

สมบัติของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านผสมกากกาแฟใช้แล้วเพื่อเป็น เชื้อเพลิงทดแทน

Properties of Charcoal Briquettes from Charcoal Scraps Mixed with Spent Coffee Grounds as An Alternative Fuel

สถาพร คำหอม^{1*}
Sataporn Komhom^{1*}

Received: 23 November 2023

Revised: 14 March 2024

Accepted: 1 July 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง กรรมวิธีการผลิตใช้เศษถ่านหลังจากการเผาวัสดุชีวมวลนำมาผ่านการคัดเลือกจากตะแกรงร้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 2.36 มิลลิเมตร ผสมกับกากกาแฟใช้แล้วที่ทิ้งจากเครื่องชงกาแฟแรงดันไอน้ำ โดยนำไปอบให้แห้งก่อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษถ่าน กากกาแฟและกาวแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก รวมทั้งเปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่ผสมกลีเซอรินและผสมกลีเซอรินลงในกาวแป้ง หลังจากการวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งแล้วพบว่าที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษถ่านต่อกากกาแฟเท่ากับ 3:1 และ 3:2 และมีการผสมกลีเซอรินลงไปในการแปรงเป็นเงื่อนไขที่มีความเป็นไปได้ที่จะเลือกใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งที่สามารถใช้งานได้ดี โดยมีค่าพื้นที่ผิว 7.95 และ 4.97 m²/g ความหนาแน่น 467.36 และ 484.09 kg/m³ เปอร์เซ็นต์การแตกหัก 2.22% และ 1.45% และมีค่าความร้อน 23.43 และ 21.84 MJ/kg ตามลำดับ การทดสอบการให้ความร้อนกับน้ำ 500 g ด้วยถ่านอัดแท่งจำนวน 4 แท่ง พบว่าอัตราส่วน 3:1 และ 3:2 ที่ผสมกลีเซอรินให้อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 71 และ 66 °C ตามลำดับ และตัวอย่างทั้งสองมีระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 20 นาทีเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่อัตราส่วนเดียวกันที่ไม่ผสมกลีเซอริน

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง เศษถ่าน กากกาแฟใช้แล้ว กลีเซอริน

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี ประเทศไทย 12000

¹ Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand 12000

* ผู้รับพรบประมาณงาน (Corresponding author) e-mail: sataporn.k@rsu.ac.th

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the properties of charcoal briquettes produced using charcoal scraps after burning biomass materials through a selection of sieves smaller than 2.36 mm, mixed with spent coffee grounds discarded from steam-pressurized coffee machines, dried at 110 °C for 24 h. The experiment was designed by varying the weight ratio of charcoal scraps, coffee grounds, and starch glue at a concentration of 5% by weight and comparing all samples without glycerin and with glycerin mixed into starch glue. After analyzing the properties of the charcoal briquettes, the results showed that the weight ratio of charcoal scraps to coffee grounds was 3:1 and 3:2 by mixing glycerin into the starch glue as a possible condition for producing charcoal briquettes with suitable properties. It had a surface area of 7.95 and 4.97 m²/g, a density of 467.36 and 484.09 kg/m³, a fracture percentage of 2.22% and 1.45%, and a heating value of 23.43 and 21.84 MJ/kg, respectively. A test of heating 500 g of water with four charcoal briquettes found that the 3:1 and 3:2 weight ratios mixed with glycerin revealed the highest temperatures of 71 and 66 °C, respectively, and both samples had an additional heating time of approximately 20 min compared to samples with the same weight ratio without glycerin added.

