

การศึกษาอัตราส่วนตัวประสานมันสำปะหลังที่ส่งผลต่อค่าความร้อนและประสิทธิภาพ
เชิงความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลผสมกะลามะพร้าว

A STUDY ON THE EFFECT OF CASSAVA BINDER RATIO ON THE HEATING VALUE AND THERMAL EFFICIENCY OF BIOMASS AND COCONUT SHELL FUEL BRIQUETTES

ยุทธชัย จารุจิตร* และตั้งเฮง ยนต์สติดิกุล

Yuttachai Jarujitr* and Thanghang Yonsatidkun

สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันท์

Branch Automotive Engineering Department Engineering, Tel. 044-955121

*Corresponding author E-mail: yuttachai52@gmail.com

Received: February 5, 2026 Revised: May 30, 2026 Accepted: June 17, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพเชิงความร้อนชีวมวล โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และมีถ่านกะลามะพร้าวและชีวมวลเป็นส่วนประกอบหลัก ทำการทดลองโดยแปรผันอัตราส่วนผสมของ ตัวประสาน : ชีวมวล : ถ่านกะลามะพร้าว และกำหนดอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวประสานต่อน้ำ (B:W) ที่ระดับ 90:10 และ 80:20 เพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการต้มน้ำ ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณชีวมวล และพบว่าอัตราส่วนตัวประสานต่อน้ำที่ 90:10 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าอัตราส่วน 80:20 ในทุกสัดส่วนผสม โดยอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ 1.5 : 6 : 1 (ตัวประสาน : ชีวมวล : ถ่านกะลามะพร้าว) ที่ความเข้มข้นตัวประสาน 90:10 ซึ่งให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 21.43 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และมีประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงสุดที่ร้อยละ 30.55 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของส่วนผสมมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติทางความร้อน และสูตรดังกล่าวมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

คำสำคัญ : แท่งเชื้อเพลิงชีวมวล แป้งมันสำปะหลัง ค่าความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

The objective of this study was to investigate the properties and thermal efficiency of biomass fuel briquettes using cassava starch as a binder, with biomass and coconut shell charcoal as primary components. The experiment involved varying the mixing ratios of Binder : Biomass : Coconut Shell Charcoal, and setting the Binder-to-Water (B:W) concentration ratios at 90:10 and 80:20. The heating values were analyzed using an Oxygen Bomb Calorimeter in accordance with ASTM standards, and thermal efficiency was evaluated through water boiling tests. The results indicated that both heating value and thermal efficiency were directly correlated with the quantity of biomass. Furthermore, the B:W ratio of 90:10 consistently yielded higher performance compared to the 80:20 ratio across all mixing proportions. The optimal mixing ratio was found to be 1.5 : 6 : 1 (Binder : Biomass : Coconut Shell Charcoal) with a B:W ratio of 90:10. This formulation provided the maximum heating value of 21.43 MJ/kg and the highest thermal efficiency of 30.55%. These findings demonstrate that the proportion of ingredients

significantly affects thermal properties, and the identified formula shows potential for development as a high-efficiency biomass fuel briquette.

Keywords : Biomass Fuel Briquettes, Cassava Starch, Heating Value, Thermal Efficiency

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะในระดับครัวเรือนที่นิยมใช้ "ถ่านไม้" เป็นเชื้อเพลิงหลักในการประกอบอาหาร เช่น การนึ่ง ปิ้ง ย่าง และทอด ซึ่งต้องใช้ความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม แหล่งวัตถุดิบหลักอย่างไม้พื้นเริ่มประสบปัญหาขาดแคลนจากการบุกรุกทำลายป่า ส่งผลให้ถ่านไม้ในท้องตลาดมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ แนวคิดในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนจึงได้รับความสนใจ เพื่อลดต้นทุนและลดปัญหามลภาวะจากการกำจัดขยะชีวมวล การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและขยะจากครัวเรือนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนในการจัดการขยะและสร้างมูลค่าเพิ่ม[11]

