

ผลกระทบของการให้ความร้อนทางตรงและทางอ้อมในการผลิตถ่านชีวภาพจากแกลบกาแฟ

Effects of direct and indirect heating on biochar production from coffee husks

นิกราน หอมดวง^{1*}, ประภัสสร รัตนไพบูลย์¹, พนธกร เหลี่ยมเคลือบ¹, สุภกิจ ชัยเมืองเลน², ถิรวัฒน์ วงษาเทียม¹ขจรเกียรติ กันทะหล้า¹, สุระพล รียะนา¹ และกิตติกร สาสุจิตต์¹Nigran Homdoun^{1*}, Praphatsorn Rattanaphaiboon¹, Phontakorn Liam-Kloub¹, Supakit Chaimuanglen²,
Kajonkiat Kantala¹, Tirawat Wongsatiam¹, Surapon Riyana¹ and Kittikorn Sasujit¹¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สันทราย เชียงใหม่ 50290² ศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ เกษะคา ลำปาง 52130¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290² Creative Industrial Material Research and Development Center, Kokha, Lampang 52130¹Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

The problem of biochar production when using stable and small-sized raw materials (such as rice husks and coffee husks) with conventional biochar production kiln, that was leading to low-quality biochar, high energy consumption and long production times. However, to solve the problem of biochar production process to higher quality produce charcoal. This research aims to develop, modify and present a direct heating technique compared to indirect heating when using a 200 L circulating gas charcoal production kiln. Indirect heating was the use of a conventional circulating gas charcoal kiln, while direct heating was carried out 1 set of heat transfer channels or flue gas flow channels. The heat input into the system uses heat from longan wood waste combined with the pyrolysis gas remaining from the charcoal production process. The material to produce biochar was used coffee husks from coffee production and processing plants in Chiang Mai province. The experiment was conducted to test and analyze the comparative effect of direct and indirect heating with gas circulation charcoal kiln. The study was found that, the use of direct heating system resulted higher energy efficiency in charcoal production than indirect heating in terms of charcoal and wood vinegar production. Overall, the temperature inside the charcoal production kiln was obtained in a range of 400-500°C, the charcoal yield was of 23.37% and maximum thermal efficiency of the charcoal production was of 40.38%. The biochar production time was approximately 7 h. The biochar produced was black in color, that suitable for use as a soil improver for agriculture.

Keywords: biomass, biochar, charcoal kiln, pyrolysis process, coffee husk

บทคัดย่อ

ปัญหาการผลิตถ่านชีวภาพเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีรูปร่างเสถียรและมีขนาดเล็ก (เช่น แกลบข้าวและแกลบกาแฟ) กับการใช้เตาผลิตถ่านชีวภาพทั่วไปทำให้ได้ถ่านชีวภาพคุณภาพต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานสูง และเวลาในการผลิตยาวนาน อย่างไรก็ตามเพื่อแก้ไขปัญหากระบวนการผลิตถ่านชีวภาพให้ถ่านมีคุณภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์พัฒนา ดัดแปลงและนำเสนอเทคนิคการให้ความร้อนทางตรงเทียบกับการให้ความร้อนทางอ้อมเมื่อใช้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนขนาด 200 L การให้ความร้อนทางอ้อมคือการใช้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบดั้งเดิม ในขณะที่การให้ความร้อนทางตรงได้เพิ่มช่องถ่ายเทความร้อนหรือการไหลของแก๊สร้อนจำนวน 1 ชุด ความร้อนป้อนเข้าระบบใช้ความร้อนจากเศษไม้ลำไยร่วมกับไพโรไลซิสแก๊สที่เหลือจากกระบวนการผลิตถ่าน วัสดุที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพใช้แกลบกาแฟจากโรงงานผลิตและแปรรูปกาแฟในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ การทดลองได้ดำเนินการทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนทางตรงและแบบทางอ้อมกับเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียน ผลการศึกษาพบว่าการใช้ระบบการให้ความร้อนทางตรงจะทำให้เตาผลิตถ่านมีสมรรถนะทางพลังงานสูงกว่าการให้ความร้อนทางอ้อมในด้านของผลผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้ ในภาพรวมอุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านจะอยู่ในช่วง 400-500°C ผลผลิตถ่านที่ได้ 23.37% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาผลิตถ่าน 40.38% มีระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพสูงสุดประมาณ 7 h ถ่านชีวภาพที่ได้มีลักษณะสีดำสนิท เหมาะสำหรับการนำไปเป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเกษตรได้

