

การผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งเพื่อรองรับความต้องการตลาด The production of briquetted biochar to meet market demand.

ปรานต์ เมฆอากาศ¹ จินดา ศิริตา² ศศิวิมล ภูพวง³ อัญยานี เกตุพันธุ์³ และนงนุช ศรีเล็ก^{1*}
Pran Makarkard¹, Jinda Sirita², Sasiwimon Puphoun³, Aunyanee Katepan³ and Nongnoot Srilek^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

³ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

¹ Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand.

² Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand.

³ Faculty of Management, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand.

*Corresponding author E-mail: nongnoot.sri@crru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ การใช้งาน คุณลักษณะด้านความร้อนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของถ่านชีวภาพอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชน จำนวน 2 ตัวอย่าง (BS และ JJ) เปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพอัดแท่งเชิงพาณิชย์ในพื้นที่อำเภอพานและอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยการทดสอบอ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความร้อนสูงมากกว่า 20.93 MJ/kg โดยตัวอย่าง BS และ JJ มีค่าความร้อนเท่ากับ 24.10 ± 0.08 และ 22.15 ± 0.20 MJ/kg ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ถ่านอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชนมีค่าความชื้นสูงกว่าบางตัวอย่างในตลาด ซึ่งส่งผลต่อการเกิดควันและคุณภาพการใช้งาน โดยตัวอย่าง JJ พบการเกิดควันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่น การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการลงทุนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 45,000–70,000 บาท สามารถผลิตได้วันละประมาณ 100 kg มีราคาจำหน่ายเหมาะสมที่ 15–20 บาท/kg และมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ประมาณ 7–8 เดือน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาถ่านชีวภาพอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชน เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสนับสนุนเศรษฐกิจฐานรากอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ถ่านชีวภาพ การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพ การเพิ่มความหนาแน่น ถ่านอัดแท่ง การเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน

Abstract

This study aims to evaluate the physical characteristics, combustion performance, thermal properties, and economic feasibility of briquetted biochar produced by two community enterprises (BS and JJ), in comparison with five commercially available briquetted biochar samples collected from local markets in Phan and Mueang Districts, Chiang Rai Province. The evaluation was conducted in accordance with the Community Product Standard for briquetted biochar (TISI 238/2547). The results revealed that all samples exhibited higher heating values (HHVs) exceeding 20.93 MJ/kg. The HHVs of samples BS and JJ were 24.10 ± 0.08 and 22.15 ± 0.20 MJ/kg, respectively. However, the moisture contents of the community-produced briquettes were higher than those of several

commercial samples, which affected combustion quality. In particular, sample JJ showed higher smoke emissions, indicating a need for further improvement in the production process. Economic analysis indicated that the initial investment ranged from 45,000 to 70,000 THB, with a production capacity of approximately 100 kg per day and a suitable selling price of 15–20 THB/kg. The estimated payback period was 7–8 months. Overall, the findings demonstrate the potential for improving the quality and market competitiveness of community-based briquetted biochar, supporting sustainable local economic development.

Keywords: Biochar, Biochar utilization, Densification, Briquette, Waste to energy.

บทนำ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เอื้อต่อการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้สามารถถูกชดเชยได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Cha Jin Sun et al., 2016) การเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานจึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับโมเดลเศรษฐกิจ BCG ซึ่งเป็นนโยบายสำคัญของประเทศไทยในการพัฒนาอย่างยั่งยืน ไบโอชาร์เป็นวัสดุแข็งที่อุดมไปด้วยคาร์บอนซึ่งได้จากกระบวนการแปรรูปชีวมวลทางเคมีความร้อน อย่างไรก็ตาม ชีวมวลและไบโอชาร์ในรูปผงหรือชิ้นขนาดเล็กมักมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ไม่สะดวกต่อการจัดเก็บและการใช้งานจริง

การอัดแท่ง (Briquetting) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการอัดชีวมวล หรือ ไบโอชาร์ขนาดเล็กที่มีความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ไม่สะดวกต่อการจัดเก็บ การขนส่ง และการใช้งานจริง การเพิ่มความหนาแน่นของชีวมวลด้วยโดยอาจมีการใช้สารประสานหรือไม่ก็ได้และมีองค์ประกอบของสารเติมแต่งช่วยปรับคุณสมบัติการเผาไหม้ (Deshannavar Umesh B. et.al., 2018) การอัดแท่ง เป็นการทำให้วัสดุมีความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ความหนาแน่นด้านพลังงาน (Energy Density) และความคงทน (Durability) โดยทั่วไปชีวมวลประเภทวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีความหนาแน่น 80–100 kg/m³ และ 150–200 kg /m³ สำหรับชีวมวลประเภทไม้ (Jamradloedluk & Lertsatitthanakorn, 2017). ซึ่งเมื่ออัดแท่งแล้วจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 900–1300 kg/m³ (Tumuluru J. S. et al., 2010). ซึ่งกรณีที่มีการอัดแท่งนั้นไม่มีการเพิ่มเติมสารประสาน การอัดแท่งที่ใช้ความดันสูงประกอบด้วยอนุภาคที่เพิ่มขึ้นระหว่างการอัดทำให้เกิดการประสานเชื่อมของลิกนิน กระบวนการอัดแท่งจึงเป็นแนวทางที่ช่วยยกระดับคุณภาพเชื้อเพลิง ส่งผลให้ถ่านชีวภาพอัดแท่งเหมาะต่อการใช้งานในภาคครัวเรือน ร้านค้าปลีก และร้านอาหารปิ้งย่างที่ต้องการเชื้อเพลิงให้ความร้อนสม่ำเสมอ ไม่มีควัน และไม่เกิดมลพิษ