วิวัฒนาการของการผลิตถ่านอัดแท่งได้พัฒนาจากการใช้วิธีการทำด้วยมือ มาสู่การใช้เครื่องจักรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต โดยทั่วไปกระบวนการอัดขึ้นรูปแบ่งออกเป็นกระบวนการอัดด้วยไฮดรอลิก (Hydraulic Press) และกระบวนการเอ็กสตรูชัน (Extrusion) ซึ่งกระบวนการเอ็กสตรูชันแบบ "อัตร้อน (Hot Pressing)" แม้จะให้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูง แต่มีข้อจำกัดสำคัญคือต้องใช้พลังงานความร้อนและแรงอัดสูง ทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง ในขณะที่การ "อัดเย็น (Cold Screw Press)" เป็นทางเลือกที่ต้นทุนต่ำและทำงานได้ต่อเนื่องกว่า แต่ยังคงเผชิญข้อจำกัดทางวิศวกรรมที่สำคัญ (Pain Point) คือ แท่งเชื้อเพลิงมักเปราะแตกง่าย และการใช้ตัวประสานที่มีปริมาณน้ำมากเกินไปจะส่งผลให้มีความชื้นสะสมสูง ซึ่งไปลดทอนค่าความร้อนสุทธิ (Heating Value) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อนำไปใช้งานจริง[7]

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ตัวประสาน และกรรมวิธีการอัด[8] ได้ศึกษาพบว่าอัตราการผลิตและการต้านทานแรงกดแปรผันตรงกับสัดส่วนโมลาส (กากน้ำตาล) ในขณะที่ พบว่าการใช้วัสดุผสมระหว่างฟางข้าวและแกลบ[2] โดยมีผักตบชวาเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 1:3 ด้วยกรรมวิธีอัดเปียก ให้ค่าความร้อนสูงถึง 3,956 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ยังก่อให้เกิดก๊าซ CO เกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ การศึกษาการอัดแท่งกากอ้อยผสมกากน้ำตาลด้วยกรรมวิธีอัดเย็น พบว่าให้ค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไม้พืชนยูคาลิปตัส แต่กระบวนการผลิตยังเผชิญปัญหาความล่าช้าในขั้นตอนการอัด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ส่วนผสมของชีวมวลและถ่านหินเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก[3] แต่อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ยังก่อให้เกิดก๊าซ CO เกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ การศึกษาการอัดแท่งกากอ้อยผสมกากน้ำตาลด้วยกรรมวิธีอัดเย็น พบว่าให้ค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไม้พืชนยูคาลิปตัส แต่กระบวนการผลิตยังเผชิญปัญหาความล่าช้าในขั้นตอนการอัด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ส่วนผสมของชีวมวลและถ่านหินเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกตลอดจนการศึกษาการนำชีวมวลมาใช้ร่วมกับถ่านหินในกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดมลภาวะ[9] รวมถึงมีการศึกษาการนำสาหร่ายมาผ่านกระบวนการอัดแท่งและคาร์บอนในเซชันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง รวมถึงมีการศึกษาการนำสาหร่ายมาผ่านกระบวนการอัดแท่งและคาร์บอนในเซชันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง[1] นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว[4] และการผลิตน้ำส้มควันไม้จากกระบวนการคาร์บอนในเซชันเศษเหลือชีวมวล[13]

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนชนิดของวัสดุตั้งต้นหรือตัวประสานเป็นหลัก ยังขาดการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับอิทธิพลของความเข้มข้นในอัตราส่วนตัวประสานต่อน้ำ (Binder-to-Water Ratio) ในกระบวนการอัดเย็น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการระเหยของความชื้นและค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงเพื่อแก้ปัญหาและเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนการอัดรูปแบบสกรูอัดเย็น (Cold Screw Press) โดยดึงจุดเด่นของกะลามะพร้าวและขี้เลื่อยเผามาใช้เป็นมวลพลังงานหลัก ร่วมกับการใช้ "แป้งมันสำปะหลัง" เป็นตัวประสาน โดยมีความใหม่ (Novelty) คือ การมุ่งเน้นศึกษาหาจุดสมดุลที่เหมาะสมที่สุดของอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างตัวประสานต่อน้ำ (ที่ระดับ 90:10 และ 80:20) เพื่อขจัดปัญหาความชื้นส่วนเกินที่บั่นทอนค่าความร้อน พร้อมทั้งสร้างแรงยึดเกาะที่แข็งแรง อันจะเป็นแนวทางในการ

ยกระดับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลให้ก้าวข้ามข้อจำกัดเดิม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

