระบวนการผลิตกาแฟกะลาแบบเปียกและแบบแห้ง โดยทำการศึกษาต้นทุนในการดำเนินงาน สินทรัพย์ที่ใช้ในการลงทุน ตลอดจนกำลังการผลิต โดยการเก็บข้อมูลจากการปฏิบัติงานและสัมภาษณ์เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตกาแฟกะลา บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย โดยใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการในการเก็บข้อมูล จากการวิเคราะห์โซ่คุณค่าของกระบวนการผลิต พบว่ากระบวนการผลิตกาแฟกะลาแบบเปียกและแบบแห้ง มีคุณค่าที่ 47 และ 67 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กระบวนการผลิตแบบเปียก ใช้สินทรัพย์ในการลงทุน 5.3 ล้านบาท มีกำลังการผลิตกาแฟกะลา 14,400 กิโลกรัมต่อฤดูกาล ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้งใช้สินทรัพย์ในการลงทุน 1.6 ล้านบาท มีกำลังการผลิตกาแฟกะลา 3,600 กิโลกรัมต่อฤดูกาล ผลตอบแทนการลงทุนโดยกำหนดอายุโครงการ 10 ปี พบว่า กระบวนการผลิตแบบเปียกให้ผลตอบแทนภายในโครงการ ร้อยละ 16.4 ระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 1 เดือน ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้งให้ผลตอบแทนภายในโครงการ ร้อยละ 17.7 ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 10 เดือน ดังนั้นการลงทุนในกระบวนการผลิตแบบเปียก ให้ผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำกว่าและมีระยะเวลาคืนทุนช้ากว่า แต่เหมาะสมกับการผลิตที่มีปริมาณวัตถุดิบมาก ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้ง เหมาะสำหรับการผลิตที่มีปริมาณวัตถุดิบที่น้อยกว่าและมีข้อจำกัดของงบประมาณในการลงทุน

คำสำคัญ: โซ่คุณค่า, กาแฟกะลา, ผลตอบแทนภายในโครงการ

Abstract

The objective of this research was to compare the value and return on investment of the wet and dry processes in the production of parchment coffee by studying the operating costs, investment assets, and production capacity. Data was collected data from operations and interviews with farmers and the community enterprise who produce parchment coffee in Doi Chang Village, Mae Suai, Chaing Rai province. The value chain analysis of the production found that the wet process and dry process produce parchment coffee with values of 47 and 67 baht per kilogram respectively. The wet process investment of 5.26 million baht resulted in a production capacity of 14,400 kilograms of parchment coffee per season, whilst the dry process investment of 1.60 million baht resulted in a production capacity of 3,600 kilograms of parchment coffee per season. The return on investment by defining a project life of 10 years found the wet production process has an internal rate of return of 16.4% with a payback period of 6 years and 1 month, while the dry production process has an internal rate of 17.7% with a payback period of 5 years and 10 months. The wet process has lower investment and slower payback period, but suitable for production with large quantity of raw materials, whilst the dry process is suitable for production with less raw material quantity and limitation of investment budget.

Keywords: Value Chain, Parchment Coffee, Internal Rate of Return

1. บทนำ

จากข้อมูลสถิติการเกษตรขนาดของตลาดรวม ของกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 9,090 ตันต่อปี จากพื้นที่เพาะปลูกที่ให้ผลผลิต 99,534 ไร่ โดยในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีพื้นที่เพาะปลูกที่ให้ผลผลิต 41,153 ไร่ ให้ผลผลิต 2,573 ตันต่อปี โดยเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกในบ้านดอยช้างและพื้นที่ใกล้เคียงในตำบลวาวีมีประมาณ 8,693 ไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 543 ตัน โดยการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟเชอรี่ที่เป็นวัตถุดิบ ในการแปรรูปในพื้นที่บ้านดอยช้างและพื้นที่ใกล้เคียงจะมีผลผลิตประมาณ 2,718 ตันต่อฤดูการผลิต กระบวนการการผลิตเมล็ดกาแฟ เริ่มต้นจากเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดกาแฟสดหรือที่เรียกว่ากาแฟเชอรี่ หลังจากนั้นคือขั้นตอนการแปรรูปจากกาแฟเชอรี่เป็นกาแฟกะลา โดยแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การผลิตกาแฟกะลาด้วยกระบวนการแบบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิมของชาวบ้าน และกระบวนการผลิตแบบเปียก โดยการผลิตด้วยวิธีแห้งจะนำผลกาแฟสุกที่เก็บมาแล้ว จะนำไปทำการตากแดดจนแห้งสนิท จากนั้นกะเทาะเอาเมล็ดกาแฟด้านในออก ส่วนใหญ่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่จะทำให้ได้เมล็ดกาแฟที่ไม่ค่อยมีคุณภาพ ผลกาแฟที่ตากแห้งแล้วจำเป็นต้องกะเทาะเอาเปลือกออกโดยเร็ว การเก็บเอาไว้นานจะทำให้กาแฟมีสีเข้ม มีความเสี่ยงที่เชื้อราจะเข้าไปทำลายเนื้อด้านใน การตากจะทำบนลานตากคอนกรีตหรือถาด มีการกลับผลกาแฟในระหว่างตากเป็นช่วง ๆ เพื่อให้สีของผลสม่ำเสมอ และลดการเกิดเชื้อรา ซึ่งจะตากจนกระทั่งความชื้นของกาแฟเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 12

จึงจะนำมาเข้าสู่กระบวนการกะเทาะเปลือก จะได้เมล็ดกาแฟที่ต้องนำเอาไปทำความสะอาดด้วยการใช้ลมเป่า ในส่วนของการผลิตด้วยกระบวนการแบบเปียกจะนำเอาผลสุกมาปอกเปลือกด้านนอกออกด้วยเครื่องลอกเปลือก มีน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ซึ่งจะทำทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว ช่วยเลี่ยงไม่ให้ผลกาแฟเกิดการหมัก ทำให้รสชาติ กลิ่นและคุณภาพของกาแฟจะยังคงอยู่เหมือนเดิม หลังจากนั้นจะทำการกำจัดเอาเมือกที่ห่อเมล็ดอยู่ออกไป โดยอาจจะมีการหมักตามขั้นตอนแบบธรรมชาติ หรือการกำจัดด้วยการใช้ด่าง เมื่อเมือกถูกกำจัดออกหมดแล้ว จะนำมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดบนลานคอนกรีต เกลี่ยเมล็ดกาแฟให้กระจายตัว ความหนาไม่เกิน 4 นิ้ว กลับเมล็ดวันละ 2 - 4 ครั้ง ซึ่งจะช่วยไล่ความชื้นออกไปได้เร็วขึ้น เมื่อกาแฟแห้งได้ที่ ใช้เวลาประมาณ 7 - 10 วัน จะบรรจุกาแฟให้อยู่ในรูปแบบ “กาแฟกะลา” ซึ่งมีข้อดีคือช่วยรักษาเนื้อกาแฟ ป้องกันความชื้น ให้คุณภาพของกาแฟยังคงที่เหมือนเดิม เมื่อได้เมล็ดที่กะเทาะเปลือกออกแล้ว ก็จะนำเอากาแฟกะลาไปผ่านการสีเพื่อให้ได้กาแฟสาร ซึ่งจะมีสีเขียวอมฟ้าก่อนจะทำการคัดเลือกเกรดของกาแฟสาร วิธีการแปรรูปกาแฟทั้งสองนี้มีกระบวนการที่แตกต่างกัน และมีการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนในการดำเนินการผลิตตลอดจนเงินลงทุนที่ใช้แตกต่างกัน กระบวนการผลิตกาแฟกะลานับว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการผลิตกาแฟ เพราะเป็นกระบวนการที่จำเป็นต้องมีการลงทุนในสินทรัพย์และอุปกรณ์ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ การคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสม จะทำให้เพิ่มกำไรและผลตอบแทนที่เหมาะสมให้ผู้ประกอบการ ในงานวิจัยของกรรณิการ์ ใจมา และคณะ (2561) (Jaima et al, 2018) เรื่องต้นทุนของการปลูกและแปรรูปกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า กรณีศึกษากาแฟตั๋วกะหมี ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง แต่การศึกษาดังกล่าวก็ไม่ได้ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตแต่ละแบบ และมีสมมุติฐานการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าที่เกิดจากกระบวนการผลิตดังกล่าว ทางผู้ดำเนินการวิจัย จึงมีความประสงค์ในการนำเครื่องมือและหลักการในการวิเคราะห์โซ่คุณค่าศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าและผลตอบแทนการลงทุน ตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของกระบวนการผลิตทั้ง 2 แบบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการที่ลงทุนหรือสนใจในการลงทุนแปรรูปกาแฟกะลาในพื้นที่จังหวัดเชียงรายหรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะเดียวกันทั้งด้านราคาของผลผลิต ต้นทุนในการผลิต เพื่อช่วยการตัดสินใจในเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมแก่ผู้ประกอบการแปรรูปกาแฟกะลา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 วิเคราะห์โซ่คุณค่าการลงทุนของกระบวนการผลิตกาแฟกะลาแบบเปียกและแบบแห้ง

2.2 ประเมินและเปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนของกระบวนการผลิตกาแฟกะลา

3. วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

1. ขอบเขตของเนื้อหา ได้ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนเฉพาะในส่วนของกระบวนการแปรรูปกาแฟกะลาเท่านั้น

2. ขอบเขตด้านพื้นที่ ได้ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เช่นราคาผลผลิต วัตถุดิบ เฉพาะในพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

3. ขอบเขตด้านเวลา ได้ทำการเก็บข้อมูลในฤดูกาลผลิต สิงหาคม พ.ศ.2561 - เมษายน พ.ศ.2562

3.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูล 2 ประเภท ได้แก่

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากกระบวนการทำงานของวิสาหกิจชุมชนผู้แปรรูปกาแฟกะลา ห้างหุ้นส่วนจำกัดลีฮูดอยช้างคอฟฟี่ และเกษตรกรที่อยู่ในโซ่อุปทานการผลิตกาแฟกะลา บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้จากการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น จากวารสารวิชาการ ตำรา สิ่งพิมพ์และเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง

3.3 เครื่องมือในการวิจัย

1. แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) เป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลของต้นทุนในการผลิตตามกระบวนการผลิตทำให้การเก็บข้อมูลของต้นทุนที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน มีความถูกต้องมากกว่าการสัมภาษณ์ของผู้ประกอบการที่ใช้การประมาณและยังไม่มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนที่ถูกต้อง ทั้งต้นทุนที่ใช้ในกิจกรรมหลัก (Primary Activity) และกิจกรรมสนับสนุน (Support Activity)

2. การสัมภาษณ์เชิงลึก (Deep Interview) เพื่อศึกษารายละเอียดสินทรัพย์ที่ใช้ลงทุนประกอบด้วย เครื่องจักรและอุปกรณ์ สิ่งปลูกสร้างที่ใช้ในการลงทุน ต้นทุนวัตถุดิบและรายได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดประเด็นในครอบคลุมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการ

3. เทคนิคการวิเคราะห์อัตราลดกระแสเงินสด (Discount Cashflow Technique) เป็นเทคนิคและเครื่องมือที่เป็นที่ยอมรับ และนิยมใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน เช่น การหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (อัตราลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 0) และระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตแต่ละแบบ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยในส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนผันแปร โดยประยุกต์ใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) ในการเก็บข้อมูลต้นทุนผันแปรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ แรงงานทางตรง ค่าพลังงานและสาธารณูโภค โดยพบว่าต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตแบบเปียกเท่ากับ 91 บาทต่อกิโลกรัม และต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตแบบแห้งเท่ากับ 93 บาทต่อกิโลกรัม การวิเคราะห์ต้นทุนผันแปรเป็นไปดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2

แผนภูมิการการไหลของกระบวนการ

Flow Process chart

แผนภมิหมายเลข แผ่นที่ ของ		สรุปผล		
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน	Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
	ปฏิบัติงาน ○	8		
	เคลื่อนย้าย ⇨	9		
กิจกรรม :	ล่าช้า D	0		
	ตรวจสอบ □	0		
	เก็บ ▽	2		
	ระยะทาง	79 เมตร		
สถานที่ :	เวลา	8 ชั่วโมง		
	ต้นทุน			
บันทึกโดย วันที่	ค่าแรง	300 บาท/คน		
	ค่าวัสดุ			
	รวม			

ขั้นตอนการทำงาน	ปริมาณ (กิโลกรัม	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	แรงงาน	หมายเหตุ	ต้นทุน แรงงาน/	ต้นทุนต่างๆ
รับเชอรี่	18,000		480						1	รับซื้อเชอรี่ กิโลกรัมละ 18	300	
เคลื่อนย้ายเชอรี่ไปบ่อหมัก	18,000	2	30						2		37.5	
หมักเชอรี่	18,000		40						1		25	3.91
เคลื่อนย้ายไปที่ล้างเชอรี่	18,000	3	30						1		18.75	
ล้างเชอรี่	18,000		40						1		25	3.91
ไหลไปที่เครื่องสีเปลือก	18,000	13										
สีเปลือกเชอรี่ (สีเสร็จน้ำหนักหาย 14,400 กิโลกรัม)	18,000		480						1	คิดค่าสีเปลือก กิโลกรัมละ 2 บาท 1 วันสีเปลือกได้ 10,000 กิโลกรัม	300	1,256
ไหลไปพื้นที่หมักกะลา	3,600	3										
หมักกาแฟกะลา	3,600		30						1		18.75	
ไหลไปล้างกะลา	3,600	4										
ล้างกะลา	3,600		30						1		18.75	
เคลื่อนย้ายไปพื้นที่ตากกะลา	3,600	19	40						2		50	
ตากกาแฟกะลา	3,600		60						2		75	
เคลื่อนย้ายไปที่คลังสินค้า	3,600	16	35						2		43.75	
เก็บไว้ที่คลังสินค้า	3,600											
เคลื่อนย้ายไปที่เครื่องสีกะลา	3,600	12	20						1		12.5	
สีกาแฟกะลา (สีเสร็จน้ำหนักหาย 2,880 กิโลกรัม)	3,600		480						2	คิดค่าสีกิโล กรัมละ 2 บาท 1 วันสีกะลาได้ 6,000 กิโลกรัม	900	658.73
เคลื่อนย้ายไปที่คลังสินค้า	720	7	10						1		6.25	
เก็บไว้ที่คลังสินค้า	720											
รวม		79		8	9	0	0	2	7		1,831.25	1,922.55

ภาพที่ 1 ผังการไหลกระบวนการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตแบบเปียก

