

การผลิตถ่านไบโอชาร์จากเศษกะลามะพร้าวในกระบวนการทำมะพร้าวขาว ด้วยเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม

อรัญ ขวัญปาน¹, สุภัสสร ฉิมเฉิด², รุจิพรรณ แผงจันดา³

^{1, 2, 3}คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: aran.kw@ssru.ac.th¹

Received: May 12, 2025

Revised: Jun 12, 2025

Accepted: Jun 16, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม และทดสอบคุณภาพของถ่านกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.657/2547) ใช้เศษกะลาจากมะพร้าวแก่จากผู้ประกอบการล้างมะพร้าวขาว นำมาเผาโดยเตาปฏิกรณ์ที่ออกแบบการจ่ายเชื้อเพลิงความร้อนร่วมที่ได้รับการพัฒนา ประกอบด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลและเชื้อเพลิงจากน้ำมันเครื่องเก่า แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติของถ่าน

ผลการศึกษา พบว่า ถ่านไบโอชาร์จากเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม อุณหภูมิเตาเฉลี่ยสูงสุด 665 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเผา 310 นาที คุณสมบัติของถ่านอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.657/2547) มีค่าความร้อน 6,518.25 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณถ่านร้อยละ 4.57 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 11 และปริมาณความชื้นร้อยละ 3.82 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (N=20) ค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน (6000 แคลอรีต่อกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .001 ($p = .000$), ($\bar{X} = 6518.25$)

ดังนั้น เตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วมมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับสลายน้ำมันดิน (Tar) ทำให้ถ่านบริสุทธิ์ และถ่านไบโอชาร์ที่ได้มีคุณสมบัติสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงประกอบอาหารในครัวเรือน และสามารถพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่งได้

คำสำคัญ : ถ่านไบโอชาร์, เศษกะลามะพร้าว, ถ่านอัดแท่ง, เตาปฏิกรณ์ความร้อนร่วม, เตาเผาถ่าน

Biochar is produced from coconut shell waste, generated during white coconut processing, using a co-firing reactor.

Aran Kwanpan¹, Suphatsorn Chimcherd², Rujipun Phangchandha³

^{1,2,3}Faculty of Engineering and Industrial Technology, Suan sunandhaRajabhat University

Email: aran.kw@ssru.ac.th¹

Received: May 12, 2025

Revised: Jun 12, 2025

Accepted: Jun 16, 2025

Abstract

This study aimed to test the efficiency of the co-firing reactor and evaluate its quality against the Thai Community Product Standard (M.P.C.657/2547). The reactor was specifically designed to integrate biomass and used engine oil as fuel components. Biochar properties were subsequently analyzed. Results indicated that the cogeneration reactor achieved a maximum average furnace temperature of 665°C with a burning time of 310 minutes. The produced biochar met the Community Product Standard (M.P.C.657/2547) requirements, exhibiting a heating value of 6,518.25 cal/g, ash content of 4.57%, volatile matter content of 11%, and moisture content of 3.82%.

A one-sample t-test ($N=20$) revealed that the biochar's heating value ($\bar{x} = 6,518.25$ cal/g) was significantly higher than the standard value of 6,000 cal/g ($p < .001$).

Thus, the cofiring reactor is efficient enough to decompose tar, yielding pure charcoal. The resulting biochar possesses properties suitable for household cooking fuel and can also be developed into charcoal briquettes.

Keywords : Biochar, coconut shell, briquettes, co-generation reactor, charcoal kiln