คำสำคัญ: ชีวมวล ถ่านชีวภาพ เตาผลิตถ่าน กระบวนการไพโรไลซิส แกลบกาแฟ

บทนำ

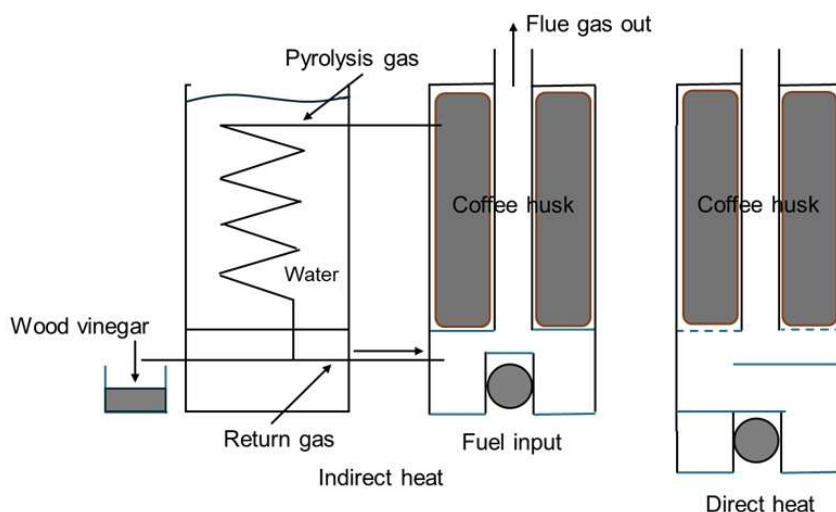
เตาผลิตถ่านขนาด 200 ลิตร ในปัจจุบันมีการออกแบบและพัฒนาให้มีสมรรถนะเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับเตาผลิตถ่าน แบบ 200 ลิตร แบบดั้งเดิม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน จากการวิเคราะห์เตาผลิตถ่านที่มีอยู่มีการพัฒนาสมรรถนะเพิ่มขึ้นทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ระบบการปล่อยควันหรือแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตถ่าน การนำเอาแก๊สหลังจากการควบแน่นน้ำส้มควันไม้มาดำเนินการเผาไหม้ซ้ำ และการออกแบบห้องปฏิกิริยาไพโรไลซิสเพื่อไม่ให้ความร้อนจากแหล่งความร้อนโดยตรง [1] การพัฒนาระบบการปล่อยควันหรือแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตถ่านมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณควันหรือแก๊สที่ปล่อยออกเตาผลิตถ่าน การพัฒนานี้มุ่งหวังเปลี่ยนควันหรือแก๊สที่ได้จากการผลิตถ่านให้เป็นของเหลวแทน ซึ่งก็คือ น้ำส้มควันไม้ ในส่วนของการนำเอาแก๊สหลังจากกระบวนการควบแน่นมาเผาไหม้ซ้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการกำจัดควันที่เกิดจากการผลิตถ่านทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการไปใช้ในชุมชนที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น แก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เมื่อได้รับความร้อนและออกซิเจนจะทำให้ลุกไหม้ได้และถ่านำความร้อนนี้มาใช้ประโยชน์ จะเป็นการนำเอาความร้อนทั้งหมดมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง ในด้านการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ไม่ต้องการให้เปลวไฟหรือความร้อนที่ป้อนสัมผัสกับชีวมวลผลิตถ่านได้โดยตรง การออกแบบลักษณะนี้มุ่งเน้นต้องการให้สารระเหยของชีวมวลที่ปล่อยออกมามีคุณสมบัติเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงและสามารถเผาไหม้ได้ [2] เมื่อเทียบกับโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เศษไม้ หรือกลุ่มเปลือกผลไม้ เป็นต้น เตาผลิตถ่านชนิดนี้สามารถดำเนินการกระบวนการไพโรไลซิสได้อย่างไม่มีปัญหาแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามเมื่อนำเตาผลิตถ่านชนิดนี้ไปทดลองใช้กับชีวมวลประเภท แกลบ ชี้เลื่อย แกลบกาแฟหรือวัสดุที่กองแล้วไม่มีช่องอากาศไหลผ่านได้หรือไหลผ่านยาก เตาผลิตถ่านชนิดนี้จะไม่สามารถทำงานหรือผลิตถ่านออกมาได้ กล่าวคืออุณหภูมิภายในเตาจะขึ้นช้ามาก และอุณหภูมิไพโรไลซิสในภาพรวมจะต่ำกว่าอุณหภูมิการผลิตถ่านทั่วไปซึ่งควรอยู่ในช่วง 400-500°C ผลที่ได้ชีวมวลจะไม่สามารถผลิตเป็นถ่านได้ทั้งหมด ที่สำคัญคุณภาพของถ่านต่ำและใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการให้ความร้อนสูงมาก เพื่อเป็นการทำให้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนสามารถผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุกลุ่มนี้ได้ จึง