แผนภูมิการการไหลของกระบวนการ Flow Process chart				
แผนภูมิหมายเลข แผ่นที่ ของ		สรุปผล		
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน	Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
	ปฏิบัติงาน ○	3		
	เคลื่อนย้าย ⇨	4		
กิจกรรม :	ล่าช้า D	0		
	ตรวจสอบ □	0		
	เก็บ ∇	2		
	ระยะทาง	60 เมตร		
สถานที่ :	เวลา	8 ชั่วโมง		
	ต้นทุน			
บันทึกโดย : วันที่	ค่าแรง	300 บาท/คน		
	ค่าวัสดุ			
	รวม			

ขั้นตอนการทำงาน	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	∇	แรงงาน	หมายเหตุ	ต้นทุนแรงงาน	ต้นทุนอื่นๆ
รับเชอรี่	3,600		480						1	รับซื้อเชอรี่ กิโลกรัมละ 18 บาท	300	
เคลื่อนย้ายเชอรี่ไปที่ลานตาก	3,600	25	40						2		50	
ตากเชอรี่ (ตากเสร็จน้ำหนักหาย 20 %)	3,600		180						3		337.5	
เคลื่อนย้ายไปที่คลังสินค้า	720	16	30						2		37.5	
เก็บไว้ที่คลังสินค้า	720											
เคลื่อนย้ายเชอรี่แห้งไปเครื่องสี	720	12	20						2		25	
สีเชอรี่แห้ง (สีเสร็จน้ำหนัก 714 กิโลกรัม)	720		480						3	คิดค่าสีกิโลกรัมละ 4 บาท 1 วันสีกะลาได้ 3,000 กิโลกรัม	600	1,016.86
เคลื่อนย้ายไปที่คลังสินค้า	120	7	30						1		18.75	
เก็บไว้ที่คลังสินค้า	120											
รวม		60		3	4	0	0	2	6		1,368.75	1,016.86

ภาพที่ 2 ผังการไหลของกระบวนการใช้ในการเก็บข้อมูลต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตแบบแห้ง

4.2 ผลการวิจัยในส่วนวิเคราะห์คุณค่าการลงทุน ของกระบวนการผลิตกาแฟกะลาแบบเปียกและแบบแห้งจากการศึกษาต้นทุนในการผลิต และวิเคราะห์คุณค่าจากกระบวนการผลิตและผลตอบแทนการลงทุนตามหลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ผลการศึกษา ประกอบด้วยการวิเคราะห์คุณค่าของกระบวนการผลิตแบบต่าง ๆ โดยกำหนดอายุโครงการตามสมมุติฐานว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักมีอายุการใช้งานตามหลักเศรษฐศาสตร์ คือระยะเวลา 10 ปี โดยคุณค่าที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในองค์กร แนวคิดของการวิเคราะห์คุณค่า (Porter M. E., 2001) คือจะประเมินจากรายได้ (Revenue) ที่ได้จากการขายสินค้าและบริการของกิจการ โดยจากการเก็บข้อมูลพบว่า กาแฟเชอรี่ 5 กิโลกรัม สามารถแปรรูปเป็นกาแฟกะลาได้ 1 กิโลกรัม และราคาจำหน่ายกาแฟกะลาอยู่ที่ 170 ต่อกิโลกรัม การประมาณการกำลังการผลิตต่อฤดูกาลของกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการศึกษาการทำงาน พบว่าในการลงทุนในการสร้างกระบวนการผลิตแบบเปียก

ใช้เงินลงทุน 5.3 ล้านบาท สามารถผลิตกาแฟกะลาได้ 14,400 กิโลกรัมต่อฤดูกาลผลิต การลงทุนในการสร้างกระบวนการผลิตแบบแห้ง ใช้เงินลงทุน 1.6 ล้านบาท สามารถผลิตกาแฟกะลาได้ 3,600 กิโลกรัมต่อฤดูการผลิต การวิเคราะห์คุณค่าคือการหากำไรขั้นต้น (Margin) โดยการหาความแตกต่างระหว่างรายได้ที่ได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์และต้นทุนในการดำเนินงาน (Operating Cost) อันเกิดจากกิจกรรมหลัก (Primary Activity) ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สร้างประโยชน์ให้กับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และส่งมอบไปยังลูกค้า ได้แก่ โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) คือ การจัดหาวัตถุดิบ (กาแฟเชอรี่) เข้าสู่กระบวนการผลิต พบว่าต้นทุนของวัตถุดิบ (กาแฟเชอรี่) อยู่ที่ 18 บาทต่อกิโลกรัม การดำเนินงาน (Operation) เป็นกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ (กาแฟกะลา) เช่น ค่าแรงงานทางตรง ค่าสาธารณูปโภค ค่าเสื่อมราคา ในส่วนของต้นทุนที่เกี่ยวกับกิจกรรมสนับสนุน ซึ่งเป็นกิจกรรมต่าง ๆ ที่ให้การสนับสนุนกิจกรรมหลัก ตามแนวความคิดกิจกรรมพื้นฐานจะประกอบด้วย กิจกรรมในการจัดซื้อจัดหา กิจกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยในการเพิ่มคุณค่าให้สินค้าและบริการหรือกระบวนการผล กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบริหารทรัพยากรบุคคลและโครงสร้างพื้นฐานขององค์กร โดยประเมินต้นทุนดังกล่าวจากมูลค่าสินทรัพย์ที่ลงทุน เช่น ค่าซ่อมบำรุงและบำรุงรักษา การจัดหาแรงงานและเงินทุน โดยผังในการวิเคราะห์โซ่คุณค่าการแปรรูปกาแฟกะลาเป็นไปตามภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ผังการวิเคราะห์โซ่คุณค่าในการแปรรูปกาแฟกะลา

โดยสมมุติฐานของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณโซ่คุณค่า ในส่วนของราคาจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์คงที่ตลอดอายุโครงการ เนื่องจากในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์กาแฟกะลาจะอยู่ในช่วงอิ่มตัว (Maturity Stage) การผันผวนของราคาจะมีลักษณะที่เป็นระดับ (Level) โดยใช้ราคาจำหน่ายในฤดูกาลล่าสุดเป็นค่าที่มีความน่าจะเป็นที่สุด (Most Likely) การวิเคราะห์โซ่คุณค่าของกระบวนการผลิตแบบเปียกในระยะเวลา 10 ปี เป็นไปตามตารางที่ 1 และการวิเคราะห์โซ่คุณค่าของกระบวนการผลิตแบบแห้งในระยะเวลา 10 ปี เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การประมาณคุณค่าของกระบวนการผลิตแบบเปียก ระยะเวลา 10 ปี

	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
รายได้	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
ต้นทุนกิจกรรมหลัก	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
ต้นทุนกิจกรรมสนับสนุน	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
กำไรจากการดำเนินงาน (คุณค่า)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

ตารางที่ 2 การประมาณคุณค่าของกระบวนการผลิตแบบแห้ง ระยะเวลา 10 ปี

	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
รายได้	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
ต้นทุนกิจกรรมหลัก	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
ต้นทุนกิจกรรมสนับสนุน	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
กำไรจากการดำเนินงาน (คุณค่า)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

4.3 ผลการวิจัยในการประเมินผลตอบแทน ของกระบวนการผลิตกาแฟกะลาโดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ โดยใช้เทคนิคอัตราลดกระแสเงินสดโดยทำการประมาณกระแสเงินสดเป็นระยะเวลา 10 ปี โดยกระแสเงินสดเข้า (Cash Inflow) ประกอบด้วย รายได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ และมูลค่าซาก (Salvage Value) ที่เหลือของสินทรัพย์ในปีสุดท้าย โดยค่าเสื่อมราคา (Depreciation) พิจารณาอายุการใช้งานตามหลักเศรษฐศาสตร์ (Blank & Tarquinn, 2018) โดยเครื่องจักรและอุปกรณ์มีอายุการใช้งาน 10 ปี อาคารและสิ่งปลูกสร้างมีอายุในการใช้งาน 20 ปี ส่วนกระแสเงินสดออกประกอบด้วย เงินลงทุนในสินทรัพย์ที่ใช้ดำเนินการในปีแรก ต้นทุนในการดำเนินงานที่เป็นเงินสด (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา) ในแต่ละปี การประมาณกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตแบบเปียกในระยะเวลา 10 ปี เป็นไปตามตารางที่ 3 และการประมาณกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตแบบแห้ง ในระยะเวลา 10 ปี เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ประมาณกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตแบบเปียก ระยะเวลา 10 ปี

	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
กระแสเงินสดเข้า	-	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
รายได้	-	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
มูลค่าซาก	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.60
กระแสเงินสดออก	(-5.3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ต้นทุน(เงินสด)	-	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)
สินทรัพย์ที่ลงทุน	(-5.3)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)	(1.41)
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
กระแสเงินสดสุทธิ	**(-5.3)**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**2.64**

ตารางที่ 4 ประมาณกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตแบบแห้ง ระยะเวลา 10 ปี

	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
กระแสเงินสดเข้า	-	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
รายได้	-	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
มูลค่าซาก	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53
กระแสเงินสดออก	(-1.6)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)
ต้นทุน(เงินสด)	-	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)	(0.28)
สินทรัพย์ที่ลงทุน	(-1.6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
กระแสเงินสดสุทธิ	**(-1.6)**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.33**	**0.86**

การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนจากประมาณการกระแสเงินสดจากข้อมูลเบื้องต้น โดยหาค่าผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return) หรืออัตราลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) เท่ากับ 0 และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือระยะเวลาที่ทำให้ค่ากระแสเงินสดสะสมเท่ากับ 0 พบว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก มีผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ ร้อยละ 16.4 และมีระยะเวลาคือนทุน 6 ปี 1 เดือน ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้ง มีผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ ร้อยละ 17.7 และมีระยะเวลาคือนทุน 5 ปี 10 เดือน

4.4 ผลการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนของกระบวนการผลิตกาแฟกะลา โดยการเปรียบเทียบคุณค่าและผลตอบแทนการลงทุน ในกระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบแห้ง ในมิติต่าง ๆ เป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณค่าและผลตอบแทนของกระบวนการผลิต

	กระบวนการแบบเปียก	**กระบวนการแบบแห้ง**
กำลังการผลิต (กิโลกรัม)	14,400	3,600
เงินลงทุนในสินทรัพย์ (ล้านบาท)	5.30	1.60
อาคารและสิ่งปลูกสร้าง	3.20	1.05
เครื่องจักรและอุปกรณ์	2.10	0.55
เงินลงทุนต่อกำลังการผลิต (บาท/กก.)	37	44
รายได้จากการขาย (ล้านบาท)	2.45	0.61
ต้นทุนในการดำเนินงาน (ล้านบาทต่อปี)	1.78	0.37
ต้นทุนในการแปรรูป (บาทต่อกิโลกรัม)	124	103
กำไรจากการดำเนินงาน(คุณค่า) (บาทต่อกิโลกรัม)	46	67
ผลตอบแทนภายในโครงการ(%)	16.4	17.7
ระยะเวลาคืนทุน	6 ปี 1 เดือน	5 ปี 10 เดือน

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิเคราะห์โซ่คุณค่า (Porter M.,2001) ในการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันองค์กรพบว่ากระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบแห้ง สร้างกำไรขั้นต้น (Margin) เท่ากับ 47 บาทต่อกิโลกรัมและ 67 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนผลการศึกษาผลตอบแทนของการลงทุนโดยใช้เทคนิคอัตราลดกระแสเงินสด (Blank & Tarquinn, 2018) พบว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก มีผลตอบแทน

ภายในโครงการเท่ากับ ร้อยละ 16.4 และมีระยะเวลาคือนทุน 6 ปี 1 เดือน ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้ง มีผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ ร้อยละ 17.7 และมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 10 เดือน และผลการวิจัยในการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบแห้ง พบว่าเงินลงทุนต่อหน่วย คือ 37 บาทต่อกิโลกรัม และ 44 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ต้นทุนในการแปรรูปอยู่ที่ 124 บาทต่อกิโลกรัม และบาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนผลตอบแทนการลงทุน กระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบแห้งมีผลตอบแทนภายในโครงการใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 16.4 และร้อยละ 17.7 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาคืนทุนก็ใกล้เคียงกันคือ 6 ปี 1 เดือน และ 5 ปี 10 เดือน 5.2 การอภิปรายการผลวิจัย ในการวิเคราะห์ต้นทุนและคุณค่าของกระบวนการผลิตแต่ละแบบ ที่มีความแตกต่างกันเนื่องจากใช้เงินลงทุนในสินทรัพย์ในการลงทุนที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะของสินทรัพย์ โดยกระบวนการผลิตแบบเปียกประกอบด้วย สินทรัพย์ที่เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์ ร้อยละ 40 อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 60 ส่วนสินทรัพย์ที่ลงทุนในกระบวนการผลิตแบบแห้งประกอบด้วยสินทรัพย์ที่เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์ ร้อยละ 34 อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 66 เมื่อพิจารณาต้นทุนในการดำเนินงาน ในส่วนของค่าเสื่อมราคาตามอายุการใช้งานตามหลักเศรษฐศาสตร์ของสินทรัพย์แต่ละประเภท (Blank & Tarquinn, 2018) รวมถึงค่าซ่อมบำรุงและบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นตามมูลค่าของเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ลงทุนทำให้กำไรขั้นต้นของกระบวนการผลิตแบบเปียกนั้น สูงกว่ากระบวนการผลิตแบบแห้ง ถึงแม้กระบวนการผลิตแบบเปียกใช้เงินลงทุนเริ่มต้นต่อกำลังการผลิตที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาต้นทุนในการแปรรูปกาแฟกะลา กรณีศึกษากาแฟตั้วกะหมี ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง ของกรรณิการ์ ใจมา และคณะ (2561) (Jaima et al, 2018) ถึงแม้ว่าไม่ระบุว่าเป็นการแปรรูปโดยใช้กระบวนการแบบใด แต่พบว่าเงินลงทุนต่อกำลังการผลิต เท่ากับ 78 บาทต่อกิโลกรัม มีต้นทุนการแปรรูปเฉลี่ยเท่ากับ 86 บาทต่อกิโลกรัม และมีรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 120 บาทต่อกิโลกรัม และมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนโครงการ เท่ากับร้อยละ 24.9 ซึ่งผลการศึกษาแตกต่างกับการวิจัยในครั้งนี้ค่อนข้างมาก เนื่องจากสมมุติฐานของต้นทุนที่ใช้ในการคำนวณและการคิดค่าเสื่อมราคาตามหลักเศรษฐศาสตร์ของสินทรัพย์แต่ละประเภทที่แตกต่างกัน ทำให้ผลตอบแทนภายในโครงการแตกต่างกันร้อยละ 7 - 8 ส่วนในการพิจารณาคัดเลือกหรือตัดสินใจในการลงทุนในโครงการใด ๆ นั้นต้องพิจารณาว่าผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return) นั้นสูงกว่าผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่น่าสนใจในการลงทุน (Minimum Attractive Rate of Return) หรือไม่ (Blank & Tarquinn, 2018) ซึ่งองค์ประกอบของผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่น่าสนใจในการลงทุนนั้นประกอบด้วย ต้นทุนทางการเงิน (Cost of Capital) ผลตอบแทนความเสี่ยงในการลงทุน (Risk Premium) เป็นต้น ดังนั้นการกำหนดค่าผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่น่าสนใจในการลงทุนของแต่ละหน่วยธุรกิจ ผู้ประกอบการหรือผู้ที่สนใจในการลงทุนจะไม่เท่ากัน การลงทุนในกระบวนการแบบเปียกเป็นกระบวนผลิตที่ทันสมัยกว่า มีกำลังการผลิตสูงกว่า ใช้แรงงานน้อยกว่า แต่กระบวนการมีการใช้สินทรัพย์ในการดำเนินงานมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ มีผลให้มีต้นทุนในการดำเนินงานที่ตามมา คือค่าซ่อมบำรุงและค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ที่มากกว่า ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้งเป็นกระบวนผลิตแบบดั้งเดิม มีกระบวนการที่มีความซับซ้อนที่น้อยกว่า ใช้เงินลงทุนที่น้อยกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบในด้านผลตอบแทนการลงทุนพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

การเลือกในการลงในกระบวนการแบบเปียก อาจจะมีความเหมาะสมในอนาคตที่มีปัญหาการขาดแคลนแรงงาน หรือค่าจ้างแรงงานที่สูงขึ้น

6. กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณธนาสิทธิ์ พิสัยเลิศ ผู้ก่อตั้งห้างหุ้นส่วนจำกัด ลีฮูดอยช้างคอฟฟี่ และพนักงานของห้างหุ้นส่วนจำกัด ลีฮูดอยช้างคอฟฟี่ ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการให้ข้อมูลด้านต่าง ๆ และให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Blank L., & Tarquinn A. (2018). *Engineering Economy (8th ed)***.** McGraw-Hill.