Keywords: Charcoal briquettes; Charcoal scraps; Spent coffee grounds; Glycerin

บทนำ

ในปัจจุบันการบริโภคทรัพยากรพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมและจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติและต่อชีวิตของผู้คนบนโลก คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้รายงานไว้ในอีกสองทศวรรษข้างหน้าโลกจะเผชิญกับอันตรายด้านสภาพภูมิอากาศหลายประการอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับภาวะที่โลกจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1.5 °C ความพยายามในการแก้ปัญหาเพื่อหลีกเลี่ยงภัยพิบัตินั้นเริ่มจากการพิจารณาพลังงานหมุนเวียนคือ น้ำ ลม แสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล ซึ่งประเทศไทยมีกำลังการผลิตสูงสุดในภูมิภาคอาเซียน โดยมีปริมาณมากกว่า 7,833 MW โดยแบ่งเป็นพลังงานลม 1,018 MW พลังงานแสงอาทิตย์ 2,720 MW และพลังงานชีวมวลอีกกว่า 4,095 MW ในช่วงเวลาเริ่มต้นนั้นต้นทุนการผลิตพลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมยังอยู่ในระดับที่สูง แต่การพัฒนาอย่างต่อเนื่องเรื่อยมาทำให้ต้นทุนการผลิตค่อยๆ ลดลง ในปีพ.ศ. 2561 ได้อยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันกับพลังงานประเภทฟอสซิลได้โดยต้นทุนของพลังงานแสงและพลังงานลมอยู่ที่ 0.085 และ 0.06 USD/kW-h ตามลำดับ อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีสัดส่วนของพลังงานชีวมวลมากที่สุด ดังนั้นการนำวัสดุชีวมวลมาใช้จึงเป็นคำตอบที่เหมาะสมสำหรับประเทศกำลังพัฒนาที่มีของเสียจากการเกษตรซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานแบบไร้ต้นทุนในท้องถิ่นได้และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [1, 2]

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ทำให้ความต้องการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด สำหรับประเทศไทยภาพรวมการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายในช่วงปี พ.ศ. 2562 – 2566 เพิ่มขึ้น 1.2% เมื่อรวมการใช้ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2566 คิดเป็น 1,476 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน ในส่วนของพลังงานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม เช่น LPG มีแนวโน้มการใช้ในภาคครัวเรือนเพิ่มขึ้นทุกปีในเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 มีการใช้ทั้งหมด 520 พันตันต่อเดือน โดยภาคครัวเรือนมีการใช้คิดเป็นสัดส่วนถึง 35% ของการใช้ทั้งหมด [3] การหาแหล่งพลังงานทดแทนหรือการเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งพลังงานจะช่วยเพิ่มประสิทธิผลในการใช้งานพลังงานจากวัสดุชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าพลังงานรูปแบบอื่นๆ และมีลักษณะตรงกันข้ามกับพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีปริมาณจำกัดและมีราคาสูงขึ้นโดยตลอดความสามารถในการใช้วัสดุชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานช่วยทำให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น การอนุรักษ์ทรัพยากรเชื้อเพลิงฟอสซิล การช่วยลดต้นทุนทางการเงิน รวมถึงลดการปล่อยก๊าซ CO₂ และ NO_x และเนื่องจากความหลากหลายของวัสดุชีวมวล จึงทำให้มีความน่าสนใจในการศึกษาวิจัยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน วัสดุชีวมวลบางชนิด เช่น เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม มีศักยภาพที่ดีในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิงแข็งโดยการอัดเป็นแท่ง [4, 5] ด้วยวิธีการผลิตที่ทำได้ง่ายและสามารถปรับใช้ให้มีความเหมาะสมกับวัสดุได้หลายชนิด อีกทั้งให้ค่าความร้อนสูงทำให้พลังงานชีวมวลในลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมมูลค่าทางเศรษฐกิจได้เป็นอย่างดี [6]

แนวทางการทำวิจัยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลมีจำนวนมากและมีหลายมุมมอง มีการศึกษาถึงปัจจัยของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต โดยเมื่อมีการใช้ความดันในการอัดแท่งแตกต่างกันจะส่งผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพอัดแท่ง [7] การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการอบแห้งถ่านอัดแท่ง [8] การออกแบบเครื่องทดสอบความแข็งแรงทางกลของเชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่ง [9] และในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุชีวมวลโดยตรงจะมีทั้งรูปแบบมีการเผาและไม่มีการเผา และการผสมวัสดุชีวมวลกับเศษถ่านก่อนนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยศึกษาลักษณะของเศษถ่านซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การเผาวัสดุชีวมวลหรือประเภทของชีวมวลที่ใช้ทำให้ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะโดยตรง กำลังอัดที่ใช้ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมความเป็นรูพรุนในแท่งถ่าน ปริมาณและชนิดของตัวประสานที่ใช้อัดแท่งและตัวแปรสุดท้ายคือการใช้อัตราส่วนการผสมที่แตกต่างกันก็จะส่งผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งด้วยเช่นกันโดยทั่วไปสมบัติของถ่านอัดแท่งที่ดีควรจะเป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้ (ก) มีความหนาแน่นของรูปทรง (ข) มีขนาดและรูปทรงที่เหมาะสมกับการใช้งาน (ค) เก็บไว้ได้นานโดยไม่เสื่อมคุณภาพ (ง) ติดไฟได้ง่าย (จ) ไม่ปล่อยควันพิษจากการเผาไหม้โดยเฉพาะสำหรับภาคครัวเรือน (ฉ) มีลักษณะของการเผาไหม้ที่ดี (ให้เวลานานอัตราการเผาไหม้ที่เสถียรและอุณหภูมิการเผาไหม้สูง) [10-13]

ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ยังมีความต้องการใช้อย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน โดยทั่วไปการผลิตเริ่มจากการบดถ่านแล้วนำมาขึ้นรูปอีกครั้งด้วยรูปทรงที่แน่นอนเพื่อความสะดวกในการขนส่งรวมถึงการลดต้นทุนจากการใช้ถ่าน ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดน้อยลง ถ่านเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนที่ให้ค่าความร้อนสูงและสามารถจุดติดไฟได้เป็นเวลานาน แต่ในอดีตต้องพึ่งพาทรัพยากรไม้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการเผาเพื่อให้ได้ถ่านซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีความต้องการใช้มากกว่าการจัดหาได้อย่างเพียงพอ และในกระบวนการเผาเป็นการใช้อุณหภูมิสูงในสภาวะอับอากาศซึ่งเกิดผลิตภัณฑ์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ปริมาณสูงทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้เมื่อนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแล้วยังคงเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมดนี้สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ถ่านมีต้นทุนที่สูงเพียงใด ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีความพยายามใช้สิ่งอื่นเพื่อมาทดแทนหรือช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านี้เช่นการ

พัฒนาถ่านชีวภาพอัดแท่งที่ได้จากวัสดุชีวภาพหรือชีวมวลหลายชนิด เช่น เศษไม้ กิ่งไม้ ใบไม้ หญ้าแห้งหรือขยะทางการเกษตร แม้ว่าวัสดุเหล่านี้จะสามารถแปรรูปเป็นถ่านชีวภาพได้จริงและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ไม่ด้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีความแพร่หลายมากนักเพราะวัสดุชีวมวลบางชนิด เช่น เศษวัสดุจากพืชที่มีความหนาแน่นต่ำจะทำให้การเผาไหม้ที่เร็วเกินไป ดังนั้นจึงยังไม่ใช่วัสดุที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกได้เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้องมีกระบวนการวิจัยเพื่อหาผลเฉลยต่อไป [14]

ตัวอย่างงานวิจัยโดยส่วนใหญ่จึงได้ศึกษาการนำวัสดุชีวมวลมาผสมกับเชื้อเพลิงหลักซึ่งก็คือถ่านเนื่องจากสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำและมียังมีองค์ประกอบของสารระเหยสูงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แม้ว่าจะพยายามใช้กระบวนการอัดแท่งช่วยทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยก็ตามการศึกษาของ Alexandr Nikiforov และคณะเกี่ยวกับการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งพบว่าการผสมวัสดุชีวมวลเปลือกดอกทานตะวันลงในถ่านสามารถปรับปรุงสมบัติทั้งทางกายภาพและการเผาไหม้ได้ งานวิจัยอื่นๆที่ศึกษาใกล้เคียงกันคือการใช้เปลือกถั่วลิสงผสมถ่านโดยใช้แป้งเป็นสารยึดเกาะและเติม Ca(OH)_2 เพื่อเป็นสารกำจัดซัลเฟอร์ งานวิจัยนี้ได้รายงานสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนดังนี้ ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 2.43–6.44% กำลังอัดอยู่ในช่วง 7.72–10.85 N/mm² ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 24.18–29.15% ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 21,714.17–25,027.18 kJ/kg ปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 16.77–53.22% เวลาในการจุดติดไฟอยู่ในช่วง 22.23–45.20 s และอัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 16.10–28.32 g/min โดยอัตราส่วนของถ่านและเปลือกถั่วลิสงที่ 60:40 ให้กำลังอัดสูงถึง 10.85 N/mm² มีค่าความร้อนสูง 23,628.83 kJ/kg เวลาในการจุดติดไฟน้อยกว่า 35.76 s และเวลาในการเผาไหม้ 22.56 min ผลลัพธ์ทั้งหมดนี้แสดงถึงถ่านชีวภาพอัดแท่งที่มีสมบัติทางความร้อนที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี [1,15]