จำเป็นต้องดัดแปลงระบบการให้ความร้อนเป็นแบบทางตรงเพิ่มรวมกับการให้ความร้อนแบบทางอ้อมของเตาชนิดเดิมที่มีอยู่แล้ว โดยมีการดัดแปลงเพิ่มเติมในส่วนของห้องเพิ่มความร้อนที่อยู่ด้านใต้ของเตาผลิตถ่าน เพื่อเป็นการยืนยันผลการดัดแปลงพัฒนา เตาผลิตถ่านให้มีสมรรถนะเพิ่มสูงขึ้นและทำงานได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการแสดงผลการประเมินสมรรถนะ เตาผลิตถ่านชีวภาพแบบแก๊สไหลเวียนที่ดัดแปลงระบบการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตถ่านเป็นการให้ความร้อนทางตรง เทียบกับเตาผลิตถ่านชีวภาพแบบแก๊สไหลเวียนดั้งเดิม (ใช้ระบบการให้ความร้อนทางอ้อม) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นประโยชน์และเป็นทางเลือกสำคัญสำหรับเกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป ในการตัดสินใจเลือกนำเอาเตาผลิตถ่านนี้ไปใช้ให้เหมาะกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่นตัวเองในอนาคต

วิธีการวิจัย

เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนและการดัดแปลง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนกับเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบให้ความร้อนทางอ้อม (Indirect heat) และทางตรง (Direct heat) เตาผลิตถ่านชนิดให้ความร้อนทางอ้อมคือเตาที่ให้ความร้อนจากการเผาเชื้อเพลิงเชื่อมวลผ่านผนังทั้งหมด 2 ด้าน คือจากผนังปล่องไฟหรือไอเสียกับผนังด้านพื้นของเตาผลิตถ่าน ความร้อนจากเปลวไปเชื่อมวลจะไม่สามารถสัมผัสกับชีวมวลที่ผลิตถ่านได้โดยตรงแต่ความร้อนจะถ่ายเทความร้อนผ่านผนังแผ่นโลหะแล้วไปหาชีวมวลแทน รูปภาพที่ 1 ประกอบ ส่วนเตาผลิตถ่านที่ให้ความร้อนทางตรงจะมีการเจาะรูให้แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านผนังรูเตาด้านล่างและให้ความร้อนจากแก๊สร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับชีวมวลได้โดยตรง ขณะที่เปลวไฟจะไม่สัมผัสกับชีวมวลเนื่องจากมีการทำห้องกันไฟล่างประมาณ 2 ชั้น ในภาพรวมส่วนประกอบของเตาผลิตถ่านประกอบด้วย ห้องปฏิกิริยาไพโรไลซิส ชุดควบคุมแน่นน้ำสัมน้ำมันและห้องเผาไหม้ชีวมวลเพื่อป้อนความร้อนเข้าระบบ ตรงกลางห้องเผาไหม้จะมีการติดตั้งปล่องไฟหรือแก๊สร้อนอยู่ตรงกลางเพื่อระบายควัน ที่ชุดควบคุมแน่นน้ำสัมน้ำมันจะทำท่อแยกเป็น 2 ทาง ด้านหนึ่งเป็นท่อปล่อยน้ำสัมน้ำมันออกจากเตาผลิตถ่านและอีกด้านจะนำมาต่อร่วมเข้าห้องเผาไหม้ชีวมวลเพื่อนำแก๊สที่เหลือจากกระบวนการผลิตถ่านมาเผาไหม้ซ้ำอีกครั้ง