Jaima, K., Futananchai, P., Chaprawtham, J., Promchai, N., Thong-in, R., & Janin, S. (2018). Cost and return of arabica coffee bean plantation and processing: A case study of a coffee Tur Ka Mhee Chaeson subdistrict, Muangpan district, Lampang. *Journal of Rajamangala University of Technology Lanna (Technology Innovation)*, 2(2), 69-78.

Office of Agricultural Economics. (2021). *Agricultural Statistics of Thailand 2021*. Office of Agricultural Economics Ministry of Agricultural and Cooperatives.

Porter M. E. (2001). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.

การออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

Design and Development of Spatial Research Data Center for Uttaradit Rajabhat University

ภานุวัฒน์ ขันจา[1*]
Phanuwat Khanja[1*]
[1*]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000
[1*]Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University,
27 Injaimee Rd., Tha-it, Muang, Uttaradit, 53000 E-mail: mr.phanuwat@hotmail.com

วันที่รับบทความ 13 ธันวาคม 2564 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 15 มิถุนายน 2565 **วันที่ตอบรับบทความ** 15 มิถุนายน 2565
Received: Dec. 13, 2021 **Revised:** Jun. 15, 2022 **Accepted:** Jun. 15, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ และเพื่อประยุกต์ใช้ศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ โดยวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศจัดการศูนย์ข้อมูล และการนำข้อมูลกลับมาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง เพื่อสนับสนุนการเพิ่มขีดความสามารถของนักวิชาการและการทำงานของเจ้าหน้าที่ในท้องถิ่น ภายใต้แนวคิดในการสร้างศูนย์ข้อมูลสำหรับจังหวัดอุตรดิตถ์

ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่สามารถใช้เทคโนโลยีการยืนยันตัวตนเพียงครั้งเดียวสำหรับสร้างศูนย์บัญชีผู้ใช้งาน และสามารถเชื่อมต่อข้อมูลบนเว็บเซอร์วิสในรูปแบบ REST ที่สามารถให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ ซึ่งแอปพลิเคชันจัดการในศูนย์ข้อมูลสามารถแยกการพัฒนาได้ 6 โมดูล คือ โมดูลจัดการข้อมูลสมาชิก โมดูลจัดการข้อมูลเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน โมดูลจัดการข้อมูลเว็บเซอร์วิส โมดูลบันทึกข้อมูลการใช้ระบบ โมดูลจัดการสารสนเทศ และโมดูลจัดการข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น โดยแบ่งกลุ่มผู้ใช้ได้ 4 กลุ่ม คือ ผู้บริหารระบบ ภาควิชาการ หน่วยงานภาครัฐ และพื้นที่ชุมชน ผลการพัฒนามีประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างได้ จุดเด่นของระบบคือการเชื่อมโยงข้อมูลสมาชิกระบบ ส่วนด้านที่ต้องพัฒนาคือการนำเข้าข้อมูลจากแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อกับระบบ เนื่องจากความหลากหลายของข้อมูลในแอปพลิเคชันที่ต่างกัน ผลการประยุกต์ใช้กับกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ระบบมีจุดเด่นในด้านความทันสมัยและความน่าสนใจในการใช้เทคโนโลยีที่สามารถรองรับการใช้งานได้ในอนาคต ส่วนการค้นหาข้อมูลเป็นด้านที่ต้องพัฒนาต่อไป เนื่องจากข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันของสมาชิกที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลโดยตรง

คำสำคัญ: ศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่, การยืนยันตัวตนเพียงครั้งเดียว, เว็บเซอร์วิส

Abstract

The purposes of this study were to design and develop a Spatial Research Data Center for Uttaradit Rajabhat University. The study used the information system of data center management and reused the database to support the work of academics and spatial officials to create a data center for Uttaradit Province.

The results show that the development of the Spatial Research Data Center systems using Single Sign On technology for creating account centers can be used for data connection by the Web Service via REST design. The data center consists of 6 modules: Account Management; Data Connection Management; Web Services Management; System Log Management; Information Management; and Data Management for Academic and Local Applications. Users can be divided into 4 groups- Administrators; Academic; Government; and Community. The system result was successful at the highest level. The program can be used in every module with stable processing. The best function is the linking of the member system. The function to be improved concerns importing data from client applications due to the variety of applications data. The results of the implementation achieved a high level of satisfaction. The search system needs to be improved because the client application is within direct connection to the database system meaning it is limited in searching for all details.

Keywords: Spatial Research Data Center, Single Sign On, Web Services

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ได้ดำเนินงานวิจัยเชิงพื้นที่ ร่วมกับจังหวัดอุตรดิตถ์มาอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดการพัฒนาระบบฐานข้อมูลสารสนเทศขึ้นมา ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการดำเนินงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านงานวิจัย ด้านการจัดการองค์ความรู้ ด้านการเกษตร ด้านภัยพิบัติ ด้านการจัดทำบัญชีครัวเรือน เป็นต้น และระบบฐานข้อมูลอีกส่วนหนึ่งที่ได้พัฒนาขึ้น ภายในมหาวิทยาลัยตามพันธกิจของบุคลากร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการปฏิบัติงานของบุคลากร ทั้งในรูปแบบโปรแกรมฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชัน โมบายแอปพลิเคชัน และยังมีอีกมากมายหลายระบบ จึงเกิดปัญหาการใช้ฐานข้อมูลที่พบกันอยู่บ่อย ๆ ในหน่วยงาน ในการใช้ระบบฐานข้อมูลจำนวนมากที่แยกกันอยู่อย่างกระจัดกระจาย ทำให้ไม่สามารถใช้ระบบฐานข้อมูลร่วมกันได้ และเกิดความขัดแย้งของข้อมูลเกิดขึ้น ส่งผลใช้ผู้ใช้ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่อง และเกิดการยกเลิกใช้ระบบฐานข้อมูลในที่สุด

ระบบศูนย์ข้อมูล (Data Center) เป็นศูนย์กลางของพื้นที่ที่ใช้เป็นที่ตั้งของศูนย์คอมพิวเตอร์ที่มีระบบเครือข่ายสามารถส่งออกและรับข้อมูลจำนวนมากได้ เป็นเรื่องที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้ทันตามยุคสมัยของข้อมูลในแต่ละช่วง และให้ตอบรับรูปแบบของข้อมูลชนิดใหม่ ๆ อยู่เสมอ การใช้เทคโนโลยีเข้ามาจัดการฐานข้อมูล จึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูล

(The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2018) เทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ ในส่วนของเทคโนโลยีการจัดการข้อมูลภายในศูนย์ข้อมูล และเพื่อให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลได้แก่ ระบบยืนยันตัวตนบุคคลส่วนกลาง (Single Sign ON : SSO) ชุดโปรแกรมสำหรับการเชื่อมโยงข้อมูล (Application Programming Interface : API) และให้บริการข้อมูลในรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านเว็บ (Web Service) สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลกับทุกแอปพลิเคชันที่มีความแตกต่างกัน

จากปัญหาการใช้ฐานข้อมูลที่เกิดขึ้นและการพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการศูนย์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานในงานวิจัยว่า "การพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลในทุกหน่วยงาน ทั้งทางสถาบันการศึกษา และทางภาครัฐให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้" ด้วยการออกแบบวิธีการจัดเก็บข้อมูล การเชื่อมโยงระบบฐานข้อมูล การปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมฐานข้อมูลต่าง ๆ สร้างระบบศูนย์กลางผู้ใช้ เชื่อมโยงข้อมูลให้เป็นฐานข้อมูลเดียวกัน พัฒนาชุดโปรแกรมสำหรับการเชื่อมโยงข้อมูล และให้บริการข้อมูลในรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับศูนย์ข้อมูล ในทุกแอปพลิเคชันที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้อมูลในทุกหน่วยงาน ทั้งทางสถาบันการศึกษา และทางภาครัฐ อีกทั้งยังเพิ่มความยืดหยุ่นในการพัฒนาต่อยอดระบบสารสนเทศ ให้เกิดประโยชน์แก่มหาวิทยาลัยและพื้นที่ชุมชนได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

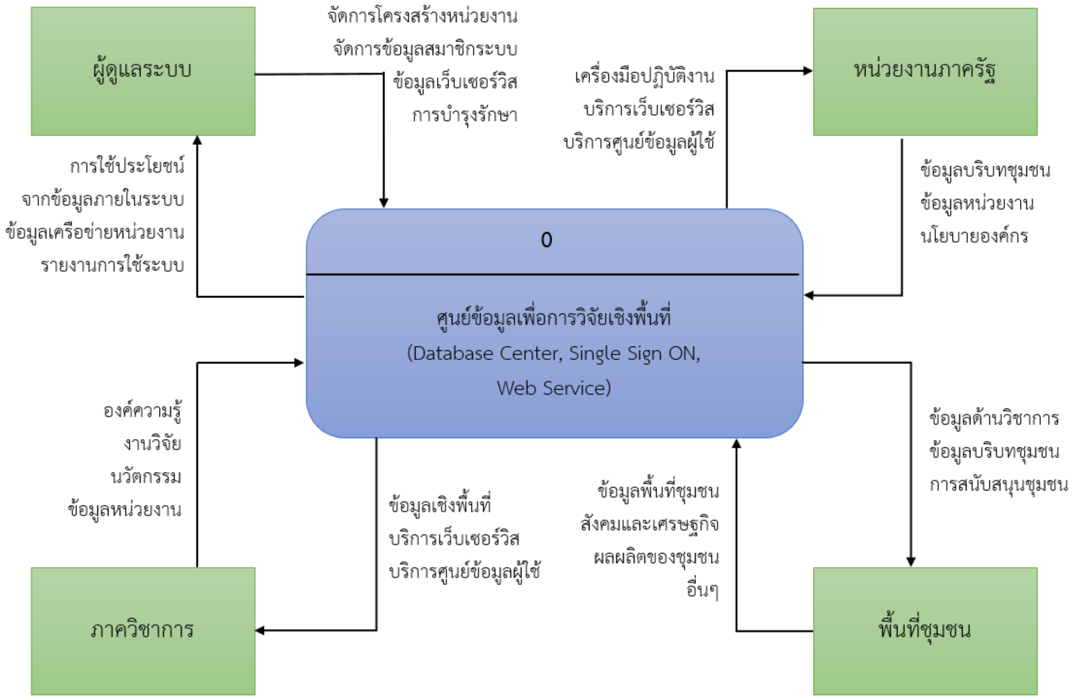
2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยนักวิจัยทำหน้าที่ออกแบบกลไกด้านกระบวนการทำงาน ออกแบบและพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่และส่งเสริมให้ผู้ปฏิบัติงานใช้ระบบได้ด้วยตนเอง ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ



ภาพที่ 1 Context Diagram ระบบศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่

ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับระบบศูนย์ข้อมูล ซึ่งได้จากการสำรวจความต้องการในการใช้ระบบ สามารถแยกผู้ใช้ได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

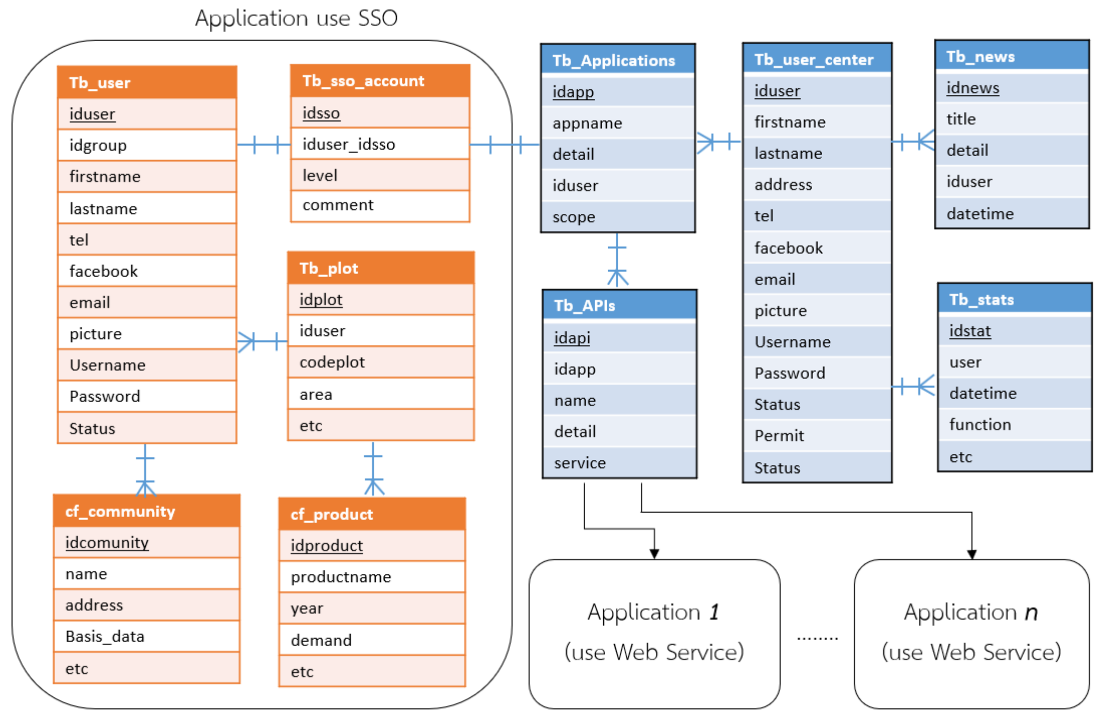
1) ผู้ดูแลระบบ เป็นสิทธิ์ในการดำเนินการกับข้อมูลได้ทั้งหมด ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลโครงสร้างของระบบ การจัดการข้อมูลสมาชิก การจัดการแอปพลิเคชันเชื่อมต่อ การบำรุงรักษาโปรแกรมหรือข้อมูล และการนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเว็บเซอร์วิส ในด้านต่าง ๆ