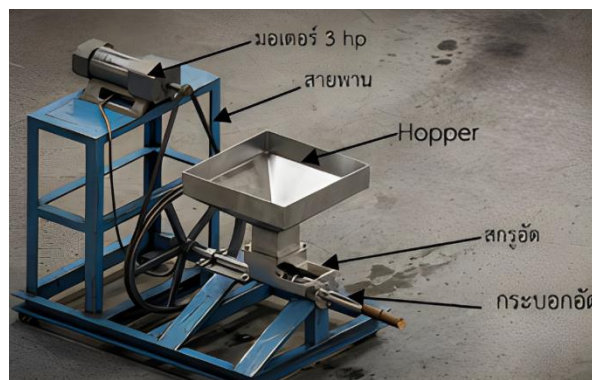
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) ชีวมวล (ขี้เลื่อยเผา) และถ่านกะลามะพร้าว ที่มีต่อความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นในอัตราส่วนตัวประสานต่อน้ำ (Binder-to-Water Ratio) ที่ระดับ 90:10 และ 80:20 ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเย็น (Cold Screw Press)
3. เพื่อหาอัตราส่วนผสมและสัดส่วนความเข้มข้นของตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Formulation) ที่ให้ค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนสูงสุด สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งประสิทธิภาพสูงในระดับชุมชนต่อไป

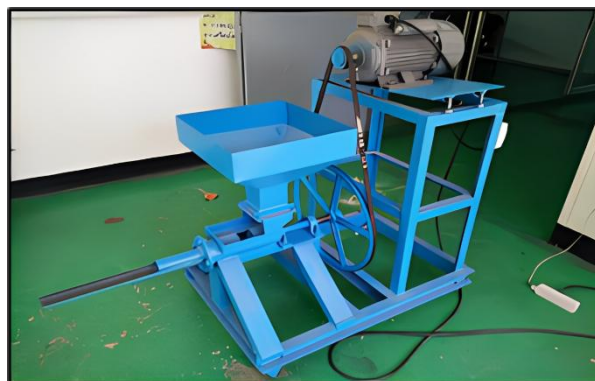
3. ทฤษฎี อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดเย็น

เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดที่ใช้ในการศึกษานี้ มีมิติภายนอก (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 65 x 95 x 105 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ระบบขับเคลื่อนใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ที่ความเร็วรอบสูงสุด 1,475 รอบต่อนาที สำหรับชุดสกรูอัดมีคุณลักษณะทางเรขาคณิตประกอบด้วยเพลากลางรัศมี 20 มิลลิเมตร รัศมีเกลียวบ่อน 25 มิลลิเมตร และระยะพิทช์เกลียว (Screw Pitch) 50 มิลลิเมตร ในกระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความยาวเฉลี่ย 10 เซนติเมตร ใช้ระยะเวลาในการอัดประมาณ 240 วินาที



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชนิดสกรูอัดเย็น



รูปที่ 2 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชนิดสกรูอัดเย็น

3.2 วัตถุดิบและตัวประสาน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุชีวมวลและตัวประสานที่มีคุณสมบัติเหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ไม้เลื่อย (Sawdust) ไม้เลื่อยเป็นชีวมวลที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้หรือโรงเลื่อย ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาอุตสาหกรรมและการผลิตชีวมวลอัดแท่ง นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการนำไม้เลื่อยไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อาทิ การทำความสะอาดคราบน้ำมัน การใช้คลุมดินแทนหญ้า วัสดุปูรองนอนสำหรับสัตว์เลี้ยง และวัสดุปลูกต้นไม้ เป็นต้น โดยทั่วไปไม้เลื่อยมีคุณสมบัติพื้นฐานทางเชื้อเพลิง ดังนี้ค่าความร้อน (Heating Value) ไม่ต่ำกว่า 2,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ความชื้น (Moisture): ประมาณร้อยละ 42 โดยน้ำหนัก ปริมาณเถ้า (Ash): น้อยกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม การนำไม้เลื่อยมาอัดขึ้นรูปโดยตรงจำเป็นต้องใช้กระบวนการอัดร้อน (Hot Pressing) ซึ่งต้องใช้แรงอัดสูงและมีต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้น ในกระบวนการแปรรูปไม้เลื่อยสำหรับงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้วิธีการอัดเย็น โดยอาศัย "ตัวประสาน" เข้ามาช่วยในการยึดเกาะ เพื่อลดขนาดของแรงอัดที่ต้องใช้และช่วยให้แท่งเชื้อเพลิงมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย

(2) กะลามะพร้าว (Coconut Shell) เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สำคัญ โดยเป็นส่วนเปลือกแข็งชั้นในของผลมะพร้าว ในอดีตกะลามะพร้าวถูกมองว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ มักถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนหรือแปรรูปเป็นภาชนะอย่างง่าย เช่น กระบวย หรือถ้วยชามกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติเด่นทางกายภาพ คือ มีความแข็งแรงทนทานสูง เนื้อวัสดุมีความหนาแน่น และสามารถขัดผิวให้เกิดความเงางามได้ดี ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ ปัจจุบันจึงมีการนำกะลามะพร้าวมาเพิ่มมูลค่าผ่านงานหัตถกรรมและอุตสาหกรรมของตกแต่ง เช่น โคมไฟ เครื่องประดับ และเครื่องแต่งกาย สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำกะลามะพร้าวมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบร่วมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากคุณสมบัติความแข็งแรงและการให้ความร้อนที่ดี