จากข้อเท็จจริงที่ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบด้านเส้นใย ที่มีความแตกต่างกันมากและหลากหลาย เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง คุณสมบัติต่าง ๆ ก็มีความแตกต่างกันไปด้วยค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV) และ องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) ซึ่งได้แก่ ความชื้น (Moisture :M) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon: FC) สารระเหย (Volatile Matter: VM) และเถ้า (Ash) มีความสำคัญและจำเป็นต้องทดสอบ ซึ่งเป็นต้นทุน รวมถึงการเข้าถึงสถาบันการทดสอบก็อาจจะเป็นข้อจำกัดให้การนำเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งไปใช้ในแง่การควบคุมคุณภาพได้ การศึกษาของคณะวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาสหสัมพันธ์การทำนายค่าความร้อนสูงจากผลวิเคราะห์โดยประมาณ (Srilek N. et al., 2022) ซึ่งจากสหสัมพันธ์ที่ได้ศึกษาทั้งหมดพบว่า การศึกษาของ (Demirbas A., 1997) ซึ่งพัฒนาสหสัมพันธ์ค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์โดยประมาณฐาน As-Received Basis ของถ่านหินคุณภาพต่ำ (Emmanuel Ibitoye Segun et al., 2021) มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) ต่ำสุด ต่อเนื่องด้วยการศึกษา

สหสัมพันธ์ที่ใช้ในการทำนายค่าความร้อนสูงด้วยการใช้แมชชีนเลิร์นนิง (Makarkard P. et al., 2024) ใช้แมชชีนเลิร์นนิงในการหาสหสัมพันธ์ในการทำนาย HHV ที่เหมาะสมกับค่า FC และ VM ของวัสดุ

จากข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบคุณลักษณะด้านกายภาพ การใช้งาน และด้านความร้อนของถ่านชีวภาพอัดแท่งจากวัสดุจากพืชชุมชนกับถ่านชีวภาพอัดแท่งเชิงพาณิชย์ในจังหวัดเชียงราย ตามมาตรฐาน มผช. 238/2547 (2) ประเมินต้นทุนต่อหน่วยและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตในระดับวิสาหกิจชุมชน และ (3) ศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองทางสหสัมพันธ์และแมชชีนเลิร์นนิงในการทำนายค่า HHV เพื่อใช้เป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพเชื้อเพลิงต้นทุนต่ำและสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพาณิชย์ของวิสาหกิจชุมชน คณะวิจัยได้นำสหสัมพันธ์จาก (Makarkard P. et al., 2024) เพื่อประเมินค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์โดยประมาณ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนต่ำ ลดการพึ่งพาเครื่องมือทดสอบเฉพาะทาง และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงการผลิตและเชิงพาณิชย์ของวิสาหกิจชุมชนได้อย่างเหมาะสม

วัสดุและวิธีการ

วัสดุ

ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 7 ตัวอย่าง ได้แก่ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชนอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 2 ตัวอย่างชื่อตัวอย่างเป็น BS และ JJ และเชื้อเพลิงอัดแท่งการค้า จำนวน 5 ตัวอย่าง ชื่อตัวอย่างเป็น CC-1 CC-2 CC-3 CC-4 และ CC-5 จากพื้นที่ อำเภอเมือง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

การเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชน

BS เตรียมจากเศษถ่านขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 นิ้ว) ที่รับซื้อจากตลาด และผู้ประกอบการที่ทิ้งเศษถ่านเป็นส่วนหนึ่งของเสียจากการผลิตถ่านชีวภาพที่จะจำหน่ายในรูปแบบกระสอบโดยไม่อัดแท่ง มีความชื้นไม่เกิน 10% นำถ่านมาบดย่อยให้เป็นผงถ่านชีวภาพที่มีโดยไม่มีกรร่อนคัดขนาดใช้วิธีการสังเกตว่ามีความละเอียดเพียงพอ (ประมาณ 2-6 mm) (Sunny Vaish et al., 2022) จากนั้นผสมผงถ่านชีวภาพ ถ่าน น้ำ และมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละโดยมวลเป็น 68:27:5 ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสมที่ประกอบในชุดเดียวกันกับเครื่องอัดและขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอัดชนิดสกรูที่มีมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ในอัตราการผลิตที่ 1:8–1:10 นำไปผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผึ่งในโรงเรือนโปร่งแสง เป็นเวลา 48 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งของตัวอย่าง BS