ภาพที่ 1 เตาผลิตถ่านชีวภาพแบบแก๊สไหลเวียนที่นำมาทดสอบและดัดแปลง

กระบวนการไพโรไลซิสและหลักการการทำงานของเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียน

หลักการทำงานของเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนใช้กระบวนการคาร์บอนในเข้หรือกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในการผลิตถ่าน โดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าคือกระบวนการให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาวะปราศจากออกซิเจนหรือมีปริมาณออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหรือบางส่วนเท่านั้น กระบวนการผลิตถ่านเริ่มต้นด้วยการที่ชีวมวลรับความร้อนเข้าสู่ตัวเอง ความร้อนนี้จะเข้าไปทำให้ความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในชีวมวลระเหยออก โดยน้ำจะระเหยได้และถูกขับออกจากชีวมวล อุณหภูมิในเตาผลิตถ่านหรือห้องไพโรไลซิสต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 100°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงเกิน 100°C สารระเหยที่บางตัวที่อยู่ในเนื้อชีวมวลจะเริ่มสลายตัวและถูกขับออกมาภายนอกชีวมวล มวลของชีวมวลจะเริ่มลดลงและสูญเสียรูปร่าง [4] ที่อุณหภูมิ 150°C ส่วนประกอบของชีวมวลกลุ่มลิกโนเซลลูโลสจะเริ่มสลายตัว โดยที่อุณหภูมิ $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$ จะเป็นการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส และที่อุณหภูมิ $250\text{--}380^{\circ}\text{C}$ จะเป็นการสลายตัวของเซลลูโลส กลุ่มลิกนินเป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมีช่วงการสลายตัวที่กว้างที่สุด โดยการสลายตัวจะเริ่มเกิดขึ้นที่ $200\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ [4] ช่วงของการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสไปจนถึงลิกนิน ชีวมวลจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีดำสนิท การใช้งานเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนจะเริ่มต้นด้วยการใช้เชื้อเพลิงไม้ลำไยเผาให้ความร้อนทางด้านล่างของเตา ความร้อนจากไม้ลำไยจะถ่ายเทความร้อนให้กับชีวมวลที่อยู่ในห้องไพโรไลซิส ความชื้นและสารระเหยของชีวมวลจะไหลออกจากชีวมวลและลำไยเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบของไอหรือแก๊ส เมื่อผ่านเครื่องควบแน่นไอหรือแก๊สจะควบแน่นเป็นน้ำและน้ำส้มควันไม้ ในขณะที่แก๊สไม่ควบแน่นได้จะถูกลำไยเป็นไพโรไลซิสแก๊สและถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงหรือเผาไหม้ร่วมกับไม้ลำไยที่เผา

การเตรียมแกลบกาแฟและเชื้อเพลิงชีวมวลป้อนให้ความร้อน

แกลบกาแฟที่นำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ เป็นแกลบกาแฟที่ได้มาจากโรงงานบริษัทกาแฟชาวไทยภูเขา จำกัด ตั้งอยู่อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ภายใต้กิจกรรมพัฒนากระบวนการผลิตและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านชีวภาพ ภายใต้โครงการยกระดับธุรกิจ SME ด้วยการประยุกต์ใช้โมเดลเศรษฐกิจใหม่ BCG ประจำปีงบประมาณ 2568 ของศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ จังหวัดลำปาง ลักษณะของกาแฟจะมีลักษณะเป็น ผอยบางๆ สีน้ำตาล มีความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 218 kg/m^3 มีค่าความร้อนเฉลี่ย 15.95 MJ/kg ในส่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ป้อนให้ความร้อนเป็นเศษไม้ลำไยที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งของเกษตรกร มีการตัดและตากทิ้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน มีความหนาแน่นเฉลี่ย 635 kg/m^3 มีความค่าความร้อนเฉลี่ย 15.80 MJ/kg ในการผลิตถ่านชีวภาพแต่ละครั้งจะใช้แกลบกาแฟเฉลี่ย 22.70 kg/ครั้ง และเศษไม้เพื่อเผาให้ความร้อนเฉลี่ย $50\text{--}80\text{ kg}$