(3) ตัวประสาน (Binder) มีบทบาทสำคัญในการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิง โดยช่วยประสานอนุภาคของไม้เลื่อยและกะลามะพร้าวเผาให้ยึดเกาะกันแน่น ผู้วิจัยเลือกใช้ แป้งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสานหลัก เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาต้นทุนต่ำ และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะ (Adhesion) ที่ดีเยี่ยมเมื่อผ่านความร้อน ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาเตรียมแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล



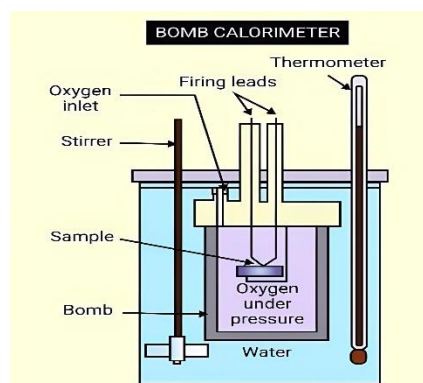
รูปที่ 3 กะลามะพร้าว

3.3 คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง

ในการวิจัยนี้ มุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนที่สำคัญของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตได้ 2 ประการ ได้แก่ ค่าความร้อน (Heating Value) และประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน (Thermal Efficiency) โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังนี้

3.3.1 การหาค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (Heating Value) การหาค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ดำเนินการโดยใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงานความร้อนระบบปิด (Oxygen Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ ESSOM โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน มวลประมาณ 1 กรัม บรรจุลงในถ้วยทดลอง (Capsule) และติดตั้งลวดจุดชนวน (Fuse wire) ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร
2. การเตรียมระบบ นำถ้วยตัวอย่างใส่ลงในระเบิด (Bomb) ทำการอัดก๊าซออกซิเจนให้มีความดันภายใน 25-35 บรรยากาศ (atm) เพื่อให้เพียงพอต่อการเผาไหม้สมบูรณ์ จากนั้นนาระเบิดลงแช่ในถังน้ำ (Calorimeter bucket) ที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร พร้อมติดตั้งระบบกวนน้ำและเทอร์โมมิเตอร์
3. การทดสอบ เริ่มเดินเครื่องไปกวนน้ำเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน (Thermal Equilibrium) เป็นเวลาประมาณ 5 นาที พร้อมบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น จากนั้นทำการจุดระเบิด (Ignition) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 15-30 วินาที ในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และบันทึกต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 5 นาที
4. การวิเคราะห์ผล เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ นำสารละลายที่ตกค้างภายในระเบิดไปไทเทรต (Titrate) ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.0725 N โดยใช้สีน้ำยาเมทิลเรด (Methyl Red) หรือ เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความร้อนสุทธิของแท่งเชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์พลังงานความร้อนระบบปิด

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน (Thermal Efficiency)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อนำไปใช้งานจริงกับเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง โดยใช้วิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test) มีขั้นตอนและสมการคำนวณดังนี้การเตรียมเชื้อเพลิง ใช้แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นจนแห้งสนิท ปริมาณ 250 กรัม สำหรับแต่ละอัตราส่วนผสมการทดสอบ นำเชื้อเพลิงไปเผาไหม้ในเตาประสิทธิภาพสูงเพื่อต้มน้ำปริมาตร 1,000 กรัม (1 ลิตร) จนกระทั่งน้ำเดือดและเชื้อเพลิงมอดดับการคำนวณ บันทึกค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามสมการดังนี้

$$\eta_{th} = \left[\frac{m_1 c (T_2 - T_1) + (m_1 - m_2) L}{MH} \right] \times 100 \quad (1)$$

η_{th} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา (%)

m_1 = มวลของน้ำเริ่มต้น (กรัม)

m_2 = มวลของน้ำที่เหลือหลังจากการต้ม (กรัม)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$)

L = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (cal/g)

T_1 = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ ($^\circ\text{C}$)

T_2 = อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (จุดเดือด) ($^\circ\text{C}$)

M = มวลของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ (g)

H = ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (cal/g)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและลำดับการทดลองแสดงรูปที่ 5 โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทดลอง

4.1 แผนภาพและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เพื่อให้กระบวนการผลิตและทดสอบแท่งเชื้อเพลิงเป็นไปตามมาตรฐาน ได้กำหนดขั้นตอนการทำงานตามลำดับดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation): นำชี้เลื่อยไม้ไปผ่านเตาเผาชีวมวล (Gasifier Stove) เพื่อให้ได้ชี้เลื่อยเผา และจัดเตรียมกะลามะพร้าวที่ผ่านการบดให้มีขนาดเหมาะสม
2. การเตรียมตัวประสาน (Binder Preparation): ผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำในอัตราส่วน B:W (แป้งมันสำปะหลัง ต่อ น้ำ) ที่ระดับ 90:10 และ 80:20 เพื่อปรับสภาพความเหนียว
3. กระบวนการผสม (Mixing Process): นำชี้เลื่อยเผา กะลามะพร้าว และตัวประสาน มาคลุกเคล้าตามอัตราส่วนที่กำหนดให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว
4. การอัดขึ้นรูป (Briquetting): นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชนิดสกรูอัดเย็น (Cold Press Briquetting Machine) เพื่ออัดเป็นแท่งทรงกระบอก
5. การอบแห้ง (Drying): นำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปลดความชื้นด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Oven/Sun Drying) จนแห้งสนิท
6. การทดสอบสมบัติ (Testing) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปทดสอบค่าความร้อน (Heating Value) ด้วยเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ด้วยวิธีต้มน้ำ

4.2 การเตรียมวัตถุดิบและข้อมูลค่าความร้อนของส่วนผสม ผู้วิจัยได้คัดเลือกวัตถุดิบโดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนพื้นฐาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อนำมารวมกัน ดังนี้

ขี้เลื่อยเผา (Charcoal Sawdust) ขี้เลื่อยปกติมีค่าความร้อนพื้นฐานไม่ต่ำกว่า 2,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่าน (Carbonization) ค่าความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้น (ประมาณ 5,000 - 6,000 cal/g) ทำหน้าที่เป็นมวลหลักของเชื้อเพลิงที่ช่วยให้ติดไฟได้ดีและให้ความร้อนสม่ำเสมอ

กะลามะพร้าว (Coconut Shell) มีความแข็งแรงทนทาน เนื้อวัสดุมีความหนาแน่นสูง และมีค่าความร้อนพื้นฐานสูงมาก (ประมาณ 6,000 - 7,000 cal/g) การผสมกะลามะพร้าวลงไปจะช่วยให้เพิ่มค่าความร้อนรวม (Heating Value) และช่วยยืดระยะเวลาการเผาไหม้ให้ยาวนานขึ้น

ตัวประสาน (Cassava Starch Binder) แม้แป้งมันสำปะหลังจะมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าวัสดุหลัก (ประมาณ 3,500 cal/g หรือ 14.7 MJ/kg) แต่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างแรงยึดเกาะ (Adhesion) ช่วยให้ผงชีวมวลเกาะตัวกันเป็นแท่งที่แข็งแรงทนทาน ไม่แตกหักง่ายในกระบวนการอัดเย็น

4.3 การกำหนดอัตราส่วนผสมและเหตุผลในการเลือกสัดส่วน ผู้วิจัยกำหนดอัตราส่วนผสมโดยมวลระหว่าง ตัวประสาน : ขี้เลื่อยเผา : กะลามะพร้าว จำนวน 6 อัตราส่วนหลัก โดยมีหลักการในการออกแบบสัดส่วนดังนี้

การแปรผันปริมาณชีวมวล (ขี้เลื่อยเผา) ปรับเพิ่มจากระดับ 2 ถึง 6 ส่วน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างปริมาณสารตั้งต้นหลักกับปริมาณความร้อนที่จะได้รับ

การตรึงและปรับสัดส่วนกะลามะพร้าว/ตัวประสาน ปรับสัดส่วนให้สัมพันธ์กับปริมาณขี้เลื่อย เพื่อรักษาสสมดุลระหว่างความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิง (คุณสมบัติของตัวประสาน) และความร้อนที่ยาวนาน (คุณสมบัติของกะลามะพร้าว)

การแปรผันความเข้มข้นตัวประสาน (B:W Ratio) กำหนดอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำที่ 90:10 และ 80:20 เพื่อศึกษาสภาพความชื้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ความร้อน

อัตราส่วนผสมในการทดลองได้แก่:

ชุดที่1 1 : 2 : 0.5

ชุดที่2 1 : 4 : 0.5

ชุดที่3 1 : 6 : 0.5

ชุดที่4 1.5 : 2 : 1

ชุดที่5 1.5 : 4 : 1

ชุดที่6 1.5 : 6 : 1

4.4. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน (Thermal Efficiency) การทดสอบนี้มุ่งประเมินประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิงสู่ภาชนะ โดยใช้วิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลพลังงานดังในสมการที่ (1)

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

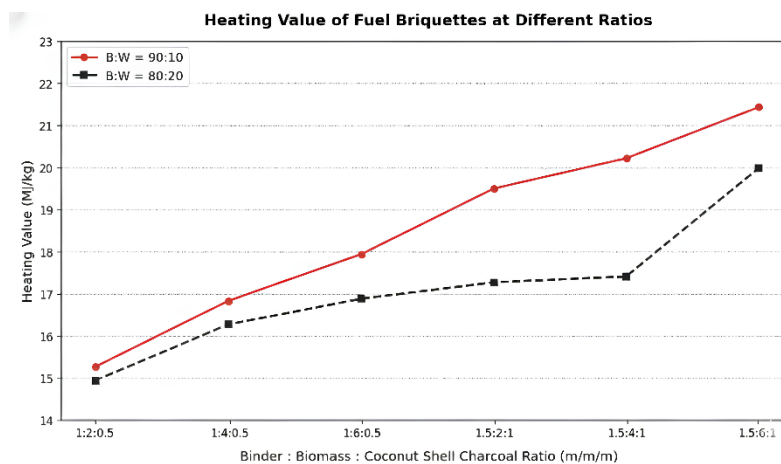
ผลจากการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเย็น โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ดังนี้

5.1 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (Heating Value)

ผลการทดสอบหาค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องวิเคราะห์พลังงานความร้อนระบบปิด (Oxygen Bomb Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

ตัวประสาน:ชีวมวล:กะลามะพร้าว (kg)	ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง(MJ/kg)	
	B:W=90:10	B:W=80:20
1:2:0.5	15.26	14.93
1:4:0.5	16.83	16.27
1:6:0.5	17.94	16.88
1.5:2:1	19.50	17.27
1.5:4:1	20.22	17.41
1.5:6:1	21.43	19.98



รูปที่ 6 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

รูปที่ 6 แสดงแนวโน้มค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อแปรผันอัตราส่วนผสม พบว่าค่าความร้อนมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณชีวมวล โดยเมื่อเพิ่มปริมาณชีวมวลจาก 2 เป็น 6 กิโลกรัม ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับมาตรฐาน SS-ISO1928 โดยจุดที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดคืออัตราส่วนผสม 1.5:6:1 (ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.43 MJ/kg และจุดที่มีค่าความร้อนต่ำสุดคือ 14.93 MJ/kg แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของชีวมวลและตัวประสานมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาแท่งเชื้อเพลิงจากไบโสนประดิษฐ์ผสมลิกไนต์[10] และการศึกษาผลของสัดส่วนผสมต่อสมบัติทางกลและทางความร้อน[5]

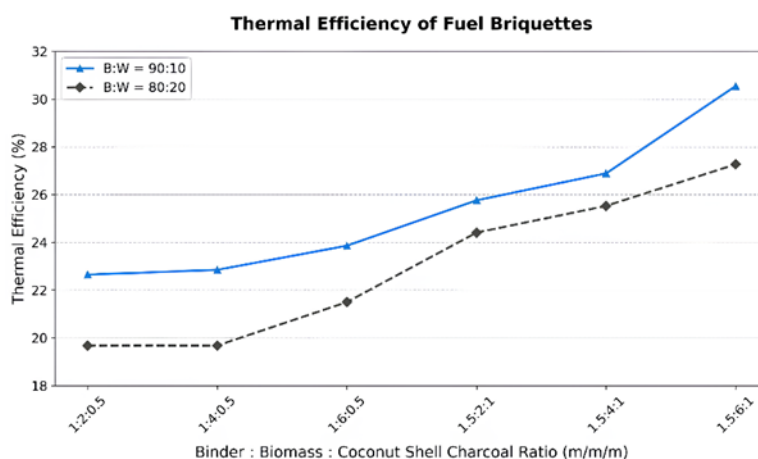
5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิงโดยสามารถทำได้ด้วยการนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปต้มน้ำเดือดซึ่งมีขั้นตอนพร้อมทั้งสมการในการคำนวณแสดงไว้ในหัวข้อ 2.3.2 ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ตัวประสาน:ชีวมวล:กะลามะพร้าว (kg)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	
	B:W=90:10	B:W=80:20
1:2:0.5	22.65	19.68
1:4:0.5	22.85	19.68