2) ภาควิชาการ ได้แก่ นักวิชาการ อาจารย์ นักวิจัย หรือผู้ร่วมพัฒนาระบบ ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลในแอปพลิเคชันสมาชิกและเชื่อมต่อบริการกับศูนย์ข้อมูล มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลของสมาชิก เรียกแสดงระบบฐานข้อมูลที่ให้บริการทั้งระบบ และแสดงรายงานสารสนเทศทั้งระบบ

3) หน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ สมาชิกระบบผู้ใช้แอปพลิเคชัน สามารถใช้แอปพลิเคชันของหน่วยงานตนเอง และมีสิทธิ์ในการขอใช้แอปพลิเคชันอื่น ๆ ภายในระบบได้ด้วยบัญชีเพียงบัญชีเดียว

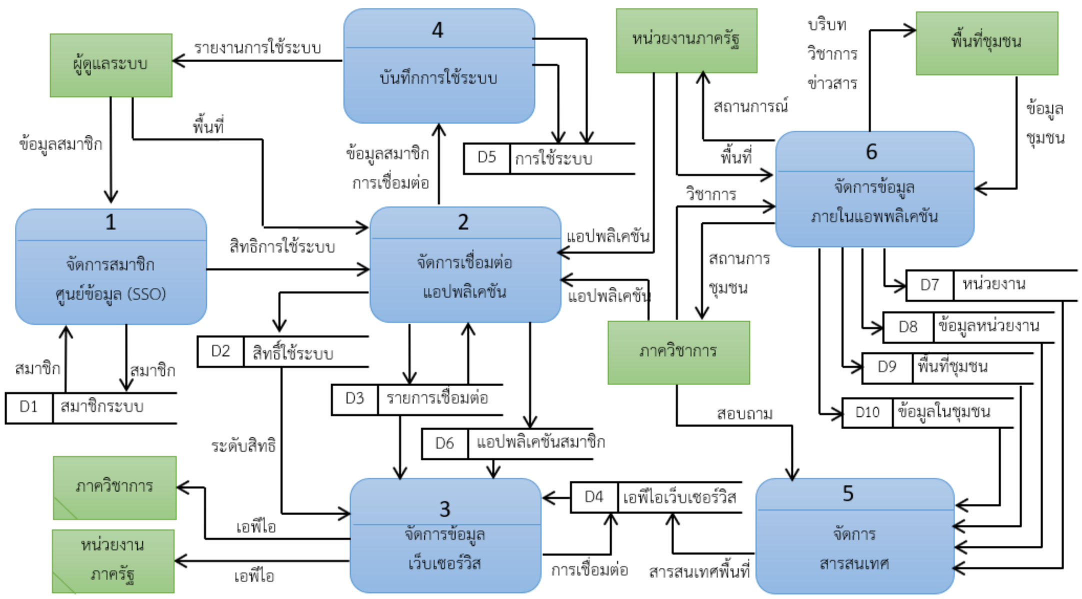
4) พื้นที่ชุมชน เป็นสมาชิกผู้ใช้ระบบที่เป็นประชาชนในพื้นที่ ที่มีการดำเนินงานร่วมกับมหาวิทยาลัยและหน่วยงานภาครัฐ สามารถใช้แอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้อง แสดงสารสนเทศระบบและเป็นศูนย์ข้อมูลในการติดต่อสื่อสารได้

จากบริบทของผู้ใช้ จะเกิดการเชื่อมโยงข้อมูลที่มีการใช้ข้อมูลร่วมกัน ซึ่งข้อมูลที่สอดคล้องกับความต้องการในการใช้ระบบ สามารถออกแบบแนวคิดของระบบฐานข้อมูลได้ดังนี้



ภาพที่ 2 ER Diagram การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่

จากภาพที่ 2 แสดงการออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล ของศูนย์ข้อมูลที่สัมพันธ์กับโครงสร้างของแอพพลิคชันสมาชิก ตามการทำงานของแอปพลิเคชันประกอบด้วย ข้อมูลสมาชิกระบบ ข้อมูลสิทธิของผู้ใช้ ข้อมูลเชื่อมโยงแอปพลิเคชัน ข้อมูลเว็บเซอร์วิส ข้อมูลภายในแอปพลิเคชันสมาชิก ข้อมูลหน่วยงาน ข้อมูลภายในหน่วยงาน ข้อมูลพื้นที่ชุมชน และข้อมูลภายในชุมชน



ภาพที่ 3 DFD Level 0 : เว็บแอปพลิเคชันศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่

จากภาพที่ 3 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันศูนย์จัดการข้อมูลที่สัมพันธ์กับกลุ่มผู้ใช้และฐานข้อมูล ประกอบด้วยกระบวนการ (Process) จำนวน 6 โมดูล คือ โมดูลจัดการข้อมูลสมาชิก โมดูลจัดการเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน โมดูลจัดการเว็บเซอร์วิส โมดูลบันทึกการใช้ระบบ โมดูลจัดการสารสนเทศ และโมดูลจัดการข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น

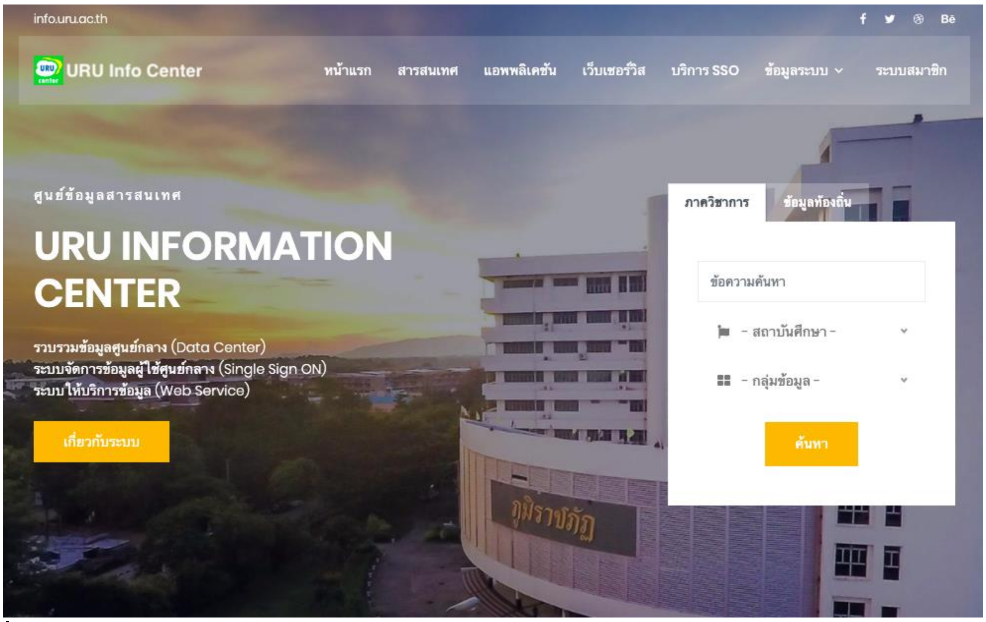
3.2 การดำเนินการพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลเป็นระบบที่ให้บริการข้อมูลจำนวนมาก สามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากที่เชื่อมต่อและใช้ระบบ การพัฒนาจึงมีการทำงานที่ซับซ้อนหลายฟังก์ชัน และต้องมีความปลอดภัยในระดับสูง ผู้พัฒนาจึงประยุกต์ใช้ Laravel Framework (Srisukha, 2018) ที่เป็นเฟรมเวิร์คภาษา PHP พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้การสร้างแอปพลิเคชันทำได้ง่าย รวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยชุดคำสั่งและไลบรารี่ต่าง ๆ มีการจัดวางโครงสร้างตามหลักของ PSR-2 และ PSR-4 ซึ่งเป็นมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมภาษา PHP ยุคใหม่ จึงทำให้สามารถที่จะติดตั้งไลบรารี่ หรือส่วนเสริมต่าง ๆ ในการพัฒนา Single Sing On และ REST API ร่วมกับ โปรแกรมภาษา PHP สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และสร้างฐานข้อมูลประเภท MySQL เพื่อความยืดหยุ่นในการพัฒนาระบบและรองรับการใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างง่าย (Accessibility)

การดำเนินการพัฒนาระบบสามารถแยกอธิบายได้ 4 ส่วนดังนี้

(1) ระบบสารสนเทศศูนย์ข้อมูล

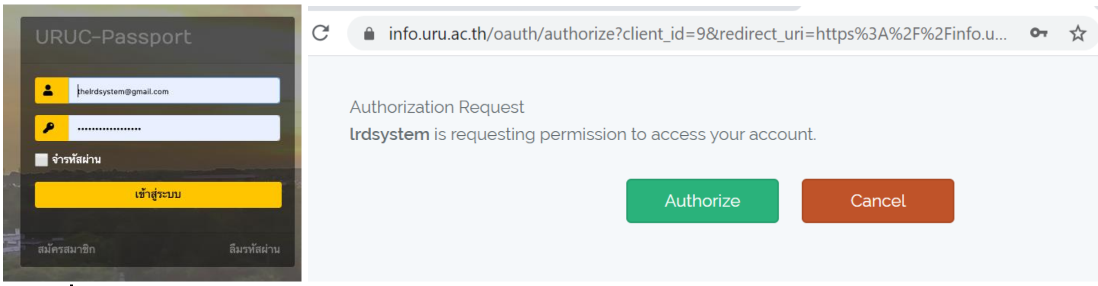
เว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศเป็นการใช้ประโยชน์สำหรับบุคคลทั่วไป โดยสรุปเป็นภาพรวมความเคลื่อนไหวของระบบ ประกอบด้วย สารสนเทศทั้งระบบ แอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อระบบเว็บเซอร์วิส การบริการ Single Sign On ระบบสมาชิก และแสดงข้อมูลของระบบ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

(2) ระบบการเชื่อมต่อข้อมูลศูนย์รวมผู้ใช้

การเชื่อมต่อแอปพลิเคชันสมาชิก ใช้วิธีเชื่อมต่อกับระบบศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการยืนยันตัวตนเพียงครั้งเดียว (SSO) ซึ่งมีการตรวจสอบการเข้าใช้ระบบต่าง ๆ ด้วยรูปแบบ OAuth2.0 ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการร้องขอข้อมูลจาก Remote Server เพื่อให้ได้ข้อมูลกลับมาในรูปแบบของ JSON ดังนั้นผู้ใช้ระบบและแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อจะสามารถพัฒนาชุดคำสั่ง หรือระบบ OAuth Consumer เพื่อใช้ในการร้องขอข้อมูลผู้ใช้จากระบบยืนยันตัวบุคคลกลาง (OAuth Provider) เพื่อระบุตัวตนเข้าใช้ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ



ภาพที่ 5 การอนุญาตให้เข้าถึงข้อมูลบัญชีกลาง

จากภาพที่ 5 แสดงการล็อกอินเข้าสู่แอปพลิเคชันสมาชิกด้วยบัญชีศูนย์ข้อมูล ซึ่งในการเข้าสู่ระบบครั้งแรกผู้ใช้จะต้องยืนยัน เพื่ออนุญาตให้แอปพลิเคชันสมาชิกสามารถเข้าถึงข้อมูลผู้ใช้ในบัญชีกลาง (Authorize Request) และในการใช้ครั้งต่อไปถ้าผู้ใช้เข้าระบบบัญชีกลางแล้วจะสามารถใช้แอปพลิเคชันสมาชิกได้ทันทีโดยไม่ต้องล็อกอินใหม่

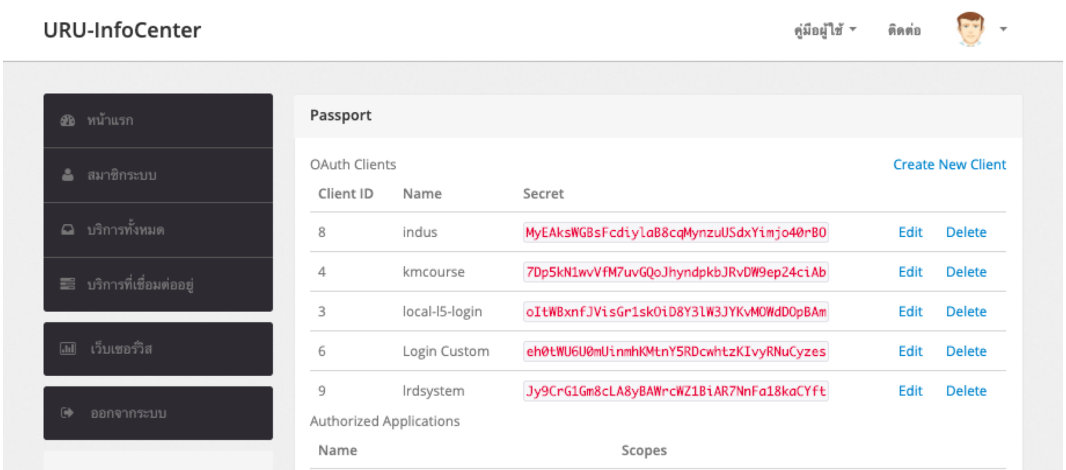
(3) ระบบการเชื่อมต่อเว็บเซอร์วิส

ภาพที่ 6 ตัวอย่างรายการเว็บเซอร์วิสที่ให้บริการเชื่อมต่อข้อมูล

จากภาพที่ 6 การพัฒนา Web Service ด้วย REST (Representational State Transfer) เป็น การสร้างเว็บบริการข้อมูลชนิดหนึ่งที่ใช้สื่อสารกันบนอินเทอเน็ต ใช้หลักการแบบ Stateless คือไม่มี Session โดยใช้ URI/URL ของ Request เพื่อค้นหาและประมวลผลแล้วตอบกลับในรูป HTML