เครื่องมือวัดและการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักของเศษไม้ น้ำหนักถ่าน และเครื่องวัดอุณหภูมิการผลิตถ่าน การวัดน้ำหนักเศษไม้และถ่านชีวภาพที่ได้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลของ CST รุ่น CDR-30 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ค่าความละเอียด 1 g ในส่วนเครื่องวัดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการผลิตถ่านได้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิของ Lutron รุ่น BTM-4208SD ช่วงการวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 1300°C มีความละเอียด 0.1°C ใช้หัววัดอุณหภูมิ Type K มีการจัดวางหัววัดตามตำแหน่งแนวตั้งเตาผลิตถ่าน การวิเคราะห์ค่าความร้อนชีวมวลและถ่าน วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ยี่ห้อ LECO รุ่น AC500 สุดท้ายดำเนินการวิเคราะห์ผลผลิตถ่านที่ได้ (Charcoal yield: CY) ความหนาแน่นทางเชิงพลังงาน (Energy density: ED) ผลผลิตพลังงานที่ได้ (Energy yield: EY) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency: η_{th}) ดังสมการต่อไปนี้ [1]

$$CY = \frac{m_C}{m_R} \times 100 \quad (1)$$

$$ED = \frac{CV_C}{CV_R} \quad (2)$$

$$EY = CY \times ED \quad (3)$$

$$E_C = m_C \times CV_C \quad (4)$$

$$E_R = m_R \times CV_R \quad (5)$$

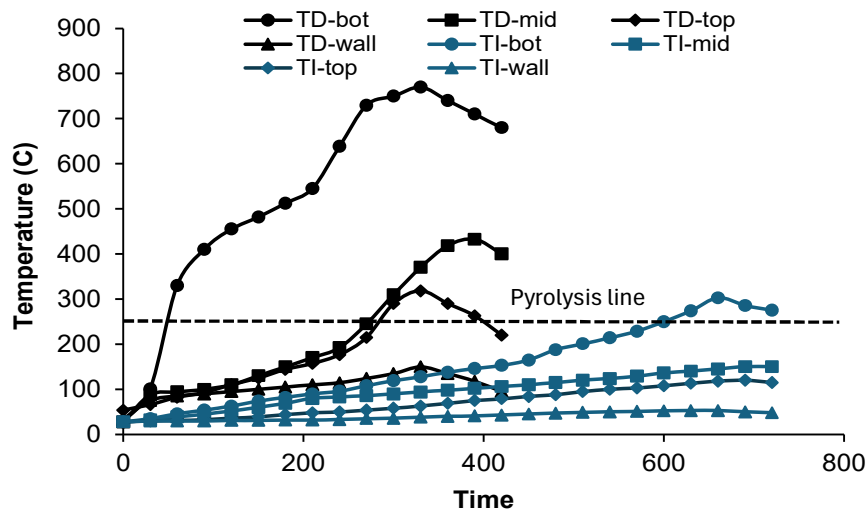
$$\eta_{th} = \frac{E_C}{E_R} \times 100 \quad (6)$$

กำหนด m_C, m_R คือมวลของถ่านที่ผลิตได้ (kg) และมวลของเศษไม้ที่นำมาผลิตถ่าน (kg) CV_C, CV_R ค่าความร้อนของถ่านที่ผลิตได้ (MJ/kg) และค่าความร้อนของเศษไม้ที่นำมาผลิตถ่าน (MJ/kg) E_C คือค่าพลังงานของถ่านที่ผลิตได้ (MJ) และ E_R ค่าพลังงานของเศษไม้ที่นำมาผลิตถ่าน (MJ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการให้ความร้อนทางอ้อมและทางตรงต่ออุณหภูมิเตา