1:6:0.5	23.86	21.50
1.5:2:1	25.76	24.41
1.5:4:1	26.89	25.53
1.5:6:1	30.55	27.27



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ (B:W) ที่ 90:10 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าอัตราส่วน 80:20 ในทุกสัดส่วนผสม นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณชีวมวลที่เพิ่มขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 30.55 ในอัตราส่วนตัวประสานต่อชีวมวลต่อถ่านกะลามะพร้าว (หรือซีเลื้อยเผา)* เท่ากับ 1.5:6:1 และมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 19.68 ในอัตราส่วน 1:2:0.5 ทั้งนี้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพหลายประการ โดยเฉพาะค่าความหนาแน่นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความร้อนต่อหน่วย อย่างไรก็ตาม หากเชื้อเพลิงมีอัตราการเผาไหม้ที่รวดเร็วเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนและลดประสิทธิภาพการใช้งานจริงลง ดังนั้น การพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสม ปัจจัยด้านการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการอบแห้งชีวมวลก็มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพเชื้อเพลิง[6] เช่นเดียวกับความคุ้มค่าเชิงต้นทุนในการผลิตระดับชุมชน[12]

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดลองคุณสมบัติและประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ผสมกับชีวมวล(ซีเลื้อยเผา) และถ่านกะลามะพร้าว งานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ตัวประสานหากนำวัตถุดิบ (ซีเลื้อย) มาอัดขึ้นรูปโดยตรงโดยไม่ใช้ตัวประสาน จะต้องใช้ กระบวนการอัดร้อน (Hot Pressing) ซึ่งจำเป็นต้องใช้แรงอัดสูงมากและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กระบวนการอัดเย็น (Cold Screw Press) และนำ "แป้งมันสำปะหลัง" มาทำหน้าที่เป็นตัวประสานเพื่อช่วยในการยึดเกาะแทน ซึ่งจะช่วยลดขนาดของแรงอัดที่ต้องใช้ลง และช่วยให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

6.1 อิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นตัวประสานต่อน้ำ (B:W Ratio): อัตราส่วนของตัวประสานต่อน้ำส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความร้อน จากผลการทดลองพบว่า การใช้ความเข้มข้นของตัวประสานต่อน้ำที่ 90:10 ให้ค่าความร้อนสูงกว่า 80:20 ในทุกอัตราส่วนผสม สาเหตุหลักมาจากอัตราส่วน 80:20 มีปริมาณความชื้นที่สูงกว่า ซึ่งความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงจะไปดูดซับพลังงานความร้อนบางส่วนเพื่อใช้ในการระเหยน้ำ (Latent Heat of Vaporization) ทำให้ค่าความร้อนสุทธิที่ได้น้อยลง

6.2 อิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวล: ค่าความร้อนมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณชีวมวล เมื่อพิจารณาในกลุ่มความเข้มข้น B:W 90:10 การเพิ่มปริมาณชีวมวลจาก 2 ส่วน เป็น 6 ส่วน ส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

6.3 จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Point): แท่งเชื้อเพลิงที่ให้อัตราการเผาไหม้และค่าความร้อนสูงสุดคือ อัตราส่วนตัวประสาน : ชีวมวล : ถ่านกะลามะพร้าว ที่ 1.5 : 6 : 1 ภายใต้ความเข้มข้นตัวประสาน 90:10 ซึ่งให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 21.43 MJ/kg

6.4 ผลกระทบของตัวประสานต่อประสิทธิภาพการใช้งาน: สอดคล้องกับผลของค่าความร้อน การใช้อัตราส่วนแบ่งมันสำปะหลังต่อน้ำที่ 90:10 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่า 80:20 อย่างชัดเจนในทุกชุดการทดลอง การที่ตัวประสานมีความเข้มข้นสูงและกักเก็บความชื้นน้อย ช่วยให้แท่งเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นและสูญเสียพลังงานระหว่างการเผาไหม้น้อยลง

6.5 ความสมดุลระหว่างปริมาณชีวมวลและตัวประสาน: ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 30.55 เกิดขึ้นในชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนผสม 1.5 : 6 : 1 (B:W 90:10) ผลลัพธ์นี้ยืนยันว่า การเพิ่มสัดส่วนของตัวประสานขึ้นเป็น 1.5 ส่วน (เมื่อเทียบกับชุด 1 ส่วน) ควบคู่ไปกับการใช้กะลามะพร้าว 1 ส่วน ช่วยสร้างโครงสร้างแท่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นเหมาะสม ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ ไม่ลุกไหม้เร็วเกินไปจนสูญเสียความร้อนทิ้ง และสามารถถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะต้มน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในขณะที่อัตราส่วน 1 : 2 : 0.5 (B:W 80:20) ให้ประสิทธิภาพต่ำสุดเพียงร้อยละ 19.68