และ JSON โดย Response ที่ตอบกลับจะเป็นการยืนยันผลของคำสั่งที่ส่งมาให้ศูนย์ข้อมูล โดยผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถพัฒนาด้วยภาษาโปรแกรมมิ่งได้หลากหลาย ทั้งนี้รายการเอพีไอจะถูกจัดการข้อมูลด้วยผู้ดูแลระบบ และมีการยินยอมให้เชื่อมต่อข้อมูลของแอปพลิเคชันสมาชิก

(4) ระบบจัดการข้อมูลสำหรับผู้พัฒนาระบบ



ภาพที่ 7 รายการรหัสการเข้าถึงข้อมูล

จากภาพที่ 7 รายการรหัสการเข้าถึงข้อมูล เป็นระบบจัดการข้อมูลสำหรับผู้บริหารระบบ ผู้พัฒนาระบบ และการจัดการของสมาชิก ออกแบบเพื่อรองรับการบริหารจัดการข้อมูลของผู้ใช้ในการอนุญาตให้ผู้ใช้อื่น ๆ สามารถดำเนินการกับข้อมูลตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ คือ รายการข้อมูลความปลอดภัยในการเข้าใช้เว็บเซอร์วิส (Secret) เพื่อนำไปใช้เป็นรหัสร้องขอข้อมูลโทเค่น (Token) ซึ่งระบบจะกำหนดการเข้าถึงข้อมูลได้ 3 รูปแบบ คือ OAuth clients, Authorized Application และ Personal Access Tokens รองรับรูปแบบการใช้งานของผู้พัฒนาแอปพลิเคชันที่ต้องการเชื่อมต่อกับศูนย์ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ

3.3 การประเมินผลระบบ

1) ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง การกำหนดประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ กลุ่มนักวิชาการในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ กลุ่มภาครัฐที่เกี่ยวข้อง และผู้ใช้ในพื้นที่ชุมชน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) พิจารณาจากคุณสมบัติคือ เป็นผู้ใช้ระบบสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเชิงพื้นที่ กลุ่มตัวอย่างในการใช้ระบบมีจำนวน 4 กลุ่ม คือ นักวิจัยภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จำนวน 20 คน นักวิชาการภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์และหน่วยงานจังหวัด จำนวน 15 คน เจ้าหน้าที่ภาครัฐจากหน่วยงานองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) จำนวน 15 คน และผู้ใช้จากพื้นที่ชุมชน คือ กลุ่มเกษตรกรและผู้ใช้โปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ในศูนย์ข้อมูล จำนวน 30 คน โดยจัดกลุ่มผู้ใช้ตามความต้องการในการใช้ระบบ เพื่อเก็บข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของซอฟท์แวร์ และผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบ

2) วิธีดำเนินการรวบรวมข้อมูล แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

(1) ข้อมูลเบื้องต้น (Primary Data) เป็นข้อมูลโดยตรง มีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ 1) การสำรวจพื้นที่ศึกษา โดยเดินทางไปสำรวจกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่เพื่อสังเกตข้อมูลโดยทั่วไป สำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล 2) การสัมภาษณ์ การสอบถามบุคคลที่เกี่ยวข้อง การจัดกลุ่มสนทนา (Focus Group) และการประเมินโดยใช้แบบสัมภาษณ์ แบบสอบถาม แบบบันทึก และแบบประเมินผล

(2) ข้อมูลขั้นที่สอง (Secondary Data) เป็นการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลจากหนังสือบทความ ตำรา เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีบทบาทกับท้องถิ่น

3) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

(1) การประเมินประสิทธิภาพของระบบ ใช้เครื่องมือการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Test) เป็นการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบการประมวลผลของแอปพลิเคชัน โดยชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ชุดข้อมูลสมาชิก ชุดข้อมูลเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน ชุดข้อมูลเว็บเซอร์วิส ชุดข้อมูลบันทึกติดตามการใช้ระบบ ชุดข้อมูลการสร้างสารสนเทศ ชุดข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น โดยแยกชุดข้อมูลออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ข้อมูลปกติ (Normal Data) ข้อมูลยกเว้น (Exception Data) และข้อมูลผิดพลาด (Error Data) เพื่อทดสอบการทำงานที่เป็นปกติ ทดสอบการจัดการข้อมูลยกเว้น และทดสอบการทำงานที่ผิดพลาดของระบบ

(2) การประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบสารสนเทศ ศูนย์ข้อมูลงานวิจัยเชิงพื้นที่ โดยใช้หลักการวัดคุณสมบัติที่ดีของระบบสารสนเทศ ซึ่งจะต้องมีลักษณะที่ครอบคลุมมิติทั้ง 4 มิติ ได้แก่ มิติด้านเวลา (Time) มิติด้านเนื้อหา (Content) มิติด้านรูปแบบ (Format) และมิติด้านกระบวนการ (Process) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) แบ่งเป็น 3 ชุด คือ

ชุดที่ 1 เป็นข้อคำถามที่เกี่ยวกับสถานภาพส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ วุฒิการศึกษา สถานภาพ อาชีพ ซึ่งมีลักษณะข้อคำถามเป็นคำถามแบบสอบถามรายการ

ชุดที่ 2 คำถามประเมินความพึงพอใจในการใช้ศูนย์ข้อมูลงานวิจัยเชิงพื้นที่แบ่งเป็น 4 ด้าน คือ ด้านการออกแบบ ด้านประสิทธิภาพ ด้านประโยชน์ และด้านสนับสนุนผู้ใช้บริการ แบบสอบถามมีทั้งหมด 21 ข้อ โดยมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์จัดระดับคะแนนเฉลี่ยตามวิธีการของเบส (Best, John W., 1981) และตรวจพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยให้คะแนนตามวิธีการของ โรวิเนลลีและแฮมเบิลตัน (Rovinelli, R., & Hambleton, R., 1977) จากนั้นนำผลการพิจารณามาหาค่า IOC โดยแบบสอบถามที่สร้างขึ้นนี้ มีค่า 0.60 ถึง 1.00 แสดงว่าข้อคำถามที่ใช้มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ทุกข้อ และนำไปทดลองใช้ (Try Out) กับกลุ่มผู้ใช้สารสนเทศที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เพื่อหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามโดยใช้วิธีการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach, L., 1970) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเท่ากับ 0.82 ซึ่งถือได้ว่าอยู่ในระดับดี แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ และใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ชุดที่ 3 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับความต้องการใช้ระบบสารสนเทศของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นคำถามปลายเปิด (Open Ended)

4) การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพและผลสำรวจความพึงใจการประยุกต์ใช้ระบบ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ โดยการหาค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่

ผลการออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ ได้ใช้เทคโนโลยี Single Sign On สำหรับสร้างศูนย์กลางบัญชีผู้ใช้งาน และเชื่อมต่อข้อมูลบนเว็บเซอร์วิสในรูปแบบ REST ที่สามารถให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ ซึ่งแอปพลิเคชันจัดการศูนย์ข้อมูลสามารถแยกการพัฒนาเป็นโปรแกรมย่อย 6 โมดูล คือ โมดูลจัดการข้อมูลสมาชิก โมดูลจัดการข้อมูลเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน โมดูลจัดการข้อมูลเว็บเซอร์วิส โมดูลบันทึกข้อมูลการใช้ระบบ โมดูลจัดการสารสนเทศ และโมดูลจัดการข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น โดยแบ่งกลุ่มผู้ใช้ได้ 4 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ ภาควิชาการ หน่วยงานภาครัฐ และพื้นที่ชุมชน ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบก่อนนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งได้ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบศูนย์ข้อมูล ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบศูนย์ข้อมูลงานวิจัยเชิงพื้นที่

ข้อ	ชุดข้อมูลทดสอบ	ผลการทดสอบ		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ชุดข้อมูลสมาชิก	4.85	0.41	มากที่สุด
2	ชุดข้อมูลเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน (OAuth2.0)	4.82	0.43	มากที่สุด
3	ชุดข้อมูลเว็บเซอร์วิส (Web Service)	4.82	0.47	มากที่สุด
4	ชุดข้อมูลบันทึกติดตามการใช้ระบบ	4.79	0.49	มากที่สุด
5	ชุดข้อมูลการสร้างสารสนเทศ	4.87	0.41	มากที่สุด
6	ชุดข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น	4.63	0.72	มากที่สุด
ผลการทดสอบโดยรวม		**4.80**	**0.53**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการหาประสิทธิภาพของระบบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Test) (Assawamekin, 2017) ที่ใช้การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบการประมวลผลของระบบ และวัดความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล ได้ผลการทดสอบโดยรวมทั้งระบบอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.80 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53 สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานได้พบความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย โดยผลการทดสอบด้านที่ดีที่สุดคือข้อมูลการสร้างสารสนเทศที่เชื่อมโยงกัน ผลอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.87 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41 ส่วนข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่นมีผลการทดสอบ ค่าเฉลี่ย 4.63 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 เพราะข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้าจากแอปพลิเคชันของสมาชิกที่มีความหลากหลายของข้อมูลทำให้ระบบสารสนเทศใช้งานได้ไม่สมบูรณ์ทั้งหมด

4.2 ผลการประยุกต์ใช้ระบบศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ ด้วยวิธีการทดลองใช้ระบบกับกลุ่มตัวอย่าง ด้วยการสมัครสมาชิกและร่วมพัฒนาระบบ โดยเชื่อมต่อแอปพลิเคชันและเชื่อมโยงด้วยบัญชีผู้ใช้ในศูนย์ข้อมูล และเปิดให้บริการข้อมูลเว็บเซอร์วิสในฐานข้อมูลทั้งหมด และดำเนินการสำรวจความพึงพอใจในการใช้ระบบจำนวนทั้งหมด 80 คน พบว่า ความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.42 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 พบว่าระบบมีจุดเด่นในด้านความทันสมัยและความน่าสนใจในการใช้เทคโนโลยี ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.49 เพราะระบบสามารถรองรับการใช้งานภายในอนาคตได้ ส่วนระบบการค้นหาข้อมูลเป็นด้านที่ควรปรับปรุง มีค่าเฉลี่ย 4.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.85 เนื่องจากข้อมูลภายในระบบเป็นการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันของสมาชิก ไม่สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลได้โดยตรงจึงมีข้อจำกัดในการค้นหาข้อมูลได้อย่างละเอียดทั้งหมด

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลวิจัย

1) การออกแบบศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สามารถใช้เทคโนโลยีการยืนยันตัวตนเพียงครั้งเดียว สำหรับสร้างศูนย์บัญชีผู้ใช้งาน และสามารถเชื่อมต่อข้อมูลบนเว็บเซอร์วิสในรูปแบบ REST ที่สามารถให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ ซึ่งแอปพลิเคชันจัดการในศูนย์ข้อมูลสามารถแยกการพัฒนาได้ 6 โมดูล คือ โมดูลจัดการข้อมูลสมาชิก โมดูลจัดการข้อมูลเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน โมดูลจัดการข้อมูลเว็บเซอร์วิส โมดูลบันทึกข้อมูลการใช้ระบบ โมดูลจัดการสารสนเทศ และโมดูลจัดการข้อมูลแอปพลิเคชันภาควิชาการและท้องถิ่น โดยแบ่งกลุ่มผู้ใช้ได้ 4 กลุ่ม คือ ผู้บริหารระบบ ภาควิชาการ หน่วยงานภาครัฐ และพื้นที่ชุมชน ผลการพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่มีประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.80 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53 สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างได้ จุดเด่นของระบบคือการเชื่อมโยงข้อมูลสมาชิกระบบ ส่วนด้านที่ต้องพัฒนาคือการนำเข้าข้อมูลจากแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อกับระบบ เนื่องจากความหลากหลายของข้อมูลในแอปพลิเคชันที่ต่างกัน

2) ผลการประยุกต์ใช้กับกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.42 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 ระบบมีจุดเด่นในด้านความทันสมัยและความน่าสนใจในการใช้เทคโนโลยีที่สามารถรองรับการใช้งานได้ในอนาคต ส่วนการค้นหาข้อมูลเป็นด้านที่ต้องพัฒนาต่อไป เนื่องจากข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันของสมาชิกที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลโดยตรง

ผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวิจัย ทำให้มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ได้รูปแบบการออกแบบวิธีการจัดเก็บข้อมูลที่มีการเชื่อมโยงระบบฐานข้อมูล สามารถการปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมฐานข้อมูลต่าง ๆ ให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันเป็นฐานข้อมูลเดียวกัน และมีวิธีการให้บริการข้อมูลในรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้กับการพัฒนาและการวิจัยเชิงพื้นที่ได้ อีกทั้งทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้อมูลในทุกหน่วยงานทั้งทางสถาบันการศึกษาและทางภาครัฐ เพิ่มความยืดหยุ่นในการพัฒนาต่อยอดระบบสารสนเทศให้เกิดประโยชน์ แก่มหาวิทยาลัยและพื้นที่ชุมชนภายใต้แนวคิดในการสร้างศูนย์ข้อมูลสำหรับจังหวัดอุตรดิตถ์

5.2 การอภิปรายผลวิจัย

จากแนวคิดในการวิจัยที่ว่า การพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลในทุกหน่วยงานทั้งทางสถาบันการศึกษาและทางภาครัฐ ให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ และประยุกต์ใช้ศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ การวิจัยพบว่า

1) การออกแบบและพัฒนาศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลในหน่วยงานต่าง ๆ ได้ โดยมีเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการภายในศูนย์ข้อมูล และสามารถกำหนดสิทธิผู้ใช้งานระบบเชื่อมต่อการใช้ข้อมูลได้ ระบบนี้สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานกับการวิจัยเชิงพื้นที่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการวิจัยที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องจากการประยุกต์ใช้องค์ความรู้เทคโนโลยีสารสนเทศด้านต่าง ๆ มาใช้ในการพัฒนาระบบ ทั้งในด้านการออกแบบและพัฒนาระบบ โดยใช้วงจรการพัฒนาระบบ SDLC ตามหลักการพื้นฐานของวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Assawamekin, 2017) ที่สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์อย่างเป็นระบบ ในด้านการพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลนี้ จึงสามารถเชื่อมโยงการทำงานแบบเครือข่าย โดยการพัฒนาซอฟต์แวร์รูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่สนับสนุนการทำงานบนอินเตอร์เน็ต ส่วนในด้านการเชื่อมโยงข้อมูลได้ใช้ความรู้ด้าน Laravel Framework (Srisukha, 2018) ที่มีโครงสร้างมาตรฐานและมีส่วนเสริมที่สามารถใช้เทคโนโลยีการยืนยันตัวตนเพียงครั้งเดียว (Single Sign On) สำหรับสร้างศูนย์ข้อมูลบัญชีผู้ใช้เพื่อยืนยันตัวตนด้วยบัญชีเดียว และสามารถเชื่อมต่อข้อมูลบริการเว็บเซอร์วิสได้ สอดคล้องกับการใช้บริการข้อมูลบนเว็บในรูปแบบ REST (Ponkaew, 2017) ที่สามารถให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนเว็บในอุปกรณ์ที่แตกต่างกันได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลงานวิจัย (Pipitgul & Phanak, 2017) ที่ศึกษาและพัฒนาการจัดการข้อมูลทางด้านงานวิจัยรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยใช้วงจรการพัฒนาระบบ SDLC พัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา PHP ติดต่อฐานข้อมูล MySQL สามารถให้บริการผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี

2) ผลการประยุกต์ใช้ศูนย์ข้อมูลการวิจัยเชิงพื้นที่ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ระบบสารสนเทศนี้สามารถใช้งานกับกลุ่มตัวอย่าง และตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานระบบ สามารถใช้สร้างศูนย์กลางบัญชีผู้ใช้ และเชื่อมโยงข้อมูลของแต่ละหน่วยงานเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการวิจัยที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ เนื่องจากการดำเนินวิจัยเชิงปฏิบัติการร่วมกับการบริหารจัดการงานวิจัยและพันธกิจสัมพันธ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่มีการใช้ระบบสารสนเทศเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงข้อมูลในการขับเคลื่อนงานวิจัยร่วมกัน สอดคล้องกับระบบบริหารงานวิจัยและพันธกิจสัมพันธ์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์กับสังคม (Promma, 2017) ที่พบว่าการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานวิจัยและพันธกิจสัมพันธ์ โดยต่อยอดจากศักยภาพทุ่นเดิมที่มีอยู่ทั้งด้านความเชี่ยวชาญ องค์ความรู้ และนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาและยกระดับฐานข้อมูลชุมชนท้องถิ่นภาคีเครือข่ายความร่วมมือ และพื้นที่ต้นแบบการเรียนรู้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการสนับสนุด้านเครื่องมือในการเชื่อมโยงข้อมูลภาควิชาการและท้องถิ่นเข้าด้วยกัน เพื่อการสร้างศูนย์ข้อมูลสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเชิงพื้นที่ภายในจังหวัด

6. เอกสารอ้างอิง

Assawamekin, N. (2017). *Fundamentals of Software Engineering.* Bangkok: SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED. (in Thai).

Best, John W. (1981). *Research in Education (4th ed.).* Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Cronbach, L. J. (1970). *Essentials of Psychological Testing (3rd ed.).* New York: Harper & Row.

Pipitgul, S. and Phanak, R. (2017). Development Website Program of Research Data Center System Chaiyapum Rajabhat University. *NRRU Community Research Journal*, 11(1), 18-28. (in Thai).

Ponkaew, J. (2017). Content-Based Image Retrieval System for Silk Pattern Information on Mobile Phone. *KKU SCIENCE JOURNAL,* 45(2), 406-417. (in Thai).

Promma, C. (2017). Research Management and University Community Engagement of Uttaradit Rajabhat University. *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University,* 12(2), 7-12. (in Thai).

Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On The Use of Content Specialists In The Assessment of Criterion-referenced Test Item Validity. *Dutch Journal of Educational Research,* 2, 49-60.

Srisukha, E. (2018). *Web Application and Database with Laravel 5.* Bangkok: ASIA DIGITAL PRESS COMPANY LIMITED. (in Thai).

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). *Get to know Data Center*. [online], Available: https://www.scimath.org/article-technology/item/8506-data-center.

การศึกษาคุณสมบัติของดินเลนในบ่อดักตะกอนของเหมืองแม่เมาะ เพื่อใช้ในงานเซรามิก

Study on Properties of Clayed Soil from Sediment Trapping Sump of Mae Moh Mine for Use in Ceramic Works

สุชีวัน อินทุ่ง[1*], พงษ์ชนะ ชุติมา[2] และอนุชา วรรณก้อน[3]

Sucheewan Inthung[1*], Pongchana Chutima[2] and Anucha Wannagon[3]

[1*,2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 202 ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โทร 08 3206 0531 อีเมล์ obsucheewan@gmail.com

[3]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[1*,2]Faculty of science and Technology Chiang mai Rajabhat University 202 Changhuak Rd, Tambon Chang Phueak, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai, 50300

[3]National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thaini, 12120

วันที่รับบทความ 12 มกราคม 2565 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 10 มิถุนายน 2565 **วันที่ตอบรับบทความ** 15 มิถุนายน 2565

Received: Jan. 12, 2022 **Revised:** Jun. 10, 2022 **Accepted:** Jun. 15, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเลน จากบ่อดักตะกอนของเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนมาทำความสะอาดและแยกสิ่งเจือปนออก นำดินเลนมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงเคมีและเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็น ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ ในรูปของแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เคโอลิไนต์ และเฮมาไทต์ จากการศึกษาทางกายภาพ พบว่าเนื้อดินเลนมีความละเอียดสูง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคขนาดเล็กกว่า 325 เมช ถึงร้อยละ 67.65 มีความเหนียวสูง เมื่อนำมาทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 ^{o}C พบว่าเนื้อดินเลนสุกตัวดีที่อุณหภูมิ 1100 ^{o}C มีค่าการหดตัวร้อยละ 4.54 มีค่าความพรุนร้อยละ 0.27 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.40 และมีสีหลังเผาเป็นสีน้ำตาลแดง มีความแข็งแรงดัดโค้งเท่ากับ 13.38 MPa ผลกการทดลองขึ้นรูปพบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปด้วยมือ และจิกเกอร์ได้ดี โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เทอราคอตต้า จึงกล่าวได้ว่าดินเลนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ สามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้โดยการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

คำสำคัญ: เครื่องปั้นดินเผา, ดินเลน, เหมืองแม่เมาะ

Abstract

This research aimed to analyze the properties of clayed soil from the sediment trapping sump of Mae Moh mine, Lampang province for use in ceramics production. The soil was sampled from the sump and cleaned by washing and removing the impurities. The clayed soil was then analyzed for chemical and mineral compositions using X-ray fluorescence and X-ray diffraction instruments. The main compositions were silica, alumina, and iron oxide in the forms of quartz, muscovite, kaolinite, and hematite. The clay soil had high plasticity because it contained more than 67% of fine particles. After firing at temperatures ranging from 1000-1200 $^{\circ}$C, it was found that the clay body was sintered well at 1100 $^{\circ}$C. The lost weight was 9.70% and the shrinkage value was 4.54%. It had porosity of 0.27%, water absorption of 1.40%, and a reddish-brown color after firing. The strength was measured with a bending strength value of 13.38 MPa. It was found that the clayed soil was suitable for hand molding or jiggering. The resulting ceramics had properties like terracotta. Therefore, it is possible to use the clayed soil, a waste product from the sediment trapping sump in the Mae Moh mine, in the ceramic industry.

Keywords: Pottery, Clay Soil, Mae Moh mine

1. บทนำ

ในกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นั้นมีกระบวนการขุดเจาะดิน และถ่านหินปริมาณมาก ทำให้ดินที่จะถูกกัดเซาะและล้างหน้าดินเกิดเป็นดินตะกอนที่จะถูกพัดพามารวมกัน และตกตะกอนที่ก้นบ่อดักตะกอนปริมาณสะสมมากถึงประมาณปีละ 1 แสนลูกบาศก์เมตร ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะปี 2562 ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดการดินตะกอนเหล่านี้ และต้องใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการจะทดลองนำดินตะกอนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีปริมาณมากในพื้นที่ในการทำเหมืองแร่ถ่านหินลิกไนต์มาผลิตเป็นเซรามิก โดยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทดินโคลนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาใช้ในการผลิตเซรามิก เช่น การนำกากแร่จากการทำเหมืองตะกั่ว และสังกะสีในยุโรปมาผลิตเป็นเซรามิกประเภทวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ อิฐ กระเบื้องหลังคา วัสดุปูพื้นทางเดิน (Veiga Simao et al., 2021) หรือการใช้โคลนแดงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไบเออร์ (การผลิตอะลูมินาจากแร่บ็อกไซด์) ในบราซิลมาผสมกับดินเหนียว และเผาที่อุณหภูมิได้ตั้งแต่ 850 °C สำหรับการทำอิฐ และเผาที่อุณหภูมิ 1050 °C สำหรับการทำกระเบื้องมุงหลังคา (Babisk et al., 2020) และการศึกษาผลของการใช้โคลนสีแดงจากกระบวนการไบเออร์ที่มีผลต่อความเหนียว และคุณสมบัติของดินผสมสำหรับการขึ้นรูปเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด พบว่าสามารถใช้โคลนแดงเป็นส่วนผสมได้ถึงร้อยละ 30 (Hamsa et al., 2019) สำหรับในประเทศไทยนั้น นอกจากการศึกษาถึงศักยภาพของแหล่งดินต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ในเชิงเซรามิกแล้ว การนำวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็มีรายงานอยู่บ้างพอสมควร

ได้แก่ การนำดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง มาทำเป็นดินสำเร็จรูปเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผาพบว่า ส่วนผสมดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์ร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งสามารถลดปริมาณดินตะกอนของการประปานครหลวงได้ถึง 0.6 ตันต่อเนื้อดินปั้น 1 ตัน ซึ่งถือว่าเกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก (Karawek et al., (2019) จะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ จากกระบวนการเหมืองแร่หรือจากกระบวนล้างหรือบำบัดด้วยน้ำ ที่มีลักษณะเป็นโคลนดินเลนนั้นมีความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการใช้งานในเชิงเซรามิก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของดินเลน

2.2 เพื่อทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินเลน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติของดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยผู้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดินเลน

1) ทำการเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนด้านตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นบ่อที่ 2 ในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีพื้นที่บ่อ 42,890 ตร.ม. และลึก 15 เมตร โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างรอบ ๆ บ่อทั้งหมด 10 จุด โดยเปิดหน้าดินลงไป 1 เมตร เพื่อเก็บตัวอย่างดินเลน

2) เตรียมดินตัวอย่างโดยนำตัวอย่างดินเลนแช่น้ำไว้ 1 - 2 วัน แล้วนำไปปั่นในถังปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 200 และ 325 เมช จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเก็บดินไว้ เพื่อวิเคราะห์และทดสอบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์และทดสอบดินเลน

1) นำตัวอย่างดินเลนมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ และเชิงเคมีก่อนเผาด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 advance และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) ยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 Tiger ตามลำดับ

2) วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมาแล้วด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5910LV

3) ขึ้นรูปแท่งทดสอบดินเลนโดยนำดินเลนมาผสมน้ำจนกระทั่งขึ้นรูปได้แล้วกดลงบนพิมพ์ขนาด ยาว 10 ซม. กว้าง 2 ซม. หนา 1 ซม. แล้วตากแห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วจึงทำการทดสอบการหดตัวก่อนเผา คำนวณร้อยละการหดตัวตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{(\text{ความยาวเริ่มต้น} - \text{ความยาวหลังอบหรือหลังเผา})}{(\text{ความยาวเริ่มต้น})} \times 100 \qquad (1)$$

4) ทดสอบความทนไฟโดยทำการเผาแท่งทดสอบดินเลนที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C เป็นเวลา 30 นาที ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชัน

5) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ และเชิงเคมีหลังเผาด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF)

6) ทดสอบการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C โดยวัดค่าความยาวหลังอบ 110 °C และวัดค่าความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วคำนวณตามสูตรที่ 1

7) ทดสอบหาค่าความพรุนตัวโดยนำแท่งทดสอบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักใต้น้ำ และชั่งน้ำหนักอิ่มน้ำ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความพรุนตัว

$$\text{ร้อยละความพรุน} = \frac{(\text{น้ำหนักดินอิ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักดินแห้ง})}{(\text{น้ำหนักดินอิ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักดินใต้น้ำ})} \times 100 \qquad (2)$$

8) ทดสอบการดูดซึมน้ำหลังการเผา โดยนำแท่งทดสอบเนื้อดินแต่ละสูตรที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำแท่งทดสอบมาเช็ดผิวให้แห้งแล้วจึงนำแท่งทดสอบไปชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักดินที่อิ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักดินที่แห้ง})}{(\text{น้ำหนักดินที่แห้ง})} \times 100 \qquad (3)$$

9) ทดสอบมอดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR) โดยนำแท่งทดสบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมดจำนวน 3 แท่ง ไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดโค้ง จากสูตรที่ 4

$$MOR = \frac{(3LD)}{(2bd^2)} \qquad (4)$$

โดย L = ค่าน้ำหนักแรงกด
D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ
b = ความกว้างของแผ่นทดสอบ
d = ความหนาของแผ่นทดสอบ

10) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อดินหลังเผา

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการขึ้นรูป

1) นำดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมดินมาแล้วผสมน้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำ (1:0.25) แล้วนวดเพื่อขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุน และทดสอบการขึ้นรูปดินเลนด้วยจิกเกอร์

2) นำดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมดินมาแล้ว มาอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกลงในพิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม.