ภาพที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบการให้ความร้อนทางอ้อมและทางตรงให้กับเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนเมื่อใช้แกลบกาแฟผลิตเป็นถ่านชีวภาพ การให้ความร้อนทางอ้อมโดยการถ่ายเทความร้อนจากผนังปล่องและพื้นที่ของเตาอย่างเดียวจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านเพิ่มสูงขึ้นค่อนข้างช้า โดยอุณหภูมิเฉลี่ยเตาที่จะทำให้ลิทโมสเปลี่ยนสีจะเริ่มต้นสลายตัวที่ 150°C เตาผลิตถ่านใช้เวลาสร้างอุณหภูมิสูงถึง 9 h สาเหตุที่อุณหภูมิของเตาผลิตถ่านเพิ่มขึ้นได้ช้าเนื่องจากแกลบกาแฟเมื่อบรรจุอยู่ในห้องปฏิกริยาไพโรไลซิสมีสองช่องหรือช่องอากาศที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ไม้ฟืนหรือวัสดุอื่นที่มีรูปร่างไม่เสถียร ด้วยรูปร่างของวัสดุที่มีความเสถียรและมีช่องว่างต่ำทำให้วัสดุก้อนนั้นมีลักษณะคล้ายเป็นฉนวนความร้อนจากจุดศูนย์กลางเตาหรือบริเวณปล่องไม่สามารถถ่ายเทแพร่กระจายไปยังด้านข้างได้หรือถ้าได้ก็ค่อนข้างต่ำมาก [5] ดังนั้นจึงทำให้ระยะเวลาการคายน้ำหรือไล่ความชื้นในภาพรวมทำได้ช้ามาก อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้ความร้อนทางตรงคือการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้หรือแก๊สร้อนป้อนเข้าสู่เตาผลิตถ่านโดยตรงทางด้านล่างด้วยอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่สูงร่วมกับความร้อนของผนังปล่องจะทำให้ประสิทธิภาพการไล่ความชื้นในแกลบกาแฟดีกว่าการใช้ความร้อนทางอ้อม อุณหภูมิการให้ความร้อนทางตรงที่สามารถทำให้ลิทโมสเปลี่ยนสีเริ่มต้นสลายตัวที่ 150°C เตาผลิตถ่านใช้เวลาสร้างอุณหภูมิประมาณ 1 h



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์อุณหภูมิเตาผลิตถ่านชีวภาพแบบให้ความร้อนทางตรงและทางอ้อม

การเปรียบเทียบระยะเวลาและผลผลิตถ่านชีวภาพที่ได้

การประเมินด้านมิติของเวลาในการผลิตถ่านชีวภาพ ชัดเจนแล้วว่าการใช้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบธรรมดาที่ไม่ผ่านกระบวนการดัดแปลงเพิ่มหรือการให้ความร้อนแบบทางอ้อมจะใช้ระยะเวลาในการผลิตถ่านสูงถึง 12 h หรือมากกว่านั้น ในขณะที่การใช้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนที่ทำการดัดแปลงห้องส่งถ่ายความร้อนทางตรงหรือการให้ความร้อนทางตรงจะใช้เวลาในการผลิตถ่านรวมไม่เกิน 7 h เท่านั้น การลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตถ่านลงจะช่วยลดต้นทุนด้านวัสดุที่ใช้เป็นแหล่งป้อนความร้อนและแรงงานได้ [6] ซึ่งต้นทุนทางด้านแรงงานเป็นปัจจัยสำคัญของการควบคุมต้นทุนการผลิตถ่านและในส่วนของคุณลักษณะผลผลิตถ่านชีวภาพที่ได้ การใช้เตาผลิตถ่านที่ให้ความร้อนแบบทางอ้อมจะได้ถ่านชีวภาพที่บางส่วนยังไม่แปรสภาพเป็นถ่านชีวภาพได้ทั้งหมด (ภาพซ้ายมือ) ในขณะที่ภาพขวามือ ลักษณะถ่านที่ได้จะมีสีดำสนิทและมีความเป็นคาร์บอนสูงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ปรับปรุงดิน



(Indirect heat)



(Direct heat)

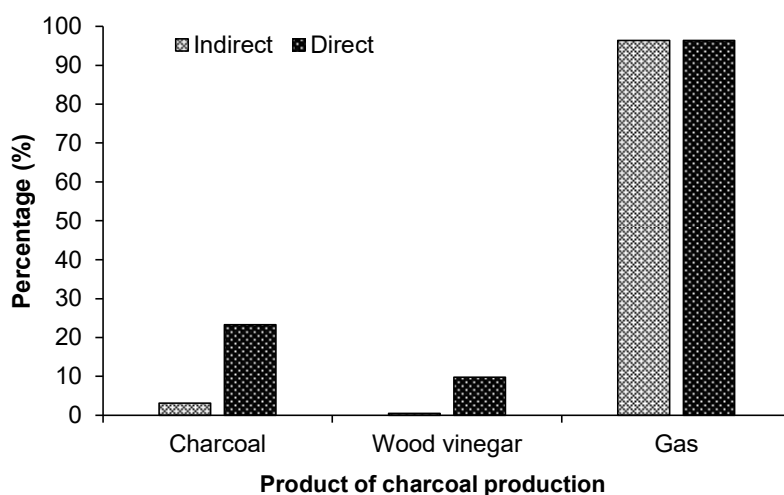
ภาพที่ 3 ลักษณะของถ่านชีวภาพจากแกลบกาแพที่ได้จากการให้ความร้อนทางอ้อมและทางตรง