รูปที่ 2 การผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งของตัวอย่าง JJ

รูปที่ 2 JJ เตรียมจากชีวมวลไม้ไผ่ด้วยกระบวนการทอรีแฟกชัน โดยอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาเป็น 250°C ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาเป็น 2 ชั่วโมง นำมาบดย่อยให้เป็นผงถ่านชีวภาพมีโดยไม่มีการร่อนคัดขนาด ใช้วิธีการสังเกตว่ามีความละเอียดเพียงพอ (ประมาณ 2-6 mm) (Sunny Vaish et al., 2022) จากนั้นผสมผงถ่านชีวภาพ ถ่าน น้ำ และมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละโดยมวลเป็น 68:27:5 ตามลำดับ ผสมด้วยแรงงานคน และอัดขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอัดชนิดสกรูที่มีมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า อัตราการอัดที่ 1:8–1:10 แล้วนำไปผึ่งในที่ร่ม ประมาณ 1 ชั่วโมงและอบแห้งในโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านกายภาพ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง Characterization of briquettes

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง หมายเลข 238/2547 กำหนดคุณสมบัติด้านกายภาพและคุณสมบัติเชื้อเพลิง 4 คุณสมบัติ คือ ลักษณะทั่วไป การใช้งาน ความชื้น และค่าความร้อน นอกจากนี้ได้ทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และคุณสมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ที่ใช้ในการหาค่าความร้อนสูงโดยสหสัมพันธ์ที่ได้จากการเลือกโดยโมเดลแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning: ML) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่ต้องการและการทดสอบ

ที่	คุณลักษณะที่ต้องการ/คุณสมบัติ	การทดสอบตามมาตรฐาน มผช 238/2547
1	ลักษณะทั่วไป - ในภาชนะเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง	ให้ตรวจพินิจ
2	การใช้งาน - เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น	ให้ทดสอบโดยการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่ง แล้วตรวจพินิจ
3	ความชื้น - ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก	ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173
4	ค่าความร้อน - ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g หรือ 20.93 MJ/kg	ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5865

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่ต้องการและการทดสอบ (ต่อ)

ที่	คุณลักษณะที่ต้องการ/คุณสมบัติ	การทดสอบตามมาตรฐาน มผช 238/2547
5	ความหนาแน่นรวม (kg/ลูกบาศก์เมตร)	ASTM E 873 - 82 (เพิ่มเติมจาก มผช. 238/2547)
6	การวิเคราะห์โดยประมาณ – ความชื้น (Moisture, M), คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon: FC), สารระเหยได้ (Volatile Matter: VM) และ เถ้า (ash: ASH)	ASTM D 7582 (เพิ่มเติมจาก มผช. 238/2547)

เครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าความร้อนสูงโดยประมาณโดยใช้สหสัมพันธ์จากงานวิจัยของ (Makarkard P. et al., 2024) โดยมี 21 สหสัมพันธ์ด้วย Google Colab วิเคราะห์ข้อมูลและการประเมินผลแบบจำลองดำเนินการโดย ที่มีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดมาใช้ในการประเมินจากค่าที่ได้ทดสอบคุณสมบัติโดยประมาณประกอบด้วย คาร์บอนคงตัว (FC) และสารระเหย (VM) ดังแสดงในตารางที่ เพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ และนำไปใช้ในการหาค่าความร้อนสูงโดยประมาณจากคุณสมบัติโดยประมาณใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการจัดการข้อมูล การคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐาน และการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง (MAE)

ตารางที่ 2 สหสัมพันธ์ประเมินค่าความร้อน

ชื่อ	Correlations	อ้างอิง
Cordero2001	$HHV = 0.3543FC + 0.1708VM$	Cordero T. et al., 2001
Demirbas1997-01	$HHV = 0.196FC + 14.119$	Demirbas A., 1997
Demirbas1997-02	$HHV = 0.312FC + 0.1534VM$	
Demirbas2003-01	$HHV = -0.0066FC^2 + 0.5866FC + 8.752$	Demirbas A., 2003
Demirbas2003-02	$HHV = -0.0066VM^2 + 0.7371VM + 1.2305$	
Demirbas2009	$HHV = -0.1882VM + 32.94$	Demirbas A., 2009
Ebeling1985-01	$HHV = 20.067 - 0.234ASH$	Ebeling and Jenkins, 1985
Ebeling1985-02	$HHV = 26.601 - 0.304ASH - 0.082VM$	
Ferre2011-01	$HHV = 20.86 - 0.261ASH$	Callejón-Ferre A.J. et al., 2011
Ferre2011-02	$HHV = -13.173 + 0.416VM$	
Ferre2011-03	$HHV = -2.057 - 0.092ASH + 0.279VM$	
Huang2008	$HHV = 18.96016 - 0.22527ASH$	Huang C. et al., 2008
Jimenez1991	$HHV = -10.81408 + 0.3133(FC+VM)$	Jiménez and González, 1991
Kathiravale2003	$HHV = 0.356248VM - 6.998497$	Kathiravale S. et al., 2003
Nhuchhen2012	$HHV = 19.2880 - 0.2135VM/FC - 1.9584ASH/VM + 0.0234FC/ASH$	Nhuchhen and Salam, 2012
Nhuchhen2017	$HHV = 0.1846VM + 0.3525FC$	Nhuchhen and Afzal, 2017
Parikh2005	$HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078ASH$	Parikh J. et al., 2005
Sheng2005-01	$HHV = 19.914 - 0.2324ASH$	Sheng and Azevedo, 2005
Sheng2005-02	$HHV = -3.036 + 0.2218VM + 0.2601FC$	
Soponpongpiat2015	$HHV = 35.4879 - 0.3023ASH - 0.1905VM$	Soponpongpiat N. et al., 2015
Yin2011	$HHV = 0.1905VM + 0.2521FC$	Yin, 2011