3) ปล่อยชิ้นงานให้แห้งสนิท แล้วนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C ด้วยเตาไฟฟ้าบรรยากาศแบบออกซิเดชัน จากนั้นวิเคราะห์ตำหนิ และรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ก ข

ภาพที่ 1 (ก) ดินเลนในบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ (ข) ดินแดงที่แทรกตัวอยู่ในบ่อเหมืองถ่านหินแม่เมาะ

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองนำดินเลนไปใช้ในโรงงานเซรามิก

1) การนำเอาดินเลนไปทำเป็นเคลือบเอนโกบ ตกแต่งผิวเซรามิกของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล โดยชิ้นงานแรกจะขึ้นรูปดินดำ ด้วยแป้นหมุนจากนั้นใช้น้ำดินซึ่งมีส่วนผสมของดินเลน 1 ส่วนต่อดินดำ 3 ส่วน มาวาดเป็นลวดลายลงบนภาชนะดินดิบก่อนเผา แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 °C

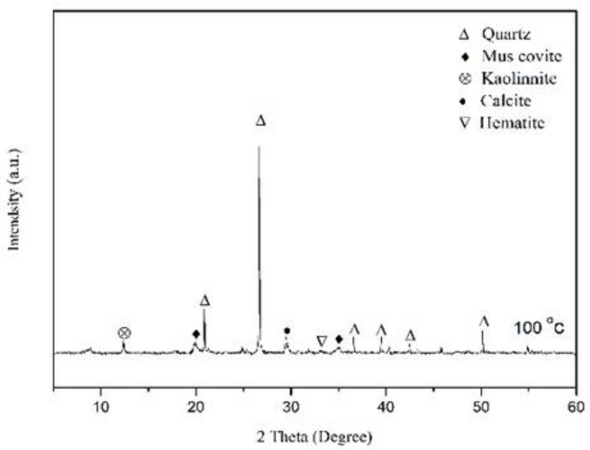
2) อีกชิ้นงานหนึ่งของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล เป็นการนำน้ำดินซึ่งมีส่วนผสมของดินเลน 1 ส่วนต่อดินดำ 3 ส่วน มาตกแต่งลงบนผิวแก้วกาแฟที่ขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์ แล้วแกะสลักลวดลายลงบนผิวดินดิบ แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นทำการเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 °C แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปชุบเคลือบศิลาดล จากนั้นจึงนำไปเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1260 °C

3) การนำเอาดินเลนมาผลิตเป็นเคลือบเซรามิกไฟต่ำ โดยนำดินเลนไปผสมในน้ำเคลือบของโรงงานชะเลียงเซรามิก ร้อยละ 70 แล้วชุบเคลือบบนชิ้นงานบิสกิตที่ผ่านการเผา 800 °C จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C

4. ผลการวิจัย

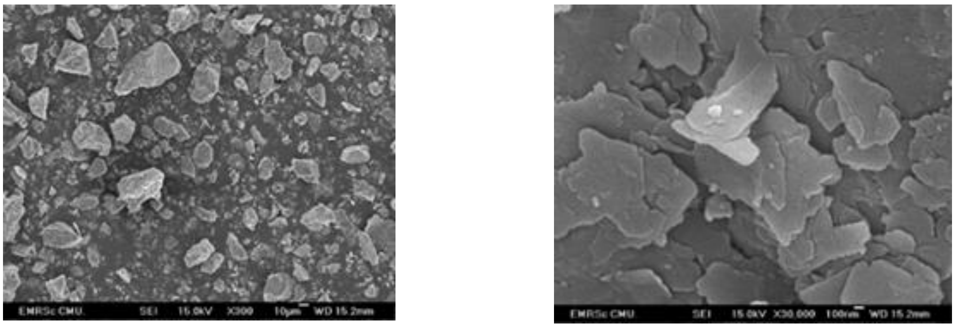
1. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของดินเลน

1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเคมีดินเลนก่อนเผา ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) พบว่าดินเลนประกอบไปด้วยร้อยละของออกไซด์ดังต่อไปนี้ SiO_2 ร้อยละ 54.99 Al_2O_3 ร้อยละ 19.57 CaO ร้อยละ 16.54 Fe_2O_3 ร้อยละ 6.46 K_2O ร้อยละ 2.46 MgO ร้อยละ 1.47 Na_2O ร้อยละ 0.42 P_2O_5 ร้อยละ 0.13 SO_3 ร้อยละ 0.7 และ CO_2 ร้อยละ 9.61 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนก่อนเผา ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) พบว่า ดินเลนประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เกาลินไนต์ แคลไซต์ และแร่เฮมาไทต์ ตามภาพที่ 2 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเคมีและเชิงแร่จะเห็นได้ว่า ดินเลนมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูงเมื่อเผาแล้วจะทำให้มีสีเข้ม และมีสารแคลเซียม แมกนีเซียม และอัลคาไลน์สูง ซึ่งจะทำให้ดินเลนมีจุดสุกตัวต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติคล้ายดินประเภทเอิร์ทเทินแวร์หรือเทอราคอตต้า



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ดินเลนด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD)

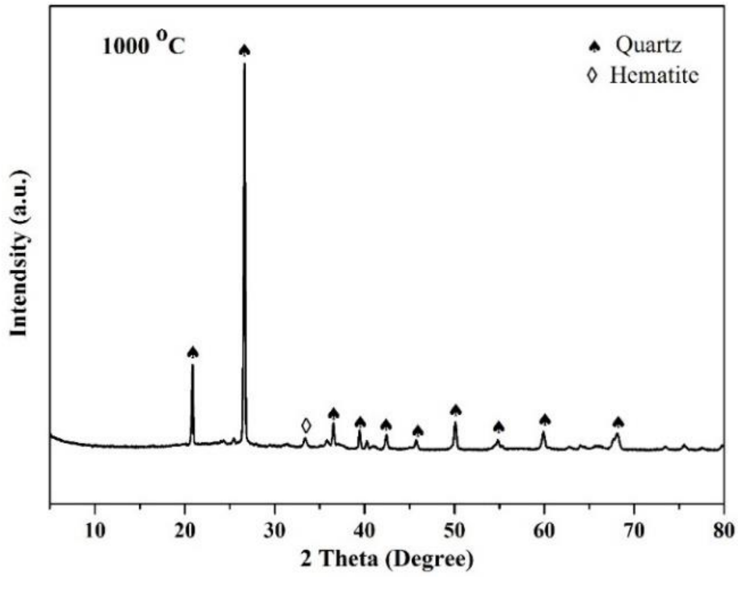
1.2 ผลการคัดขนาดดินเลนด้วยตะแกรงคัดขนาดต่าง ๆ เบอร์ 100 200 และ 325 เมช พบว่า ดินเลนมีเศษหิน และเศษถ่านหิน ร้อยละ 12.47 ที่ค้างตะแกรงขนาด 100 และ 200 เมช เนื้อดินเลนส่วนใหญ่มีขนาดที่ต่ำกว่า 325 เมช ซึ่งพบถึงร้อยละ 67.65 ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดและเกาะตัวกันแน่น และเมื่อวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของดินเลนด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงในภาพที่ 3 (ก) จะเห็นว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคดิน ขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 30-40 ไมโครเมตร ซึ่งค่อนข้างจะมีขนาดเล็ก และจากภาพที่ 2 (ข) จะเห็นโครงสร้างการเรียงตัวของแผ่นอนุภาคดินที่เรียงซ้อนกันอย่างหนาแน่นมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ดินเลนมีความเหนียวสูง



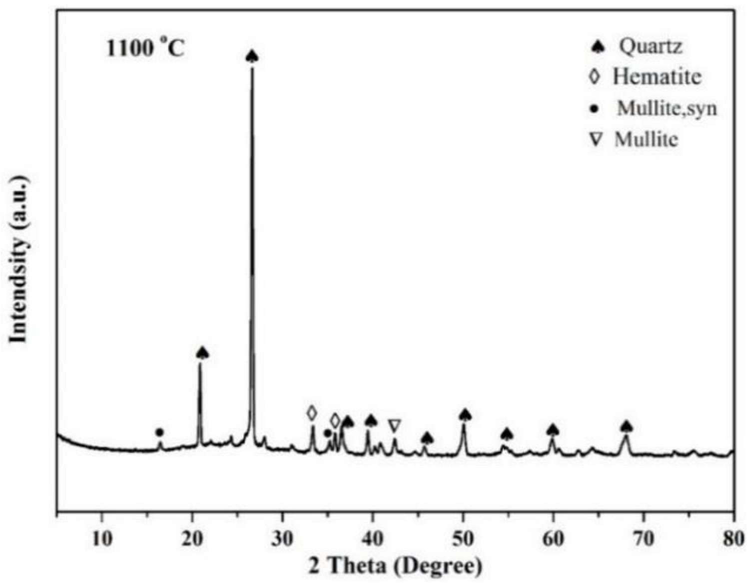
ก ข

ภาพที่ 3 (ก) การกระจายตัวของเนื้อดินเลนที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM ขนาดกำลังขยาย 3000 เท่า (ข) ลักษณะโครงสร้างของเนื้อดินเลนกำลังขยาย 30,000 เท่า ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น ๆ ซ้อนกัน

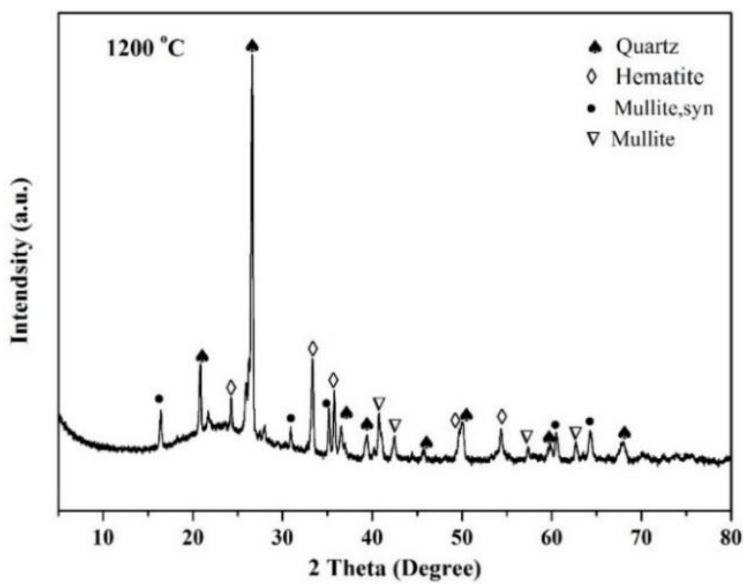
1.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ของตัวอย่างดินเลนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 ^{o}C พบว่าองค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 ^{o}C พบ แร่ควอตซ์ และเฮมาไทต์ ในขณะที่ดินเลนเผา 1100 ^{o}C และ 1200 ^{o}C พบแร่ควอตซ์ เฮมาไทต์ และมัลไลต์ ดังภาพที่ 4 - 6 ซึ่งมัลไลต์เป็นสารประกอบระหว่างซิลิกากับอลูมินา ที่ทำให้โครงสร้างของเซรามิกแข็งแรง จึงทำให้แท่งทดสอบดินเลนที่เผา 1100 ^{o}C และ 1200 ^{o}C นั้นจะมีเนื้อแน่น และมีความแข็งแรงสูงกว่าแท่งทดสอบที่เผา 1000 ^{o}C



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย เครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1000 ^{o}C



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย เครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1100 °C



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1200 °C

1.4 ผลการทดสอบค่าร้อยละการหดตัว ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรงดัดโค้งของตัวอย่างแท่งทดสอบดินเลนหลังเผา พบว่า ยิ่งอุณหภูมิที่เผาสูงขึ้นค่าร้อยละของการหดตัวยิ่งเพิ่มมากขึ้นโดยจะเห็นว่า เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ค่าการหดตัวจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.01 เป็น ร้อยละ 4.54 โดยค่าการหดตัวของเนื้อดินเลนในช่วงแรกจะเกิดจากการสูญเสีย

น้ำในเนื้อดิน และค่าการหดตัวหลังเผาเกิดจากโครงสร้างของเนื้อดินเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การเกิดเฟสมัลไลต์ และยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้การหดตัวยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากน้ำที่อยู่ที่ผิวดินและน้ำในโครงสร้างและสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไหม้ จะระเหยออกไปจากโครงสร้างของเนื้อดิน ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเข้ามาใกล้ชิดกันมากยิ่งจึงทำให้เกิดการหดตัวที่สูงขึ้น ซึ่งก็จะส่งผลต่อค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำที่ลดลงจาก 2.30 เป็น 1.40 และค่าร้อยละความพรุนที่ลดลงจาก 0.39 เป็น 0.27 สำหรับรูพรุนในเนื้อของเซรามิกเกิดจากการสลายตัว ของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในเนื้อดินที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผา

สำหรับค่าความแข็งแรงของโครงสร้างจะสูงขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดัดโค้งของแท่งตัวอย่างดินเลนที่เพิ่มขึ้นจาก 11.50 MPa เป็น 13.98 MPa ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเซรามิกคือ การเกิดเฟสมัลไลต์ และอีกปัจจัยหนึ่งคือขนาดของอนุภาคดินเลนที่เล็กละเอียด ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อดินมีความแข็งแรงมาก (Kowuttiphong, 2017) ในขณะที่แท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่ 1200 °C มีลักษณะรูปทรงที่บิดเบี้ยว ที่เกิดการหลอมตัวของเนื้อดิน มีผิวที่พุพอง ขรุขระซึ่งอาจจะเกิดจากการระเบิดของแก๊สในเนื้อดิน ทำให้ไม่สามารถจะทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบร้อยละการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ ความพรุน และค่าความแข็งแรงดัดโค้ง

อุณหภูมิที่เผา °C	%การหดตัว	%ความพรุน	%การดูดซึมน้ำ	ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (MPa)
1000	4.01	0.39	2.30	11.50
1100	4.54	0.27	1.40	13.98
1200	-	-	-	-

1.5 ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพ และความทนไฟของแท่งทดสอบดินเลนเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C พบว่า แท่งทดสอบเนื้อดินเลนที่เผา 1000 °C มีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อโปร่ง น้ำหนักเบา สำหรับแท่งทดสอบที่เผาอุณหภูมิ 1100 °C มีเนื้อแน่น มีสีน้ำตาลแดงและสุกตัวดี รูปทรงดี ไม่มีการบิดเบี้ยว ในขณะที่แท่งทดสอบที่เผา 1200 °C เนื้อดินมีการหลอมตัวและมีสีน้ำตาลดำ และมีผิวพุพอง บิดเบี้ยว เสียรูปทรง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหลังเผา ได้แก่ สีหลังเผา และลักษณะทางกายภาพ

อุณหภูมิ (° C)	แท่งทดสอบเซรามิก	สีหลังเผา
1000		เนื้อดินเป็นสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีเดียวกันทั้งแท่ง
1100		เนื้อดินมีสีน้ำตาลแดง สุกตัวดี
1200		เนื้อดินมีสีน้ำตาลดำ มีลักษณะผิวพุพอง เนื่องจากการระเบิด และ ความไม่ทนไฟของเนื้อดิน

2. ผลการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์รูปทรงและตำหนิ

2.1 ผลการทดลองนำดินเลนมาปั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์พบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปได้เป็นอย่างดีทั้งสองวิธี

2.2 ผลการวิเคราะห์รูปทรงและตำหนิของผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินเลน เมื่อนำดินเลนไปปั้นขึ้นรูปเป็นชุดถ้วยกาแฟด้วยแป้นหมุน ดังแสดงในภาพที่ 7 และนำดินเลนไปขึ้นรูปเป็นถ้วยขนาดเล็กด้วยจิกเกอร์ดังแสดงในภาพที่ 8 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C เป็นการเผายืนไฟเวลา 30 นาทีพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดมีผิวเนียน มีสีเนื้อที่สม่ำเสมอ มีรูปทรงที่สมมาตร ไม่มีการบิดเบี้ยว และไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว

ภาพที่ 7 การขึ้นรูปถ้วยชาจากดินเลนด้วยการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เผาที่อุณหภูมิ 1100 ℃