การวิเคราะห์สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

ภาพที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิตที่ได้จากเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบการให้ความร้อนทางอ้อมและแบบดัดแปลงการให้ความร้อนทางตรง โดยพบว่าการให้ความร้อนทางตรงจะให้ผลผลิตถ่านชีวภาพคิดเป็น 23.37% ได้ผลผลิตในส่วนของเหลว (น้ำส้มควันไม้) 9.80% แก๊สที่เหลือทั้งหมดจะเป็นแก๊สที่ถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อนร่วมกับไม้ลำไย เมื่อพิจารณาในส่วนของการใช้ความร้อนทางอ้อมได้ผลผลิตถ่านคิดเป็น 3.11% ได้ของเหลวหรือน้ำส้มควันไม้ประมาณ 0.50% และแก๊สที่เหลือประมาณ 96.40% ถูกป้อนเข้าห้องเผาไหม้ให้ความร้อนทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตที่จำเป็นต้องได้คือ ถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ ก็พบว่าในส่วนของเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนที่ให้ความร้อนทางตรงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเตาทั้งหมด 2 ส่วน คือ ในส่วนของตัวเตาผลิตถ่านและระบบควบแน่นของเหลว โดยในส่วนของตัวเตาผลิตถ่านจำเป็นต้องสร้างกลไกที่ทำให้กลบกาแฟเกิดการเคลื่อนที่ซึ่งจะทำให้เกิดการสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7] และระยะเวลาการผลิตจะสั้นลง ในส่วนของระบบควบแน่นจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการควบแน่นให้สูงขึ้นกว่าเดิม เช่น การใช้ระบบน้ำไหลวนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน [8] เป็นต้น

การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานเตาผลิตถ่านชีวภาพจากกลบกาแฟ

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานของการใช้เตาผลิตถ่านชีวภาพจากกลบกาแฟ เนื่องจากกลบกาแฟมีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบาเมื่อบรรจุลงถังขนาดปริมาตร 200 L จะมีมวลกลบกาแฟอยู่ในเตาประมาณ 22.70 kg ในการศึกษาเปรียบเทียบการให้ความร้อนทางตรงได้ผลผลิตถ่านชีวภาพ (Charcoal yield) เฉลี่ย 5.31 kg ในขณะที่ การให้ความร้อนทางอ้อมได้ผลผลิตถ่านชีวภาพเฉลี่ย 0.71 kg คิดเป็นผลผลิตถ่านที่ได้เฉลี่ย 23.37% และ 3.11% ในส่วนของความหนาแน่นทางพลังงาน (Energy density) หรืออัตราส่วนค่าความร้อนถ่านที่ผลิตได้ต่อค่าความร้อนของชีวมวลก่อนการผลิตถ่าน การให้ความร้อนทางตรงให้ความหนาแน่นทางพลังงานเฉลี่ย 1.73 ในขณะที่ การให้ความร้อนทางอ้อมให้ความหนาแน่นทางพลังงานเฉลี่ย 1.49 และเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ของการให้ความร้อนทางตรงและทางอ้อมจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 40.38% และ 4.63% ตามลำดับ



ภาพที่ 4 สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานของการใช้เตาผลิตถ่านชีวภาพจากแกลบกาแฟ

Output	Direct	Indirect
Mass of biomass (kg)	22.70	22.70
Charcoal yield (kg)	5.31	0.71
Charcoal yield (%)	23.37	3.11
Energy density	1.73	1.49
Energy yield (%)	40.38	4.63
Energy input (MJ)	362	362
Energy output (MJ)	146	17
Thermal efficiency (%)	40.38	4.63