บทนำ

ลังมะพร้าวขาวในจังหวัดสมุทรสงครามมีจำนวน 435 ลัง [1] มีเศษกะลามะพร้าวถูกแยกออกจากเนื้อมะพร้าวที่เหลือทิ้งจากแต่ละลัง กองไว้รอเพื่อจำหน่าย การกองเอาไว้จำนวนมากนั้นเป็นปัญหาต่อการจัดเก็บ สิ้นเปลืองพื้นที่ในการเก็บ กลายเป็นที่อยู่ของสัตว์มีพิษ เช่น งูพิษ ตะขาบ และแมงป่อง [7] เศษกะลาของลังขนาดเล็กมีปริมาณ 0.5-1 ลูกบาศก์เมตร/วัน ผู้ซื้อมารับถึงลังในกิโลกรัมละ 1.70-2.50 บาท (มารับ 1-2 สับดาห์/ครั้ง) [2] กะลามะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นไบโอชาร์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงคุณภาพสูงได้มีการศึกษาเตาปฏิกรณ์ ใช้กะลามะพร้าวเป็นชีวมวลดิบในการผลิตถ่านชาร์ทำงานที่อุณหภูมิระหว่าง 200-370 องศาเซลเซียสผลผลิตเชิงมวลร้อยละ 31 และประสิทธิภาพทางความร้อนร้อยละ 40.79 ค่าความร้อนของถ่านเท่ากับ 29.73 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [3] กะลามะพร้าว มีร้อยละปริมาณคาร์บอนเสถียรเท่ากับ 45.9% และค่าความร้อนอยู่ที่ 32.49-33.23 kJ/g [4] กะลามะพร้าว (พันธุ์ต้นสูงมีค่าเท่ากับ 4910.82cal/ และค่าความชื้นเท่ากับ 0.043% [5] การผลิตถ่านชาร์ในประเทศไทยแบ่งได้ 2 ระดับ ได้แก่ ระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือนการผลิตถ่านชาร์ในระดับอุตสาหกรรมจะทำในโรงงานที่ใช้เตาอิฐและเตาเหล็ก ระดับครัวเรือนมักใช้เตาตรัม (ลักษณะคล้ายถัง) และเตาปฏิกรณ์ ที่ก่อจากดินแม้ว่าเตาปฏิกรณ์แบบนี้จะสร้างง่ายแต่ประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำมาก และก่อเกิดมลพิษทางอากาศสูงขณะที่เตาตรัมที่มีรูปทรงเป็นทรงกระบอก เช่น เตาตรัมขนาด 200 ลิตร เป็นที่นิยมในชนบทเนื่องจากมีราคาไม่สูงและง่ายในการประกอบ [6], [7] และ [8] โดยมีวัสดุจากการเกษตรหลายชนิดที่ให้พลังงานความร้อนในระดับสูงเหมาะสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทน ถ่านไม้จาก

ธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว, ชั่งข้าวโพด และเปลือกกล้วย [9, 10, 11] คณะวิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการสร้างมูลค่าเพิ่มให้เศษกะลา จึงมีแนวคิดพัฒนาเตาในการผลิตถ่านไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ในเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม ด้วยการเผาผลาญด้วยเตาชีวมวลเพียงอย่างเดียวยังมีประสิทธิภาพต่ำให้ความร้อน 200-370 องศา [3] และการเผาถ่านในชุมชนยังใช้วิธีดั้งเดิม หรือการเผากองไฟคลุมดิน ซึ่งไม่ใช่กระบวนการไพโรไลซิส ที่ควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนอย่างเหมาะสม มีข้อเสียคือ การเผาด้วยเปลวไฟและการระบายความร้อนแบบเปิด ทำให้พลังงานจำนวนมากสูญเสียออกไปพลังงานจากก๊าซที่ระเหยออก (Volatile matter) ไม่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์สูญเสียความร้อนกว่า 60-70% ปล้อยเขม่า (soot), CO, CH₄, VOCs และสารก่อมะเร็ง (PAHs) เกิดปัญหาหมอกควัน (smog) และ PM_{2.5} อัตราส่วนถ่านต่อชีวมวล (Charcoal yield) มักอยู่เพียง 10-15% เมื่อเทียบกับไพโรไลซิสแบบควบคุม ซึ่งให้ yield ได้ถึง 25-35% ส่วนการเผาแบบไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแปรสภาพชีวมวล ด้วยความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic) หรือมีออกซิเจนในระดับต่ำมาก จนไม่เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ อุณหภูมิโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 300-700°C กลไกการสลายตัวประกอบด้วย 1) depolymerization การแตกพันธะของโพลีเมอร์ในเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส 2) decarboxylation ปล่อย CO₂ ออกจากกรดอินทรีย์ 3) dehydration การสูญเสียไอน้ำจากโครงสร้าง 4) aromatization เปลี่ยนวงแหวนคาร์บอนเป็นโครงสร้างที่เสถียร (Lignin → carbon-rich char) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่าน (char) น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) และก๊าซเชื้อเพลิง (syngas หรือ non-condensable gases) ซึ่งกะลามะพร้าวเมื่อผลิตเป็นถ่านไบโอชาร์จะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเป็น 30-80 บาท/กิโลกรัม (18-32