ภาพที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100℃

3. ผลการนำดินเลนไปประยุกต์ใช้ในโรงงานเซรามิก

3.1 ผลการนำเอาดินเลนไปทำเป็นเคลือบเอนโกบตกแต่งบนผิวเซรามิกของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดลพบว่า ผิวของผลิตภัณฑ์บริเวณที่ทาน้ำดินลงไปหลังเผาจะมีสีส้มอิฐ เกิดเป็นลวดลายบนผิวภาชนะที่มีลักษณะด้าน มีสีสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิใด ๆ ดังแสดงในภาพที่ 9

3.2 ผลการนำน้ำดินเลนผสมดินดำมาตกแต่งบนเคลือบศิลาดล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ศิลาดลที่ได้ มีลวดลายแกะสลัก ที่มีผิวด้านสวยงาม มีสีน้ำตาลเข้มสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิใด ๆ ตามภาพที่ 10 ซึ่งเป็นเทคนิคของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล

3.3 ผลการนำเอาดินเลนไปผลิตเป็นเคลือบเซรามิกไฟต่ำของโรงงานชะเลียงเซรามิก พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลแดง ผิวด้านสวยงาม และการเคลือบด้วยน้ำเคลือบผสมดินเลน ยังทำให้สามารถชุบเคลือบอื่น ๆ ทับลงไปอีกรอบเพื่อตกแต่งได้ ผิวมีความมัน เงางามได้อีกด้วย ตามที่ได้แสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 9 เคลือบเอนโกบดินเลน

ภาพที่ 10 เคลือบดินเลนตกแต่งบนเนื้อเซรามิกศิลาดล

ภาพที่ 11 เคลือบไฟต่ำดินเลนจากโรงงานชะเลียงเซรามิก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 การสรุปผล

1. ดินเลนประกอบไปด้วยแร่หลักคือ ซิลิการ้อยละ 54.99 และอลูมินาร้อยละ 19.57 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6.46 มีสารอินทรีย์ร้อยละ 9.61 มีอัลคาไลน์ร้อยละ 9.42 มีองค์ประกอบเชิงแร่หลังเผาที่สำคัญ ได้แก่ แร่ควอตซ์ และมัลไลต์ มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดต่ำกว่า 325 เมช และมีความทนไฟที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C ร้อยละ 4.5 มีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.40 มีค่าความแข็งแรงหลังเผา 13.98 MPa

2. ดินเลนสามารถปั้นขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์ได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังเผา 1100 °C พบว่า มีความแข็งแรงดี ไม่มีการบิดเบี้ยวแตกร้าว มีสีหลังเผาสม่ำเสมอ มีผิวที่เรียบเนียน สีน้ำตาลแดง ไม่มีตำหนิที่เป็นจุดหรืออื่น ๆ

5.2 การอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ และทดสอบพบว่า ผลิตภัณฑ์จากดินเลนมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อดินชนิดเทอราคอตต้าคือ มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวต่ำ เมื่อเคาะแล้วเสียงไม่กังวาล มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีปริมาณเหล็กสูง เนื้อดินมีความละเอียด มีความเหนียวสูง เนื่องจากเนื้อดินละเอียด สามารถขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์ได้ดี และเนื่องจากดินเลนมีการหดตัวต่ำจึงทำให้เมื่อขึ้นรูปแล้วไม่เกิดการแตกร้าว และการบิดเบี้ยว เนื้อดินเทอราคอตต้าสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผาได้ เช่น แจกัน กระถางต้นไม้ หรือแม้แต่ผลิตเป็นอิฐก่อสร้าง และกระเบื้องดินเผาได้โดยการนำไปผสมกับวัตถุดิบที่เหมาะสม (Bordeepong et al., 2019) (Nattratip, 2017) ตัวอย่างเช่น การใช้โคลนสีแดงจากการผลิตอลูมินาจากแร่บล็อกไซด์มาผสมกับดินเหนียว สำหรับการทำอิฐ และกระเบื้องมุงหลังคา (Babisk et al., 2020) หรือการนำเอาโคลนสีแดงร้อยละ 30 ผสมดินสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปเป็นอิฐก่อนสร้างได้ (Hamsa et al., 2019) หรือการนำเอาดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ผสมดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์ร้อยละ 20 ผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การจะพัฒนาดินเลนหรือดินตะกอนเหลือทิ้งเหล่านี้จำเป็นต้องนำไปผสมกับวัตถุอื่น และเลือกเทคนิคการขึ้นรูปที่เหมาะสม จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน เช่นเดียวกับการพัฒนาดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ ถ้านำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ก็จะสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่หลากหลายได้

2. ดังนั้นแนวทางพัฒนาดินเลนต่อไปในอนาคต เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีมูลค่าสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การนำดินเลนไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยอาจจะนำไปผสมวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ดินขาว เพื่อเพิ่มความทนไฟ (1230 - 1300 °C) และเพิ่มความแข็งแรงให้เนื้อดินเพื่อให้ได้คุณสมบัติของเนื้อดินสโตน์แวร์) (Kowuttiphong, 2017) หรือการพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อน้ำดิน ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตเซรามิกได้ปริมาณมาก เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงานเซรามิก เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากดินเลนเป็นดินตะกอนที่ไหลมาทับถมกันจากกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ ซึ่งในแต่ละชั้นของดินเลนจะมีความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพดิน ดังนั้นในการนำดินเลนมาใช้จำเป็นต้องทำการสุ่มตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพก่อนเสมอ จึงจะทำให้ได้ดินที่เหมาะสม และคุณภาพคงที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะ ที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการในการทำงาน และขอขอบคุณโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล และโรงงานชะเลียงเซรามิกที่ได้ให้ความร่วมมือทางวิชาการในการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดียิ่ง ซึ่งถือว่าเป็นการต่อยอดงานวิจัยลงสู่ผู้ประกอบการโดยตรง ทำให้งานวิจัยนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

Babisk, M. P., Amaral, L. F., da Silva Ribeiro, L., Vieira, C. M. F., do Prado, U. S., Borlini, M. C., Oliveira, M. S., da Luz, F. S., Monteiro, S. N., & da Costa Garcia Filho, F. (2020). Evaluation and application of sintered red mud and its incorporated clay ceramics as materials for building construction. *Journal of materials Research and Technology*, 9(2), 2186-2195. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.049.

Bordeepong, S., Phansuke, P., & Sukolrat, A. (2019). Study of mineralogy. chemical composition and physical properties of clays from Local pottery areas Rongang community Pattani province. *RMUTK Science and Technology Journal*, 13(1), 17-29. (in Thai).

Hamza, A., Kocserha, I., Geber, R., & Buzimov, A. (2019). Plasticity of Red Mud and Clay Mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 613, 1-7. https://doi.org/10.1088/1757-899X/613/1/012051.

Karawek, S., Khonthon, S., Intarapadung, A., & Thiamtham, T. (2019). Development of ready-mix soil from tap water sediment for pottery. *Research Journal Phranakhon Rajabhat*: *Science and Technology*, 14(1), 117-135. (in Thai).

Kowuttiphong, P. (2017). Development of a clay mixture from Ban Nong Yang soil for stoneware pottery product. *Industrial technology Lampang Rajabhat University Journal*, 10(2), 60-74. (in Thai).

Nattratip, W. (2017). A study of the ratio of Huepai village clay with grog for pottery product forming**.** *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 10(2), 85-94. (in Thai).

Veiga Simao, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., Nielsen, P., & Cappuyns, V. (2021). Turning Mine Waste into a Ceramic Resource: Plombieres Tailing Case.*Journal of Sustaionable Metallurgy*, 7. 1469-1482. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7639.

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. **วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ** เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี <u>ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง</u>

2. **ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง** ดังนี้

   2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

   2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

   2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. **กำหนดออกวารสาร**

   วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ด้วยระบบ Online: ThaiJo

4. **การพิจารณาบทความ**

   4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

   4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

   4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 3 คน

   4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้ง กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา <u>ยกเลิก</u> กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. **คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์**

   5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <u>https://li01.tci-thaijo.org/index.php/Itech</u> และนำส่งเอกสารได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 ม.9 ถ.ลำปาง – แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)
ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล[1*], ชื่อ นามสกุล[2] และ ชื่อ นามสกุล[3] (ภาษาไทย)
ชื่อ นามสกุล[1*], ชื่อ นามสกุล[2] และ ชื่อ นามสกุล[3] (ภาษาอังกฤษ)
[1*] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY
[2] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์
[3] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาไทย)
[1*] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY
[2] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์
[3] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX **วันที่รับแก้ไขบทความ** XXXXXXXXXX **วันที่ตอบรับบทความ** XXXXXXXXXX
Received: XXXXXXXXXX **Revised:** XXXXXXXXXX **Accepted:** XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 (8¼ × 11¾ นิ้ว)
โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ และบันทึกไฟล์ข้อมูลด้วย Microsoft Word 2016 เท่านั้น

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ

เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ "**บทคัดย่อ**" และ "**Abstract**" เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหานำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องมีการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่าหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้

พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

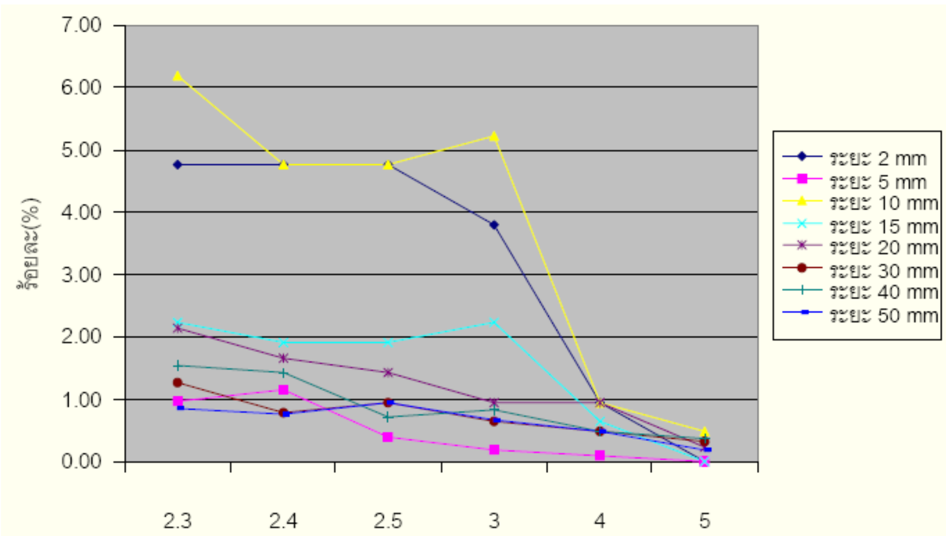
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม 2)ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผาคือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	1)กระเบื้องดินเผามีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว 2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุดเมื่อใช้งาน 3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่คงทนแข็งแรง

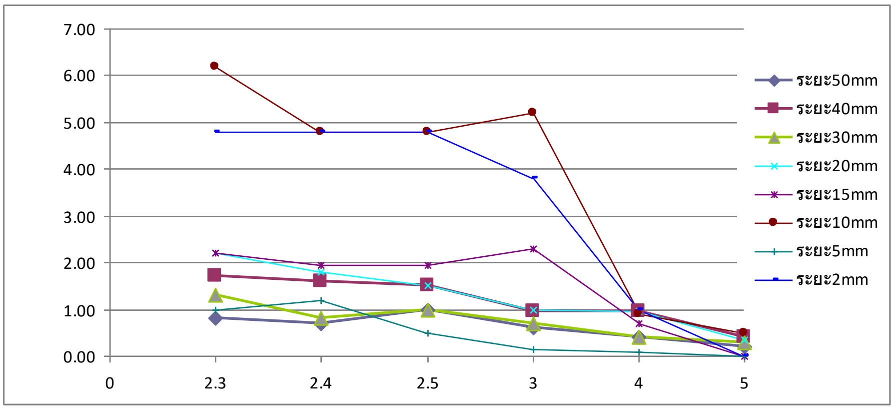
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม 2) ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	1) กระเบื้องดินเผามีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว 2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

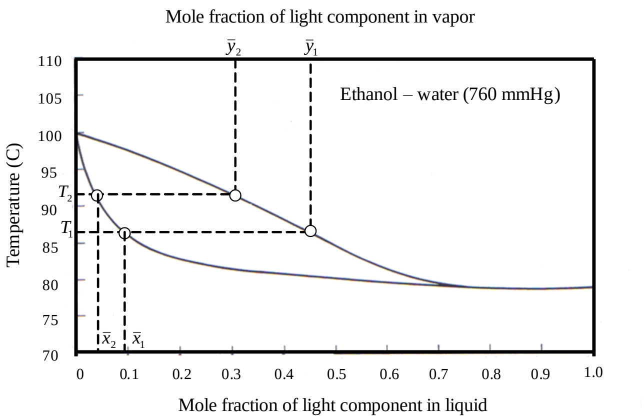


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 – 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 - 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ – ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	**ปี**	
	2545	**2546**
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA 7th

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)
(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins foradsorption chillers, *Applied Thermal Engineering,* vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สวนมาลี. (2519). ความสามารถในด้านการเงินของเทศบาลกรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์, 16, เมษายน 2519,* หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, *paper presented in the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001,* Chiang Mai, Thailand.

มารุต บูรพา, ณัฐนี วรยศ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย,* มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). *Chiang Mai City Municipality.* Annual Report.

จุฬาพร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธุวนิตย์ และปนัทดา เพ็ชรสิงห์. (2529). *รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เฉลิมพลานุภาพ. (3535). *พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย.* วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments,* New York: John Wiley & Sons,.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering, 2^{nd} edition.* ISBN: 1-56032-714-6, Philadephia: Taylor & Francis,

วีกูล วีรานุวัติ และกนกนาถ ชูปัญยา. (2525). *เคมีคลินิก.* กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

สุรจิตร ทีบัว. (2538). *การศึกษาสภาพการใช้แหล่งชุมชนประกอบการสอนวิชาสังคมศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา ของจังหวัดขอนแก่น.* วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea.* Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, GLD, Australia.

(6) เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). *"คู่มือการศึกษาปีการศึกษา 2554".* [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.psu.ac.th/handbook/ สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2554.

Brown, H. (1994). *"Citing computer references".* [online], Available: http://neal.ctstateu.edu /history/cite.html. access on April 3, 1995.

(7) การสัมภาษณ์

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ติรกานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ติรกานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chaulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ป่าน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal,* 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review,* 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai).

1.3 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). *สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศขาเข้าในปี 2555.* [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012.* [online], Available: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on February 9, 2014. (in Thai)

****

ท่านสามารถดาวโหลดรูปแบบบทความได้ที่ http://www.journal.itech.lpru.ac.th

หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง **โทร** 0 5423 7399 ต่อ 1339

Tel.: 08 0502 8598 **E-mail**: journalitech@gmail.com

ปรับปรุงเมื่อ 10 มกราคม 2562