สรุปผลการวิจัย

ในภาพรวมของการผลิตถ่านชีวภาพจากแกลบกาแฟจำเป็นต้องใช้หลักการให้ความร้อนทางตรงกับเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียน ซึ่งผลจากการดัดแปลงเตาผลิตถ่านและการทดสอบการให้ความร้อนทางตรงสามารถลดระยะเวลาการผลิตถ่านลงได้มากกว่า 40% ที่สำคัญการให้ความร้อนโดยตรงทำได้ผลผลิตถ่านชีวภาพ ความหนาแน่นทางพลังงาน และประสิทธิภาพทางความร้อนโดยรวมสูงกว่าการให้ความร้อนทางอ้อมหรือการใช้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบดั้งเดิมมากกว่า 7.7 เท่า ในด้านคุณภาพของถ่านเมื่อมองจากลักษณะของสีถ่านชีวภาพด้วยการให้ความร้อนทางตรงพบว่าสีดำสนิท ไม่มีแกลบกาแฟในส่วนที่เป็นชีวมวลหลงเหลืออยู่เลย อย่างไรก็ตามเพื่อให้เตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียนแบบใช้ความร้อนทางตรงมีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็จำเป็นต้องทำให้แกลบกาแฟมีการขยับหรือเคลื่อนตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในส่วนของการเก็บน้ำส้มควันไม้ก็จำเป็นต้องใช้ในการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและใช้น้ำเย็นหรือน้ำอุณหภูมิต่ำไหลวนเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ จังหวัดลำปาง ที่สนับสนุนงบประมาณการดำเนินโครงการกิจกรรมพัฒนาระบบการผลิตและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านชีวภาพ ภายใต้โครงการยกระดับธุรกิจ SME ด้วยการประยุกต์ใช้โมเดลเศรษฐกิจใหม่ BCG ประจำปีงบประมาณ 2568 และได้มาซึ่งผลการศึกษาวิจัยในบทความนี้ ขอขอบคุณ บริษัทกาแฟชาวไทยภูเขา จำกัด (ฮิลล์คอฟฟี่) สนับสนุนเตาผลิตถ่านแบบแก๊สไหลเวียน (ดั้งเดิม) และวัสดุแกลบกาแฟ เพื่อการทดสอบ ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่สนับสนุนเครื่องมือและพื้นที่การทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณิต มานะธูระ และอุกฤต สมัครสมาน. (2022). สมรรถนะของเตาไพโรไลซิสกะลามะพร้าวชนิดให้ความร้อนด้วยตนเอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. 11(2), 13-20.
- [2] Kryshtopa, S., Kryshtopa, L., Panchuk, M., Smigins, R., and Dolishnii, B. (2021). Composition and energy value research of pyrolise gases. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 628, 012008, 1-11.
- [3] นิกราน หอมดวง พันธวัฒน์ ไชยวรรณ ภูนิทัต สายแก้ว ประภัสสร รัตนไพบูลย์ กิตติกร สาสุจิตต์ เสริมสุข บัวเจริญ นงเยาว์ หอมดวง ยิ่งรัก อรรถเวชกุล และ ชูรัตน์ ธารารัตน์. (2020). การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 4(1), 47-53.
- [4] Diez, D., Urueña, A., Piñero, R., Barrio, A., and Tamminen, T. (2020). Determination of hemicellulose, cellulose, and lignin content in different types of biomasses by thermogravimetric analysis and pseudocomponent kinetic model (TGA-PKM method). *Processes*, 8(9), 1048, 1-21.
- [5] Raeisian, L., Mansoori, Z., Hosseini-Abardeh, R., and Bagherzadeh, R. (2013). An investigation in structural parameters of needle-punched nonwoven fabrics on their thermal insulation property. *Fibers and Polymers*, 14(10), 1748-1753.
- [6] อาคม ปะหลามานิต พิสิฐ ทรงเลิศ ภคินี ชงไชย รวิสุตา แดงเปีย และสุเมธ ไชยประพัทธ์. (2020). ชนิดและสัดส่วนตัวประสานต่อคุณภาพถ่านกะลาตาลโตนดอัดแท่งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(6), 1107-1125.
- [7] Panwar, N. L. (2024). Pyrolysis technologies for biochar production in waste management: a review. *Clean Energy*, 8(4), 61-78.
- [8] Than, P., and Suluksna, K. (2019). Experiment on Influent Parameters on Wood Vinegar Burning Process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 501, 012066, 1-20.