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า แม้ "ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวล" จะเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ "อัตราส่วนและสภาวะของตัวประสาน" คือตัวแปรควบคุมที่สำคัญที่สุด หากจัดการความเข้มข้นของตัวประสานไม่เหมาะสม (เช่น มีน้ำมากเกินไป) จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงอย่างมาก ดังนั้น สูตร 1.5 : 6 : 1 ที่ระดับ B:W 90:10 จึงเป็นจุดสมดุลที่ดีที่สุดระหว่างความสามารถในการยึดเกาะและการให้พลังงานความร้อน

7. ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง มีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาและศึกษาต่อไปในอนาคต ดังนี้

7.1 การศึกษาอัตราการเผาไหม้: แม้ค่าความร้อนสูงจะส่งผลดี แต่ควรมีการศึกษาเรื่อง "ระยะเวลาในการเผาไหม้" (Burning Rate) เพิ่มเติม เนื่องจากหากเชื้อเพลิงเผาไหม้เร็วเกินไปอาจทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนทิ้งและลดความคุ้มค่าในการใช้งานจริง

7.2 การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ: ควรมีการศึกษาเรื่องความหนาแน่น (Density) และความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มเติม เพื่อหาจุดสมดุลระหว่างความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิงและการติดไฟ

7.3 การทดสอบกับตัวประสานชนิดอื่น: อาจมีการเปรียบเทียบแบ่งมันสำปะหลังกับตัวประสานธรรมชาติชนิดอื่นๆ เพื่อหาวัสดุที่ช่วยลดต้นทุนหรือเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะได้ดียิ่งขึ้น

8. References

- [1] A. Amarasekara, F. S. Tanyildizi, and E. Asmatulu, "The briquetting and carbonization processes of naturally grown algae biomass collected from regional lakes," *Fuel*, 208, 2017, pp. 612–617.
- [2] P. Charoenroy, *Fuel Briquettes from Agricultural Waste*, Master's thesis, Mahasarakham University, Mahasarakham, 2008. (in Thai)
- [3] M. Faizal, "Utilization biomass and coal mixture to produce alternative solid fuel for reducing emission of green house gas," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2017, pp. 950–956.

- [4] M. Hoque, M. Ota, and S. C. Bhattacharya, "Activated charcoal from coconut shell using ZnCl_2 activation," *Biomass and Bioenergy*, 22(5), 2002, pp. 397–400.
- [5] A. Kumboon, S. Worapot, P. Luesak, and R. Sirirak, "A study of the effect of mixture material in coconut shell charcoal briquette on mechanical and thermal properties," *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 5, 2019, pp. 67–75. (in Thai)
- [6] G. V. Kuznetsov, S. V. Syrodoyn, N. A. Nigay, V. I. Maksimov, and N. Y. Gutareva, "Features of the processes of heat and mass transfer when drying a large thickness layer of wood biomass," *Renewable Energy*, 169, 2020, pp. 498–511.
- [7] K. Namwong and M. Khathaphan, "Design and development of a briquette machine for briquettes production from dried neem leaves and burned sawdust," *Proceedings of the 31st National Mechanical Engineering Conference*, 2017, pp. 65–73. (in Thai)
- [8] P. Sathitruangsak, S. Sangworakan, and T. Methiyanon, "Design of an extrusion screw and solid fuel produced from coconut shell," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 28(2), 2006, pp. 387–401. (in Thai)
- [9] M. Shahabuddin and S. Bhattacharya, "Enhancement of performance and emission characteristics by co-gasification of biomass and coal using an entrained flow gasifier," *Energy*, 95, 2016, pp. 166–178.
- [10] A. Srinoun and A. Chainawa, "A study of fuel briquettes from Casuarina Junghuhniana Miq. leaf - lignite blends," *Kasem Bundit Engineering Journal*, 3, 2018, pp. 128–151. (in Thai)
- [11] N. Tangmankongworakoon, "The production of fuel briquettes from agricultural wastes and household wastes," *Science and Technology*, 6(1), 2014, pp. 66–77. (in Thai)
- [12] K. Tippayawong, S. Santiteerakul, S. Ramingwong, and N. Tippayawong, "Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette production from agricultural and forest residues," *Energy Procedia*, 160, 2019, pp. 310–316.
- [13] Q. Wu, S. Zhang, and B. Hou, "Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process," *Bioresource Technology*, 179, 2015, pp. 98–103.