เท่าจากเศษกะลา) สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นการพัฒนากลุ่มอาชีพเก่าแก่ของชุมชน สร้างงานสร้างรายได้สู่อาชีพผลิตมะพร้าวขาวอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม
2. เพื่อทดสอบคุณภาพของถ่านไบโอชาร์เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยเลือกกิ่งมะพร้าวที่ใช้มะพร้าวพันธุ์หมูสี (พันธุ์พื้นเมืองนิยมปลูกในพื้นที่) ใช้เศษกะลาเหลือทิ้งจากกระบวนการทำมะพร้าวขาว เป็นมะพร้าวแก่ (อายุประมาณ 10-12 เดือน) ที่ผ่านการไล่ความชื้นด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ นำมาเผาด้วยเตาปฏิกรณ์ที่จ่ายเชื้อเพลิงด้วยชีวมวลและเชื้อเพลิงจากน้ำมันเครื่องเก่า แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1.2 การออกแบบเตาปฏิกรณ์ให้มีความสำคัญถึงปริมาณกะลาของกิ่งมะพร้าว โครงสร้างแข็งแรงรูปแบบไม่ซับซ้อน ชุมชนสามารถประกอบใช้ได้เอง ซ่อมบำรุงได้ง่าย และใช้งานได้ง่าย ประกอบด้วย ชุดฝาห้องเผาสำหรับนำกะลาเข้าไปเผาและเอาถ่านไบโอชาร์ออกออกแบบไม่ให้อากาศเข้าไปได้ ขณะการสลายตัวทางความร้อน (ไพโรไลซิส) ห้องให้ความร้อนเป็นชุดเผาเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับระบบออกแบบการจ่ายเชื้อเพลิงความร้อนร่วม เป็นชุดห้องสำหรับใส่เศษกะลามะพร้าวเพื่อทำการอบไล่ความชื้นจนไม้พินสามารถลุกติดไฟเองได้กลายเป็นถ่านไบโอชาร์ ซึ่งมีใส่เผาผ่านและทอส่ง

แก๊สกลับห้องให้ความร้อนและชุดฉนวนกันความร้อน เป็นฉนวนหุ้มที่ทำจากใยแก้วลดการสูญเสียความร้อนจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization)

2. เครื่องมือที่ใช้

- 2.1 เตาปฏิกรณ์ถ่านไบโอชาร์จำนวน 3 แบบ ขนาด 234 ลิตร
- 2.2 เตาอบร้อน Memmet UF260
- 2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ RAE รุ่น 3000
- 2.4 เครื่องบอร์มแคลอรีมิเตอร์ PARR 1341
- 2.5 อื่น ๆ ได้แก่ สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3. วิธีการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 การออกแบบเตาปฏิกรณ์ถ่านไบโอชาร์จำนวน 3 แบบ ขนาดเท่ากัน 234 ลิตร ซึ่งเตาจะแตกต่างกันที่แบบของไส้เตา (ดังรูปที่ 1) เพื่อเลือกไส้เตาที่สามารถให้ความร้อนจากการไพโรไลซิสได้สูงที่สุดสำหรับใช้ในการเผาถ่าน แล้วหาคุณสมบัติของถ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

3.2 เศษกะลามะพร้าวจากกระบวนการทำมะพร้าวขาว ซึ่งถูกวางในที่โล่งเพื่อไล่ความชื้นในกะลามะพร้าวประมาณ 3 วัน ก่อนนำมาผลิตถ่านไบโอชาร์บรรจุลงในเตาจนเต็มเตาปริมาตรโดยรวมประมาณ 142 ลิตร หลังจากนั้นปิดฝาเตาให้สนิทให้อยู่สภาวะไร้อากาศหรืออากาศเข้าได้น้อยที่สุด แล้วใช้ทรายแห้งปิดทับฝาเตาด้านบนอีกครั้งเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

3.3 จุดเตาด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งให้ความร้อนเตาโดยเผาไหม้เชื้อเพลิงหน้าเตา รักษาระดับเชื้อเพลิงต่อเนื่องเป็นเวลา 90 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงจากน้ำมันเครื่องเก่า การบ่อน้ำมันฯ หน้าเตาจะสิ้นสุดลงเมื่อสังเกตเห็นเปลวไฟเกิดขึ้นที่ท่อส่วนกลางด้านบน ซึ่งแสดงถึงแก๊ส