เนื่องจากความหลากหลายของวัสดุชีวมวลจึงทำให้งานวิจัยทางด้านนี้ยังคงค้นพบความรู้ใหม่อยู่เรื่อยๆ ในปัจจุบันนี้กากกาแฟใช้แล้วเป็นวัสดุชีวมวลที่มีความน่าสนใจเพราะเครื่องต้มกาแฟได้รับความนิยมและมีการบริโภคในแต่ละปีสูงมาก เป็นสินค้าโภคภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากที่สุดในโลกและมีการซื้อขายมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากปิโตรเลียม [16] กากกาแฟใช้แล้วที่เกิดขึ้นหลังจากการผ่านด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูงเพื่อควบแน่นเป็นน้ำกาแฟเมื่อนำไปทำให้แห้งหรือมีความชื้นต่ำประมาณ 8-10% พบว่ามีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูงอยู่ระหว่าง 18.8 ถึง 26.9 MJ/kg [17] และมีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอนที่สูงถึง 54% และความชื้นของคาร์บอนอาจเพิ่มขึ้นเป็น 78.82% เมื่อผ่านกระบวนการเผาแล้วอัดแท่ง [18] ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาการผสมวัสดุชีวมวลกากกาแฟใช้แล้วกับเศษถ่านและใช้กาบแปงเป็นตัวประสานอัดขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่ง ด้วยแนวคิดที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือใช้กรรมวิธีการผลิตที่มีต้นทุนของพลังงานเข้าใกล้ศูนย์ สามารถทำตามได้ง่ายเพื่อประโยชน์ในระดับชุมชนซึ่งอยู่ใกล้แหล่งวัสดุชีวมวลจำนวนมากและไม่ได้มีความพร้อมทางเครื่องมือขั้นสูง การวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งจะเน้นที่ตัวแปรสำคัญที่จะนำไปต่อยอดในทางการค้าซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าความหนาแน่น ความทนต่อการแตกหัก ประสิทธิภาพการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและค่าความร้อนด้วยเครื่องมือที่มีมาตรฐานยังคงมีความจำเป็นในการวิจัยเชิงลึกทางวิศวกรรมเพื่อให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมบางอย่างมากขึ้น ขอบเขตของงานวิจัยนี้มีการศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษถ่านกากกาแฟใช้แล้วและกาบแปงเพื่อหาเงื่อนไขที่สามารถผลิตถ่านอัดแท่งให้มีสมบัติเหมาะสมได้ รวมถึงการพัฒนาสมบัติของถ่านอัดแท่งด้วยการผสมกลีเซอรินซึ่งมุ่งหมายให้ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวช่วยประสานและส่งเสริมค่าความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุประสงค์และสารเคมี

เศษถ่านได้มาหลังจากกระบวนการเผาถ่านจากไม้มะม่วงและไม้กระถินที่หมู่บ้านเนินตะเคียน ต.หนองพลับ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ กากกาแฟใช้แล้วจากเครื่องชงกาแฟแรงดันไอน้ำ แป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร และกลีเซอรินเหลวจาก บริษัท ฮงฮวด จำกัด

2. ขั้นตอนการเตรียมการแบ่งความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ชั่งแป้งมันสำปะหลัง 5 g และชั่งน้ำ 95 g ผสมลงในบีกเกอร์แล้วคนให้เข้ากันนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 min พร้อมคนตลอดเวลา จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำไปผสมกับเศษถ่านที่เตรียมไว้

3. ขั้นตอนการเตรียมถ่านอัดแท่ง

3.1 นำกากกาแฟใช้แล้วจากเครื่องชงกาแฟแรงดันไอน้ำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 hr (เปรียบเทียบกับน้ำหนักหลังการอบแห้งที่เวลา 48 hr แล้วมีค่าใกล้เคียงกัน)

3.2 นำเศษถ่านมาคัดเลือกผ่านตะแกรงร่อนเพื่อคัดแยกขนาด โดยเลือกใช้ขนาดที่เล็กกว่า 2.36 mm (8 Mesh)

3.3 ผสมเศษถ่านกากกาแฟใช้แล้วการแบ่งตามอัตราส่วนใน Table 1 (สำหรับการผสมกลีเซอรินจะผสมลงในกาแบ่งที่อัตราส่วนร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนของกาแบ่งจะมีการปรับให้มีความเหมาะสมทุกอัตราส่วนของเศษถ่านต่อกากกาแฟ โดยทดสอบการจับตัวของส่วนผสมหลังจากอัดเป็นแท่งเสร็จทันทีด้วยการปล่อยตกจากความสูง 50 cm จำนวน 3 ครั้งแล้วไม่เกิดการแตกตัว