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยทางเศรษฐศาสตร์

การสำรวจความต้องการตลาดดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 150 ราย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มครัวเรือน กลุ่มร้านค้าปลีก และกลุ่มร้านอาหารปิ้งย่าง ในพื้นที่ใกล้วิสาหกิจชุมชนจังหวัดเชียงรายโดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (convenience sampling) แล้วจึงนำมาปรับปรุงสินค้าของวิสาหกิจชุมชนให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด อีกทั้งมีการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย (Cost per Unit: C/U) จากต้นทุนรวม (Total Cost: tc) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost: fc) ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (Variable Cost per Unit: vc) จำนวนผลิต (Q) ต้นทุนต่อหน่วย (C/U) ราคาขายต่อหน่วย (P) กำไรจากการขาย (Profit) มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดปีที่ n (PV_n) กระแสเงินสดในปีที่ n (cf) อัตราคิดลด (r) และจำนวนปี (n) นำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางธุรกิจ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even Point: BEP) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ด้วย Microsoft Excel สมมติฐานกำลังการผลิตและอัตราคิดลดที่กำหนดไว้เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงการผลิตและเชิงพาณิชย์จากผลการดังนี้

$$tc = fc + (vc \times Q)$$

สมการที่ 1

$$C/U = tc / Q$$

สมการที่ 2

$$BEP (units) = fc / (P - vc)$$

สมการที่ 3

$$Profit = (P \times Q) - (vc \times Q) - fc$$

สมการที่ 4

$$PV_n = cf_n / (1 + r)^n$$

สมการที่ 5

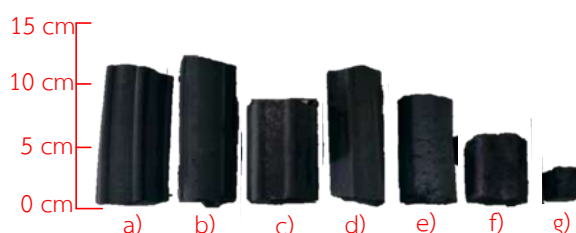
$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{cf_n}{(1+r)^i} - fc$$

สมการที่ 6

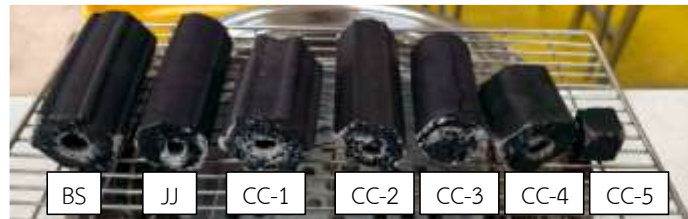
ผลการทดลองและผลการวิจัย

คุณลักษณะกายภาพ คุณลักษณะด้านการใช้งาน

คุณลักษณะด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ รูปแบบ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ความยาว ความหนาแน่นรวม ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 3 คุณลักษณะด้านการใช้งาน ได้แก่ สะเก็ดไฟ ควัน กลิ่น ความยากง่ายในการติดไฟ โดยใช้การสังเกต ในช่วงเวลา เริ่มต้น 30 นาที และ 60 นาที รูปที่ 4 และตารางที่ 4 ถ่านอัดแท่งของวิสาหกิจชุมชน (BS และ JJ) และตัวอย่างในตลาด (CC-1, CC-2) มีลักษณะทรงกระบอกและ มีครีบทกเหลี่ยม สำหรับ CC-3 เป็นทรงกระบอกตัน ไม่มีครีบท ส่วน CC-4 ทรงกระบอกทกเหลี่ยม และ CC-5 มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตัวอย่างถ่านอัดแท่งจำนวน 6 ตัวอย่าง ไม่พบสะเก็ดไฟ ยกเว้น ถ่านอัดแท่งของวิสาหกิจชุมชน BS มีสะเก็ดไฟน้อย เมื่อเริ่มต้นการจุดติดและเวลาผ่านไป 30 นาที กลิ่นส่วนใหญ่มีลักษณะกลิ่นน้อยมากจนถึงไม่มีดังตารางที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างถ่านชีวภาพ a) BS b) JJ c) CC-1 d) CC-2 e) CC-3 f) CC-4 g) CC-5