จากกระบวนการไพโรไลซิสเริ่มเกิดขึ้นและย้อนกลับเป็นแหล่งความร้อนแก่เตาปฏิกรณ์ ใช้เวลาประมาณ 60 นาที เปลวไฟจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งหมด แสดงว่าแก๊สและสารระเหยในชีวมวลดิบได้หมดแล้วเหลือเพียงถ่านไบโอชาร์ ซึ่งกินเวลาประมาณ 70-100 นาที อุณหภูมิของเตาจะเริ่มลดลง จะปล่อยให้เตาเย็นสนิท ใช้เวลาประมาณ 10-12 ชั่วโมง จึงเปิดฝาเตา แล้วนำถ่านไบโอชาร์วิเคราะห์ตามมาตรฐานขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชัน (ดังรูปที่ 2)

3.4 ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง เก็บข้อมูลอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์ โดยเจาะผนังเตาบริเวณด้านข้าง 3 ตำแหน่ง (บน กลาง ล่าง) ใส่อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และตรวจวัดอุณหภูมินอกเตา การตรวจวัดจะเริ่มวัดเมื่อเตาเริ่มติด ช่วงเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที แล้วเก็บต่อเนื่องทุกๆ 20 นาที จนจบการคาร์บอนไนเซชัน ใช้เวลาประมาณ 310 นาที

3.5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตากับเวลาการเผา 3 ตำแหน่ง (บน กลาง ล่าง) ของเตาทั้ง 3 แบบ

3.6 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของถ่านไบโอชาร์เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน วิเคราะห์ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้ หุงต้มด้วยการใช้ตัวอย่างจำนวน 1 กรัม อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 ซึ่งค่าที่ได้ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

2) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้ หุงต้ม ด้วยการเผาตัวอย่างจำนวน 1 กรัม เผาใน

เตาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 ซึ่งค่าที่ได้ต้องไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

3) ปริมาณเถ้า (Ash) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้ หุงต้ม ด้วยการใช้ตัวอย่างจำนวน 1 กรัม เผาในเตาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ซึ่งค่าที่ได้ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

4) ค่าความร้อน (Calorific value) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้ หุงต้ม ด้วยการใช้อตัวอย่างจำนวน 1 กรัม ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ในเครื่องบอร์มแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 6000 แคลอรีต่อกรัม

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

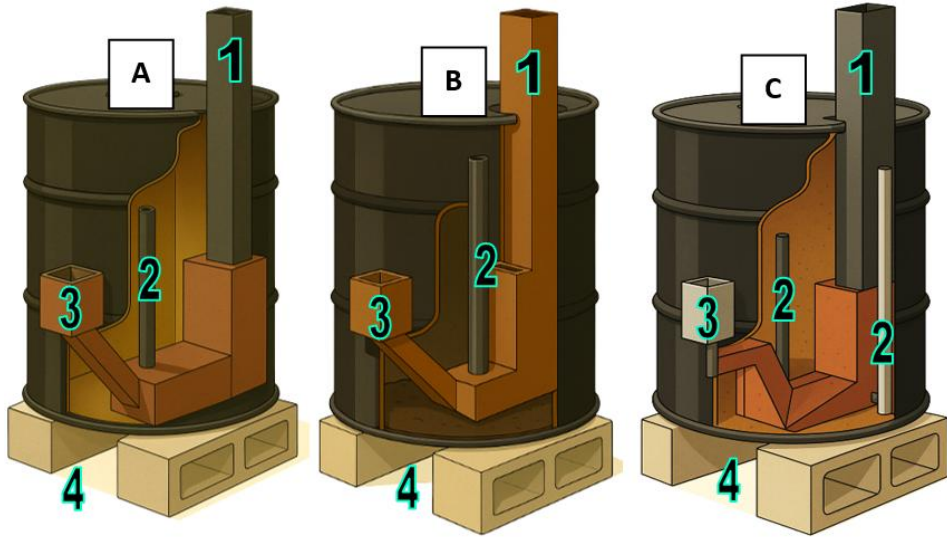
4.1 วิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย

- 1) จำนวนร้อยละ (%)
- 2) การคำนวณค่าเฉลี่ย (\bar{X})
- 3) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงอนุมาน ใช้สถิติ One sample t-test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความร้อนถ่านไบโอชาร์กับค่ามาตรฐาน โดยเลือกเตาที่ให้ความร้อนสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเผา หลังจากนั้นเผาถ่านจำนวน 20 ครั้ง แล้วสุ่มตัวอย่างถ่านแต่ละครั้ง สุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified sampling) ครั้งละ 1 ตัวอย่าง รวมจำนวน 20 ตัวอย่าง และพิสูจน์สมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0: \mu_1 < 6000 \text{ แคลอรีต่อกรัม}$$

$$H_1: \mu_1 > 6000 \text{ แคลอรีต่อกรัม}$$



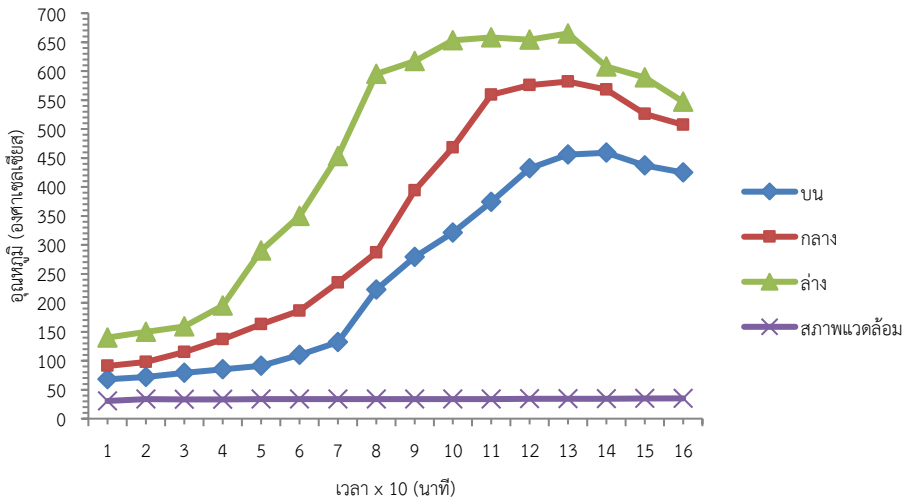
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบเตาปฏิกรณ์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม แบบ A, B และ C
หมายเหตุ : 1 ปล่องควัน, 2 ท่อแก๊สย้อนกลับห้องเผาไหม้, 3 ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงความร้อนร่วม
และ 4 ห้องเผาไหม้ชีวมวล



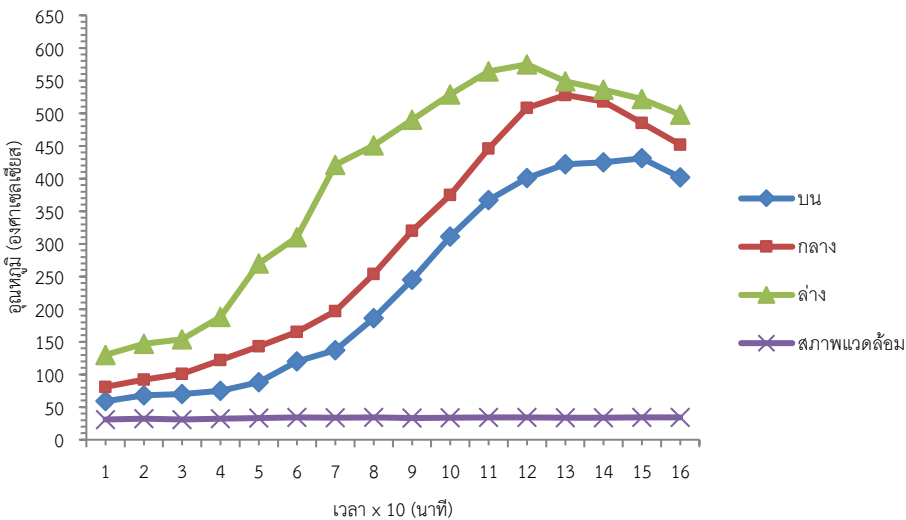
รูปที่ 2 การผลิตถ่าน A เศษกะลามะพร้าว B ให้ความร้อนเตาปฏิกรณ์ และ C ถ่านไบโอชาร์