3.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 70 g อัดเป็นแท่งทรงกระบอกโดยใช้กำลังอัดต่ำประมาณ 8 kPa (0.082 kg/cm²) ด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4.8 cm ภายใน 4.5 cm ความยาว 12.5 cm ช่องสำหรับใส่ส่วนผสมเพื่อทำการอัดมีความยาว 8.5 cm โดยมีนอตตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm ยาว 6.5 cm เพื่อทำเป็นช่องว่างตรงกลาง

3.5 นำถ่านอัดแท่งไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 วัน

Table 1 Minimum weight ratio of spent coffee grounds, charcoal scraps and starch glue

Samples	Minimum weight ratio		
	Charcoal scraps	Spent coffee grounds	Starch glue
cha:cof=3:0	3	0	3.6
cha:cof=3:1	3	1	5.6
cha:cof=3:2	3	2	9
cha:cof=3:3	3	3	10
cha:cof=0:3	0	3	4.5

4.การวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง

4.1 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวถ่านอัดแท่งจำนวน 10 แท่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาคำนวณค่าความหนาแน่น

$$\text{สูตร } d = m / V$$

เมื่อ

d ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (kg/m^3)

m มวลของถ่านอัดแท่ง (kg)

V ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (m^3)

4.2 การวิเคราะห์การแตกหัก

การวิเคราะห์การแตกหักโดยการปล่อยตกจากที่สูง [19] เพื่อหาความทนทานต่อการแตกหักของถ่านอัดแท่งในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน วิธีการทดสอบเริ่มจากนำถ่านอัดแท่งจำนวน 1 แท่งมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปใส่ถุงพลาสติกบางแล้วปล่อยจากที่สูง 2 m ลงสู่พื้นซีเมนต์จำนวน 3 ครั้ง นำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 12.5 mm 9.5 mm และ 4.75 mm นำเศษถ่านแต่ละชั้นของตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าดัชนีการแตกร่วนหรือดัชนีการแตกละเอียดการทดสอบจะทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย สูตร % ปริมาณการแตกหัก = (น้ำหนักในชั้นตะแกรง/น้ำหนักทั้งหมด) $\times$ 100%

4.3 การทดสอบการส่งผ่านพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งไปยังน้ำ

นำถ่านอัดแท่งจำนวน 4 แท่ง ไปติดไฟโดยลนด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์เป็นเวลา 4 min จากนั้นนำไปวางในเตาดินเผาและวางปิกเกอร์ใส่น้ำ 500 g บนตะแกรง ดังรูป Figure 1 ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 2 min โดยเริ่มบันทึกค่าที่อุณหภูมิ 40°C ให้ความร้อนต่อเนื่องจนกระทั่งถ่านทั้งหมดถูกเผาไหม้จนหมด ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิของน้ำลดลงมาที่อุณหภูมิเริ่มต้น ทำการชั่งน้ำหนักของน้ำที่เหลืออยู่ในปิกเกอร์ โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจะส่งผ่านไปยังน้ำ 500 g ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันจะมีน้ำบางส่วนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอโดยปริมาณความร้อนทั้งหมดที่น้ำได้รับสามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$Q = m_w c_p \Delta T + m_e L \quad (1)$$

เมื่อ

Q ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่น้ำได้รับ (kJ)

m_w มวลของน้ำที่ได้รับความร้อน (kg)

m_e มวลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ (kg)

c_p ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ $4.1796 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

L ความร้อนแฝงของน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ $2,406 \text{ kJ/kg}$

ΔT อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^\circ\text{C}$)