ก) เริ่มต้น



ข) 30 นาที



ค) 60 นาที

รูปที่ 4 ลักษณะการติดไฟ

ตารางที่ 3 คุณลักษณะกายภาพและคุณลักษณะด้านการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

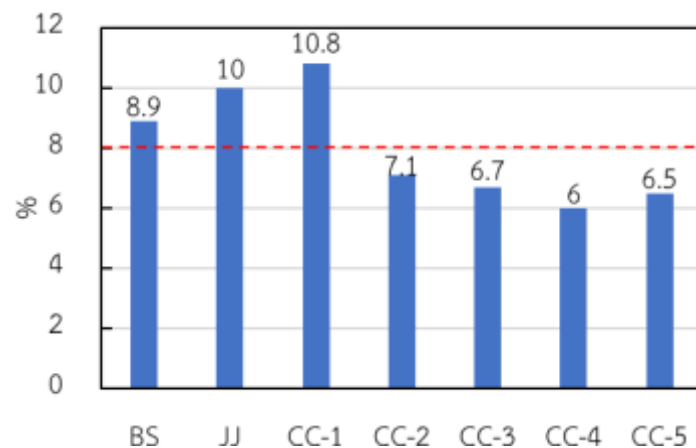
คุณสมบัติ	BS	JJ	CC-1	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5
คุณลักษณะด้านกายภาพ							
รูปร่าง	ทรงกระบอก มีครีบทกเหลี่ยม				ทรงกระบอกตัน ไม่มีครีบทกเหลี่ยม	ทรงกระบอกตัน ไม่มีครีบทกเหลี่ยม	สี่เหลี่ยมจัตุรัส
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/นอก (cm)	1.8 /5.2	0.8 /4.6	1.4 /5.8	1.0 /4.6	-/4	5/5.1	5.2*5.2
ความยาวแท่ง (cm)	11.0	12.0	7.0	13.0	8	5	5.2
ความหนาแน่นรวม (kg/m ³)	347	455	380	381	228	441	352
คุณลักษณะด้านการใช้งาน							
สะเก็ดไฟ (เริ่มต้น/30 นาที)	3/3	5/5	5/5	4/5	5/5	5/5	5/5
ควัน (เริ่มต้น/30 นาที)	5/5	2/1	5/5	5/4	5/4	5/4	5/5
กลิ่น	4 (กลิ่นอ่อนมาก)	3 (กลิ่นอ่อน)	5 (ไม่มีกลิ่น)	4 (กลิ่นอ่อนมาก)	5 (ไม่มีกลิ่น)	4 (กลิ่นอ่อนมาก)	5 (ไม่มีกลิ่น)
ความยากง่ายในการติดไฟ (เริ่มต้น)	4	3	1	3	4	5	5
ระยะเวลาการจุดติดไฟ (นาที/แท่ง)	>120	120	>120	>120	120	60	50
ราคาและขนาดบรรจุภัณฑ์							
บาท/kg	22.5	20.83	20	20	15	25	145

หมายเหตุ คุณลักษณะด้านการใช้งาน : 1 มาก, 2 ค่อนข้างมาก, 3 น้อย, 4 น้อยมาก, 5 ไม่มี