ผลการวิจัย

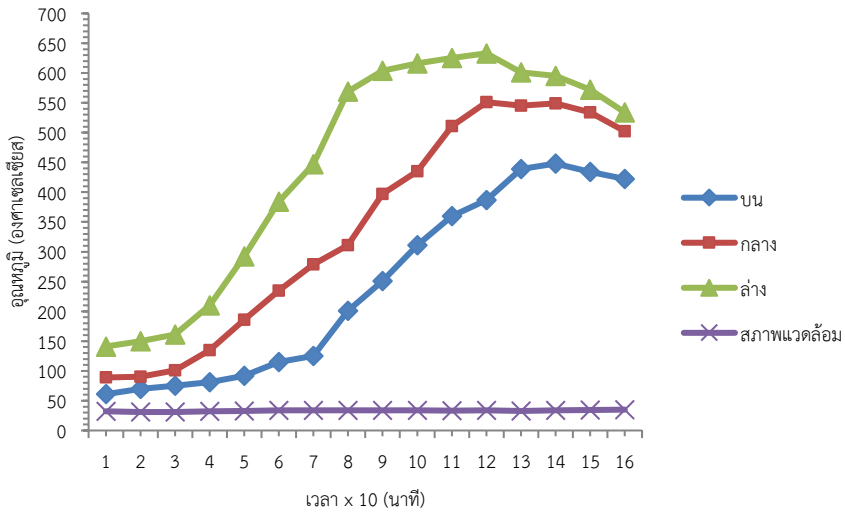
1. การศึกษาความสัมพันธ์อุณหภูมิในเตากับเวลาการเผา กระบวนการเผาให้เป็นถ่านไปไอซาร์ สิ้นสุดลงที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง ทำให้ถ่านบริสุทธิ์ใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่า 400 องศาเซลเซียส เพื่อสลายน้ำมันดิน (Tar) ใช้เวลา 5.16 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3-6



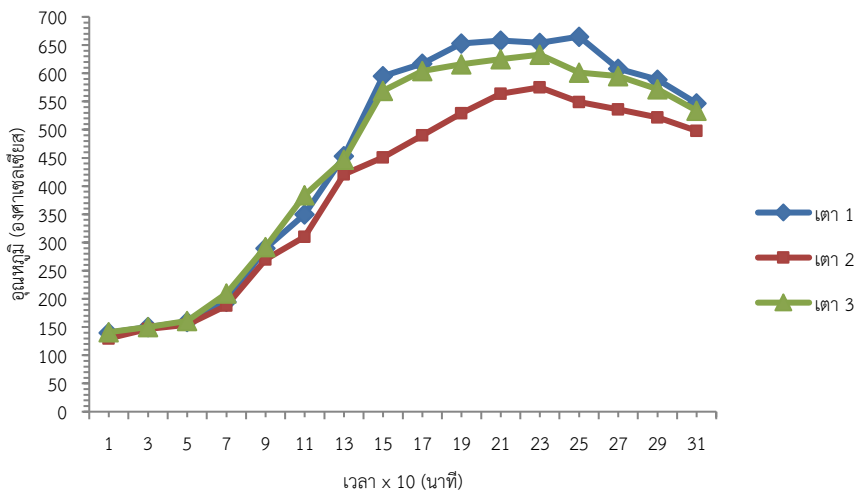
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์อุณหภูมิในเตากับเวลาการเผา (เตาแบบ A)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์อุณหภูมิในเตากับเวลาการเผา (เตาแบบ B)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์อุณหภูมิในเตากับเวลาการเผา (เตาแบบ C)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์อุณหภูมิในเตากับเวลาการเผาของเตาทั้ง 3 แบบ (เฉพาะอุณหภูมิชั้นล่าง)

จากรูปที่ 3-5 พบว่า อุณหภูมิชั้นล่างสูงกว่า ชั้นกลาง ชั้นบน และเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง สามแบบ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิชั้นล่างทั้งสาม แบบ ตามรูปที่ 6 พบว่า ในช่วงเวลาเริ่มจุดเตาถึง 90 นาที อุณหภูมิที่บริเวณผิวด้านในเตาสูงขึ้น อย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน จะเห็นความ

แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปถึงนาทีที่ 110 อุณหภูมิของเตาทั้งสามแบบเท่ากับ 350, 310 และ 384 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเริ่ม ต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปถึงนาทีที่ 150 อุณหภูมิ ของเตาทั้งสามแบบเท่ากับ 595, 451 และ 569

องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลา กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลการวิเคราะห์ดัง
ของการคาร์บอนเซชัน ตารางที่ 1

2. กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของ
ถ่านไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวและเปรียบเทียบ

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของถ่านไบโอชาร์

คุณภาพถ่าน	เตาแบบที่ 1	[11]	[12]	มผช.657/2547
ค่าความร้อน (cal/g)	6,518.25	5,315	7,116	≥6000
ปริมาณเถ้า (%)	4.57	*	7.43	≤8
เวลาเผา (hr.)	5.10	*	*	**
ปริมาณสารระเหย (%)	11	*	*	≤25
ปริมาณความชื้น (%)	3.82	5.63	3.95	≤10

หมายเหตุ: - คุณภาพของถ่านไบโอชาร์เป็นข้อมูลเฉพาะของเตาแบบที่ 1 ด้วยอุณหภูมิที่ได้ขณะเผาสูงกว่าแบบที่ 2,3
- * ผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาไว้ ** มาตรฐาน มผช.657/2547 ไม่ได้กำหนดไว้

จากตารางที่ 1 พบว่า ถ่านไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกพารามิเตอร์
เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ค่าความร้อนมีค่าอยู่ระดับใกล้เคียงกัน มีปริมาณเถ้าน้อยกว่างาน
งานวิจัยอื่น ปริมาณความชื้นน้อยใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (ค่าความร้อน) ของการเผา (N=20)

ค่าความ	\bar{X}	S.D.	t	df	p-value
ร้อน	6518.25	85.22	27.194	19	.000

หมายเหตุ : ข้อมูลค่าความร้อนเฉพาะของเตาแบบที่ 1 ด้วยให้อุณหภูมิในการเผาสูงที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า p-value = 0.000 ซึ่ง
น้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 แสดงว่า
ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ยอมรับสมมติฐาน H_1
กล่าวคือ ค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน (6000
แคลอรีต่อกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปและอภิปรายผล

กระบวนการเผาให้เป็นถ่านไบโอชาร์ด้วยเตา
ปฏิกรณ์ เชื้อเพลิงความร้อนร่วม ที่อุณหภูมิ
ประมาณ 400 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง

ซึ่งเพียงพอต่อการนำผลผลิตมาใช้งานได้ แต่ทำให้
ถ่านบริสุทธิ์ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่า 400 องศา
เซลเซียส เพื่อสลายน้ำมันดิน (Tar) โดยใช้เวลา
310 นาที (5.16 ชั่วโมง) อุณหภูมิสูงสุด 665 องศา
เซลเซียส [13] กระบวนการไพโรไลซิส เป็น
กระบวนการแตกตัวหรือสลายโมเลกุลของ
สารประกอบหรือวัสดุต่าง ๆ ในสภาวะปราศจาก
ออกซิเจน ภายใต้อุณหภูมิสูงประมาณ 400– 800
องศาเซลเซียส [4] ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจะ
ประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ 1) ของแข็ง หรือ ถ่าน

(char) 2) ของเหลวซึ่งมีลักษณะและสมบัติคล้ายน้ำมัน และ 3) แก๊ส โดยถ่านสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หรือสามารถนำไปกระตุ้นต่อเพื่อเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) [4] เตาเผาสามารถเผาไหม้ให้เชื้อเพลิงในขณะที่สังเคราะห์ถ่านมีอุณหภูมิเผาค่อนข้างสูงประมาณประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะขณะเผาเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มีแก๊สติดไฟและน้ำส้มควันไม้ไหลออกมาจากเตาชั้นในช่วยเสริมให้เกิดการลุกไหม้ด้วยอุณหภูมิสูง [14] ความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้เชื้อเพลิงด้านล่างร้อนและคายแก๊สต่าง ๆ ไหลขึ้นไปด้านบน แก๊สที่ไหลขึ้นส่วนใหญ่เป็นแก๊สที่ติดไฟจึงช่วยเสริมการลุกไหม้ทำให้ภายในเตามีอุณหภูมิสูงถึง 640-680 องศาเซลเซียสมีค่าความร้อนสูง 6,518.25 แคลอรีต่อกรัม [3]

เตาเผาที่ใช้แก๊สร้อนไฟโรไลซิสมุนววนนี้มีสมรรถนะสูงกว่าอย่างชัดเจนโดยสังเกตจากผลผลิตเชิงมวล ผลผลิตเชิงพลังงาน และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเนื่องจากความสามารถในการดั่งสารระเหยออกจากชีวมวลจำนวนมากและการใช้ความร้อนจากสารระเหยกกล่าวได้เป็นอย่างดี มีปริมาณถ่านน้อยปริมาณถ่านร้อยละ 4.57 [15] สำหรับปริมาณถ่านจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของถ่าน โดยถ่านที่มีปริมาณถ่านต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 4) จะจัดเป็นถ่านคุณภาพสูงสามารถให้ความร้อนได้ดีและยาวนานปริมาณสารระเหยต่ำร้อยละ 11 และปริมาณความชื้นต่ำร้อยละ 3.82 จึงมีความเหมาะสมสำหรับเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการประกอบอาหาร

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาค่าความชื้นของเศษกะลา ก่อนเข้าเตาปฏิกรณ์ เพื่อเป็นข้อมูลถึงความเหมาะสมกับเตาประเภทนี้

2. ควรนำไปโอซาร์ไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งในรูปแบบต่าง ๆ ให้ง่ายต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร

3. การศึกษามีข้อจำกัดของผลการศึกษาจากความไม่สม่ำเสมอของวัสดุดิบ

References

- [1] Samut Songkhram Provincial Statistical Office. Number of white coconut and mature coconut processing plants by district. March. 31, 2024. [online]. Available: https://samutsongkhram.nso.go.th/manage-statistics-system/area-level-official-statistics.html?catid=58&id=87&view=article&utm_source=chatgpt.com
- [2] A. Khwanpan, "The ergonomic risk assessment and environmental work white coconut case study local communities Samutsongkram province, Samut Songkhram Province." *Journal of Industrial Technology*, 9(2), pp. 44–57, 2021.
- [3] K. Manathura, & U. Samaksaman, "Efficiency Performance Self-Heating Coconut Shell Pyrolysis Kiln." *Journal of Science and Technology*, 11(2), pp. 13–21, 2022.
- [4] N. Pimpabut, A. Chaiya, & S. Chaokla, "Effect of Wood Type on Combustion Temperature Characteristics and Properties of Charcoal Prepared by High Temperature Pyrolysis Process." *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 12(16), pp. 50–60. July - December 2020.

- [5] R. Anantanukulwong, R. Jaemae, & N. Sarenoo, "Production of Charcoal from Agricultural Residues." *Journal of Science and Technology, YRU*, 4(1), pp. 47–53, 2019.
- [6] S. Sangsuk, C. Buathong, & S. Suebsiri, "High-energy conversion efficiency of drum kiln with heat distribution pipe for charcoal and biochar production." *Energy for Sustainable Development*, 59, pp. 1–7, 2020. [online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082620302891>
- [7] N. Homduang, P. Chaiyaworn, P. Saisaew, P. Rattanapaiboon, P. Sasutjit, K. Buacharoen, R. Homkuang, N. Attawetchakun, & C. Thararuk, Development of pyrolysis reactors for heat production and bio-char applications. *Journal of Renewable Energy for Community*, 4(1), pp. 47–53, 2021.
- [8] K. Manatura, "Novel performance study of recirculated pyro-gas carbonizer for charcoal production." *Energy for Sustainable Development*, 64, pp. 8–14, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.07.002>.
- [9] S. Changissarakul, A. Doromae, A. Ruangmee, & C. Saengwichian, "New alternative biomass sources for renewable energy: Rubber fruit shells and vetiver grass." *In Proceedings of the 5th National Energy Network Conference*, Phitsanulok, Thailand, 2009.
- [10] N. Tangmankongvorakul, & P. Preedasuriyachai, "Study of coffee and tea residues for use as briquette fuel." *Srinakharinwirot University Journal (Science and Technology)*, 7(3), pp. 15–26, 2015.
- [11] A. Khambun, W. Siriraksa, P. Luesak, & R. Sirirak, "A STUDY ON HOW TO UTILIZE COFFEE RESIDUE AND TEA RESIDUE FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTES." *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 5(2), pp. 67–75, 2019.
- [12] T. Puttikeetkaveewong, J. Wiangnon, & P. Sriboonsom, "Production of briquettes from soybean stalks." *Naresuan University Journal*, 14(3), pp. 11–18, 2006.
- [13] Department of Primary Industries and Mines. Fuel from plastic waste. [online]. (n.d.). Available: <https://www.dpim.go.th/service/download?articleid=3499> (accessed March. 1, 2024).
- [14] W. Charoenboon, "Biomass husk stove for Thai farmers." *Khon Kaen University Journal of Science*, 45(1), pp. 163–174, 2017.
- [15] Green Power Co., Ltd. *New-generation charcoal from "Greenpower" 2010–2013*. 2013. [online]. Available: <http://piroliz.org/products/2014-05-27-12-34-12/eng/> (accessed March. 5, 2024).