หมายเหตุ: ค่า c_p และ L ของน้ำจะใช้ที่อุณหภูมิแต่ละช่วงเวลาที่บันทึกค่า

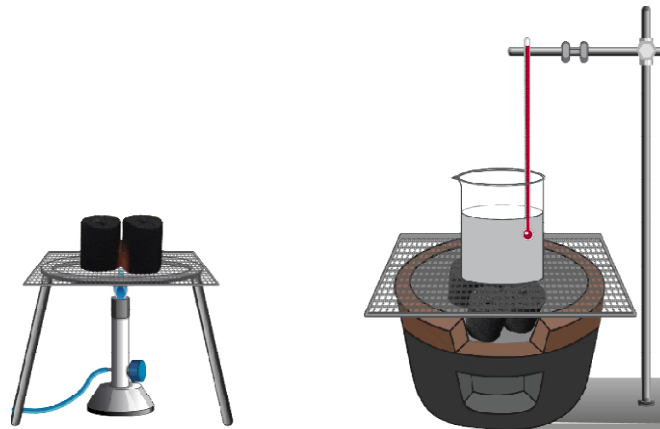


Figure 1 Charcoal briquette heating test

4.4 เครื่องมือวิเคราะห์

การหาค่าพื้นที่ผิวด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว BEL JAPAN, INC จาก บริษัท โปรดัคทีฟ แวกคัม เทคโนโลยี จำกัด และวิเคราะห์ค่าความร้อนจากศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Thailand Institute of Scientific and Technological Research, TISTR) จ.ปทุมธานี

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง

การผลิตถ่านอัดแท่งได้กำหนดน้ำหนักของทุกตัวอย่างที่ใช้ในการอัดแท่งเท่ากัน 70 g จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 วัน โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 10 แท่งทุกวันแล้วหาค่าเฉลี่ยแสดงข้อมูลใน Table 2 จากการสังเกตค่าน้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่ไม่ผสมกลีเซอริน ผลปรากฏว่าในช่วง 2 วันแรก น้ำหนักจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยเป็นการระเหยของน้ำที่เป็นตัวทำละลายในกาบแป้ง ทำให้ถ่านอัดแท่งในสภาวะเริ่มต้นมีความชื้นสูง น้ำหนักของถ่านอัดแท่งจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไป เปรียบเทียบทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษถ่านต่อกากกาแฟจะให้ผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ตัวอย่างอัตราส่วน cha:cof=3:0 หรือตัวอย่างที่เป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวมีค่าน้ำหนักโดยเฉลี่ยในช่วง 3 วันสุดท้ายหรือน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 34.5 g ในตัวอย่างอื่นๆ เมื่อเริ่มมีการผสมกากกาแฟลงไปจะส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่าง cha:cof=3:0 เช่นตัวอย่าง cha:cof=3:1 มีค่าเท่ากับ 31.6 g โดยที่ตัวอย่าง cha:cof=3:2 cha:cof=3:3 และ cha:cof=0:3 จะให้ค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันมีค่าเท่ากับ 27.2 27.8 และ 28.8 g ตามลำดับ (พิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดกับค่าเฉลี่ยพบว่ามี ความแตกต่างกันไม่เกิน 5%) นั่นหมายความว่าสามารถผสมกากกาแฟในปริมาณมากได้โดยที่ไม่ได้มีผลต่อการลดลงของน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยหลังผ่านการอบแห้ง และเมื่อพิจารณาต่อไปถึงค่าน้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่ผสมกลีเซอรินจะเห็นได้ชัดเจนว่าให้ผลลัพธ์และแนวโน้มใกล้เคียงกันกับตัวอย่างที่ไม่มีการผสมกลีเซอรินทุกประการ แตกต่างกันตรงที่น้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งที่ผสมกลีเซอรินจะมีค่าสูงกว่า เช่นตัวอย่าง

cha:cof=3:0 จะมีค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 38.1 g สูงกว่าตัวอย่างที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเดียวกันที่ไม่ได้ผสมกลีเซอริน และค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยของตัวอย่าง cha:cof=3:1 cha:cof=3:2 cha:cof=3:3 และ cha:cof=0:3 ที่ผสมกลีเซอรินมีค่าเท่ากับ 34.7 31.1 31.7 และ 30.8 g ตามลำดับ สาเหตุที่ค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการผสมกลีเซอรินนั้นเป็นเพราะกลีเซอรินมีความหนาแน่นและจุดเดือดสูงกว่าน้ำจึงยังคงหลงเหลืออยู่ในโครงสร้างไม่ได้ระเหยออกไป งานวิจัยนี้เลือกใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงเพราะตั้งใจให้สามารถเทียบเคียงอุณหภูมิจากแสงแดดได้ ถ้าในกรณีที่ชุมชนไม่มีอุปกรณ์การอบแห้งอาจจะใช้การทำให้แห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติได้โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 3 – 5 วัน