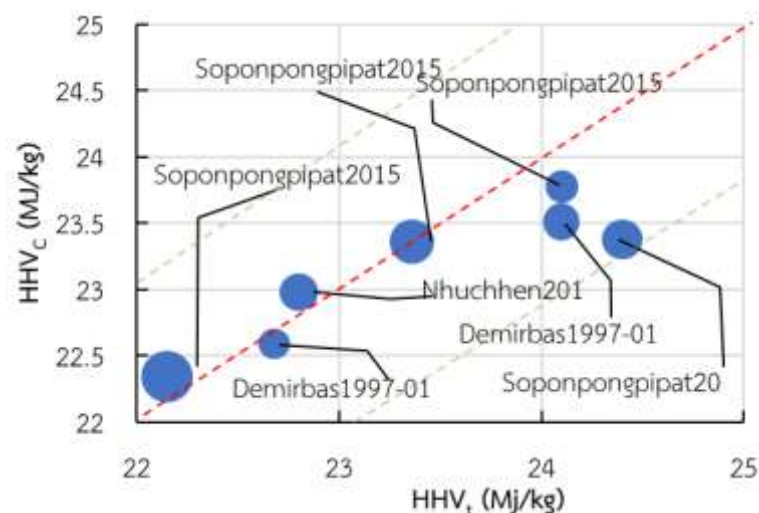
คุณลักษณะด้านความร้อน

การวิเคราะห์โดยประมาณ ซึ่งประกอบด้วย ร้อยละความชื้น คาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้า โดยพบว่า ตัวอย่างที่ศึกษาทั้ง 7 ตัวอย่าง มีค่าความชื้นระหว่าง 6.0–10.8% โดยมีความชื้นไม่เกิน 8% ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง จำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ CC-2 CC-3 CC-4 และ CC-5 ส่วนถ่านอัดแท่งของวิสาหกิจชุมชนยังมีความชื้นเป็น 8.9% และ 10.0% สำหรับ BS และ JJ ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ค่าความร้อนสูง ของตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 7 ตัวอย่าง มีค่าความร้อนสูง มากกว่า 20.93 MJ/kg (5,000 cal/g) และมีการใช้เครื่องมือในการหาค่าความร้อนโดยประมาณจากงานวิจัยของ (Makarkard P. et al., 2024) ดังแสดงในรูปที่ 6 และตารางที่ 4



รูปที่ 5 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่า HHV จากการทดลองและสหสัมพันธ์ที่เลือกโดยแมชชีนเลิร์นนิง

ตารางที่ 4 ด้านความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติ	BS	JJ	CC-1	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5
คุณลักษณะด้านความร้อน							
การวิเคราะห์โดยประมาณ							
ความชื้น (M, %)	8.9	10.0	10.8	7.1	6.7	6.0	6.5
คาร์บอนคงตัว (FC, %)	49.3	42.9	43.2	46.2	45.5	46.4	45.9
สารระเหย (VM, %)	32.0	36.8	35.5	37.0	37.6	37.8	38.0
เถ้า (Ash, %)	9.8	10.3	10.5	9.7	10.2	9.8	9.6
ค่าความร้อน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g หรือ 20.93 MJ/kg)							
ค่าความร้อนสูง (จากการทดลอง HHV _d)(MJ/kg)	24.10±0.08	22.15±0.20	22.68±0.07	23.36±0.15	22.8±0.11	24.1±0.10	24.4±0.12
ค่าความร้อนสูง (จากการคำนวณ HHV _c) (MJ/kg)	23.78	22.34	22.59	23.36	22.98	23.51	23.38
สหสัมพันธ์ที่ใช้แมชชีนเลิร์นนิ่งเลือก	Demirbas1 997-01	Soponpong pipat2015	Demirbas1 997-01	Soponpong pipat2015	Nhuchhen 2017	Soponpong pipat2015	
ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (MAE)	1.33%	0.86%	0.40%	0.00%	0.79%	2.45%	4.18%

ต้นทุนต่อหน่วยทางเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจตลาดพบว่าการใช้ถ่านชีวภาพอัดแท่งในครัวเรือนมีการใช้ที่ไม่เป็นประจำ โดยการใช้งานจะอยู่ที่การปิ้งย่างอาหารเพียงบางมื้อ มีการใช้ถ่านทั่วไปที่มีราคาอยู่ที่ 15-20 บาท/kg ให้ความสำคัญต่อระยะเวลาการติดของถ่านที่มากกว่า 50 นาที และต้องไม่มีกลิ่นควัน ซึ่งการใช้ถ่านอัดแท่งนั้นยังมีการใช้งานจำกัดเนื่องจากถ่านอัดแท่งมีปริมาณที่น้อยกว่าถ่านทั่วไปอย่างมาก และการติดถ่านที่นานของถ่านอัดแท่งมากกว่าถ่านทั่วไปทำให้ต้องใช้ให้หมดภายในรอบนั้น ๆ ทำให้มีความรู้สึกที่ไม่คุ้มค่าต่อการใช้งาน ร้านค้าปลีกมีการจำหน่ายถ่านทั่วไปและถ่านอัดแท่ง โดยที่ต้นทุนของถ่านทั่วไปอยู่ที่ 10-12 บาท/kg ราคาขายอยู่ที่ 15-20 บาท/kg ต้นทุนของถ่านอัดแท่งอยู่ที่ 15-18 บาท/kg ราคาขายอยู่ที่ 20-25 บาท/kg ถ่านที่ได้รับความนิยม คือ ถ่านทั่วไป สอดคล้องกับการใช้ของภาคครัวเรือน แต่ยังมีถ่านอัดแท่งอยู่บ้างในกรณีที่ผู้บริโภคใช้ในการปิ้งย่าง ณ ที่อยู่อาศัย ต้องการการติดไฟที่นาน การให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ และร้านอาหารปิ้งย่างใช้ถ่านอัดแท่งเป็นหลักโดยมีต้นทุนที่ 18-20 บาท/kg โดยมีเหตุผลหลักของการใช้ถ่านอัดแท่งในร้านปิ้งย่างนั้น คือ ต้องเป็นถ่านไร้ควัน ไม่มีสะเก็ดไฟ การติดที่ยาวนานมากกว่า 1.5 ชั่วโมง ใช้ประมาณ 0.8-1 kg/ครั้ง โดยความร้อนที่ได้จากถ่านอัดแท่งในร้านปิ้งย่างนั้นไม่ต้องการความร้อนที่สูงมากเพราะทำให้อาหารไหม้ได้



รูปที่ 7 แผนผังกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ชุมชน

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยความคุ้มค่าทางธุรกิจ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยคิดอัตราคิดลด (Discount Rate) คิดจาก ดอกเบี้ยลอยตัว (MOR) 6.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2568) รวมกับค่าความเสี่ยง (Risk Premium) 2% เป็น 7.62% ต่อปีคงที่ตลอดโครงการ การผลิตถ่านอัดแท่งชนิดที่ 1 แบบ BS เงินลงทุนในปีที่ 1 จะมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 344,708 บาท มีต้นทุนเริ่มแรกเป็นต้นทุนคงที่ คือ เครื่องอัดเครื่องผสมถ่านมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้าจำนวน 1 ตัว ในการผลิต 1 batch/วัน หรือเท่ากับ 100 kg จะมีต้นทุนผันแปรซึ่งประกอบด้วย เศษถ่านที่รับซื้อจากตลาดและโรงงานผลิตถ่าน ถ่านชีวภาพผง แป้งมันสำปะหลัง น้ำ ฤๅพลาสติกสำหรับบรรจุถ่าน ค่าไฟ ค่าแรงงาน และค่าบำรุงรักษารายปี เป็นเงินทั้งสิ้น 1,057 บาท/batch หรือเกิดต้นทุนผันแปรต่อหน่วยที่ 10.57 บาท/kg มีราคาขายอยู่ที่ 15 บาท/kg ดังนั้นจะมีรายได้ต่อวันอยู่ที่ 1,500 บาท การผลิตถ่านอัดแท่งชนิดที่ 1 แบบ BS มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 158 วัน หรือประมาณ 15,800 kg หากทำการคำนวณโดยนับวันทำงานไม่รวมวันหยุด เสาร์ อาทิตย์ 260 วัน จะใช้เวลาคืนทุนทั้งหมด 7 เดือนกับอีก 9 วัน หากใช้ต้นทุนในปีที่ 1 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะมีผลรวมปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 479,725.99 บาท/ 3 ปี และ 1,045,464.59 บาท/5 ปี การผลิตถ่านอัดแท่งชนิดที่ 2 แบบ JJ เงินลงทุนปีที่ 1 จะมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 374,820 บาท มีต้นทุนเริ่มแรกเป็นต้นทุนคงที่คือ เตาทอริแฟกซ์ เครื่องตีป่น และเครื่องอัดมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ในการผลิต 1 batch/วัน หรือเท่ากับ 100 kg จะมีต้นทุนผันแปรซึ่งประกอบด้วย ชั่งข้าวโพด ต้นข้าวโพด เศษไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ แป้งมันสำปะหลัง น้ำ ฤๅพลาสติกสำหรับบรรจุถ่าน ค่าไฟและค่าแรงงาน เป็นเงินทั้งสิ้น 1,280 บาท/batch หรือเกิดต้นทุนผันแปรต่อหน่วยที่ 12.80 บาท/kg มีราคาขายอยู่ที่ 15 บาท/kg ดังนั้นจะมีรายได้ต่อวันอยู่ที่ 1,500 บาท เช่นเดียวกับการผลิตถ่านอัดแท่งชนิดที่ 1 แบบ BS การผลิตถ่านอัดแท่งชนิดที่ 2 แบบ JJ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 191 วัน หรือประมาณ 19,097.59 kg หากทำการคำนวณโดยนับวันทำงานไม่รวมวันหยุด เสาร์อาทิตย์ 260 วัน จะใช้เวลาคืนทุนทั้งหมด 8 เดือน หากใช้ต้นทุนในปีที่ 1 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะมีผลรวมปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 333,388.67 บาท/3 ปี และ 782,902.39 บาท/5 ปี

วิจารณ์และสรุปผล

การศึกษานี้เปรียบเทียบคุณลักษณะด้านกายภาพ การใช้งาน และคุณลักษณะทางความร้อนของถ่านชีวภาพอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชน (BS และ JJ) กับถ่านชีวภาพอัดแท่งเชิงพาณิชย์ พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าความร้อนสูงผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 238/2547 โดย BS และ JJ มีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 24.10 ± 0.08 และ 22.15 ± 0.20 MJ/kg ตามลำดับ การใช้แบบจำลองสหสัมพันธ์และแบบจำลองที่คัดเลือกด้วยเทคนิคแมชชีนเลิร์นนิงในการทำนายค่า HHV ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 1.43% แสดงถึงความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพเชื้อเพลิงต้นทุนต่ำในระดับวิสาหกิจชุมชน ทั้งนี้ ความหลากหลายของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตทำให้ไม่สามารถใช้แบบจำลองเดียวกับทุกตัวอย่างได้ การเลือกใช้หลายแบบจำลองจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำนายค่า HHV

ในด้านการใช้งาน พบว่า JJ มีการเกิดควันมากกว่า BS และถ่านในตลาด ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและกระบวนการทอริแฟกซ์ รวมถึงปริมาณสารประสานที่ใช้ ขณะเดียวกันถ่านอัดแท่งจากวิสาหกิจชุมชนมีค่าความชื้นสูงกว่าถ่านเชิงพาณิชย์บางตัวอย่าง โดย CC-2, CC-3, CC-4 และ CC-5 มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ตามมาตรฐาน ผลดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งและการควบคุมคุณภาพการผลิต

ผลการสำรวจตลาดชี้ให้เห็นว่าถ่านชีวภาพอัดแท่งยังมีโอกาสขยายตลาดในกลุ่มครัวเรือน ร้านค้าปลีก และร้านอาหารปิ้งย่าง หากมีการปรับปรุงรูปทรง ปริมาตร และความหนาแน่นให้ใกล้เคียงถ่านทั่วไป พร้อมกำหนดราคาจำหน่ายในช่วง 15–20 บาท/kg ในด้านเศรษฐศาสตร์ การลงทุนผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งใช้เงินลงทุนเริ่มต้น

ประมาณ 45,000–70,000 บาท มีกำลังการผลิตราว 100 กิโลกรัมต่อวัน และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7–8 เดือน รวมทั้งสามารถสร้างมูลค่าโครงการในระยะ 5 ปีได้มากกว่า 0.78–1.04 ล้านบาท สรุปได้ว่าวิสาหกิจชุมชนควรมุ่งปรับปรุงการลดค่าความชื้น คุณภาพการเผาไหม้ และการควบคุมคุณภาพด้วยแบบจำลองที่เหมาะสม ควบคู่กับการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และกลยุทธ์ราคา เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและขยายส่วนแบ่งทางการตลาดอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนงบประมาณโครงการวิจัย และการเผยแพร่งานวิจัย และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย สำหรับการสนับสนุนการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- C. Y. Yin. (2011). Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. *Fuel*, 1128-1132.
- Callejón-Ferre A.J. et al. (2011). Greenhouse crop residues: Energy potential and models for the prediction of their higher heating value. *Renewable and sustainable energy reviews*, 948-955.
- Cha Jin Sun et al. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1-15.
- Cordero T. et al. (2001). Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*, 1567-1571.
- Demirbas A. (1997). Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, 431-434.
- Demirbas A. (2003). Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy conversion and management*, 1465-1479.
- Demirbas A. (2009). Prediction of higher heating values for vegetable oils and animal fats from proximate analysis data. *Energy Sources*, 1264-1270.
- Deshannavar Umesh B. et al. (2018). Production and characterization of agro-based briquettes and estimation of calorific value by regression analysis: An energy application. *Materials Science for Energy Technologies*, 1(2), 175-181.
- Ebeling, J., and Jenkins, B. (1985). Physical and chemical properties of biomass fuels. *Transactions of the ASAE*, 898-902.
- Emmanuel Ibitoye Segun et al. (2021). Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. *Bioresources and Bioprocessing*, 8.
- Huang C. et al. (2008). Models predicting calorific value of straw from the ash content. *International Journal of Green Energy*, 533-539.
- Jamradloedluk, J., and Lertsatitthanakorn, C. (2017). Influences of Mixing Ratios and Binder Types on Properties of Biomass Pellets. *Energy Procedia*, 138, 1147-1152.
- Jiménez L., and González, F. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, 947-950.

- Kathiravale S. et al. (2003). Modeling the heating value of Municipal Solid Waste. *Fuel*, 1119-1125.
- Makarkard P. et al. (2024). An Extension to Decision Tree Machine Learning Model for The Prediction of Higher Heat Value of Biomass Using Augmented Correlations. *AIP Conf. Proc.*
- Nhuchhen D. R., and Afzal, M. T. (2017). HHV predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses. *Bioengineering*.
- Nhuchhen D. R., and Salam, P. A. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 55-63.
- Parikh J. et al. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 487-494.
- Sheng C. and Azevedo, J. L. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and bioenergy*, 499-507.
- Soponpongpiat, N. et al. (2015). Higher heating value prediction of torrefaction char produced from non-woody biomass. *Frontiers in Energy*, 461-471.
- Srilek N. et al. (2022). Proximate Analysis Based Higher Heating Value Correlation of Biomass and Biochar from Cacao Husk and Corncob. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 15(1), 13-25.
- Sunny Vaish et al. (2022). A review on various types of densification/briquetting technologies of biomass residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1228.
- Tumuluru J. S. et al. (2010). A Technical Review on Biomass Processing: Densification, Preprocessing, Modeling and Optimization. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2010*.
- ธนาคารกรุงไทย. (22 ธันวาคม 2568). อัตราดอกเบี้ยและค่าธรรมเนียม [ไฟล์ PDF]. เข้าถึงได้จาก https://krungthai.com/Download/rateFee/RateFeeDownload_5041RateFeeDownload_22Dec25_TH.pdf