Table 2 Average weight of charcoal briquettes after drying

Conditions	Weight ratio (charcoal:scrap:spent coffee grounds)	Average weight of charcoal briquettes (g)					Average constant weight(last 3 days)
		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	
Not mix glycerin	3:0	51.8	40.4	34.2	34.5	34.8	34.5
	3:1	49.4	32.8	31.4	31.8	31.5	31.6
	3:2	41.8	28.5	27.1	27.3	27.1	27.2
	3:3	29.4	27.7	27.8	27.6	28.0	27.8
	0:3	49.8	37.5	28.6	28.8	29.0	28.8
Mix glycerin	3:0	59.2	46.1	39.4	37.5	37.4	38.1
	3:1	44.2	34.4	34.8	34.5	34.8	34.7
	3:2	33.9	31.1	30.9	31.1	31.4	31.1
	3:3	35.2	32.1	31.4	31.7	32.0	31.7
	0:3	51.5	30.6	30.6	30.9	30.8	30.8

Note: Starting weight of all samples is equal to 70 g

เพื่อช่วยให้การอธิบายลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนักได้ถูกนำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนทั้งหมด และขนาดของรูพรุนโดยเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์แสดงดัง Table 3 งานวิจัยนี้ใช้เศษถ่านที่มีขนาดเล็กกว่า 2.36 mm และกากกาแฟที่ใช้แล้วจากเครื่องแรงดันไอน้ำซึ่งมีขนาดประมาณ 0.3 – 0.5 mm ค่าพื้นที่ผิวของเศษถ่านและกากกาแฟที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งมีค่าเท่ากับ 23.30 และ 5.28 m²/g ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้แม้ว่าเศษถ่านที่ใช้จำนวนหนึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่ากากกาแฟ แต่เศษถ่านกลับให้ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนสูงกว่า สิ่งนี้พอจะบอกได้ว่าโครงสร้างภายในของเศษถ่านน่าจะเป็นรูพรุนสูงกว่า และเมื่อนำตัวอย่างถ่านอัดแท่ง cha:cof=3:0 ซึ่งเป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวและไม่มีการผสมกลีเซอรินไปวิเคราะห์ พบว่ามีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 68.46 m²/g เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเศษถ่านเดิม การวิเคราะห์พอจะอนุมานได้ว่ากากกาแฟที่ใช้เป็นส่วนผสมของการทำถ่านอัดแท่งช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุนได้ เพราะโดยทั่วไปการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านสามารถทำได้โดยการนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำ อากาศร้อน หรือสารเคมีที่อุณหภูมิสูงมาก เพื่อกัดกร่อนพื้นผิวภายในโครงสร้างของคาร์บอนทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนจำนวนมาก [20] หลังจากนั้นเมื่อเริ่มผสมกากกาแฟลงไปค่าพื้นที่ผิวจะมี

แนวโน้มลดลง สาเหตุของการลดลงนี้มีความเป็นไปได้ว่ากากกาแฟจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ทำให้ความเป็นรูพรุนลดลง ค่าปริมาตรของรูพรุนทั้งหมดจึงลดลงในขณะที่ขนาดของรูพรุนโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน และสุดท้ายตัวอย่างถ่านอัดแท่ง cha:cof=0:3 หรือตัวอย่างที่เป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียว จะมีค่าพื้นที่ผิวใกล้เคียงกับกากกาแฟใช้แล้วเพราะเมื่อไม่มีเศษถ่านเป็นส่วนผสมจึงไม่มีปรากฏการณ์การกักกรองโครงสร้างของคาร์บอนที่จะทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้เมื่อมีการผสมกลีเซอรินลงไปในส่วนอัดแท่งโดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักเดียวกันพบว่าส่งผลทำให้ค่าพื้นที่ผิวลดลงเป็นส่วนใหญ่ เพราะการผสมกลีเซอรินลงในกาบแบ่งที่อัตราส่วนร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก ทำให้ปริมาณกาบแบ่งที่ใช้น้อยลง การกระตุ้นให้เกิดรูพรุนจึงน้อยลงด้วย

Table 3 Characteristics of the surface area of charcoal briquettes

Weight ratio (charcoalscraps:spent coffee grounds)	Surface area (m ² /g)		Total pore volume (cm ³ /g)		Mean pore diameter (nm)	
	Not mix	Mix	Not mix	Mix	Not mix	Mix
	glycerin	glycerin	glycerin	glycerin	glycerin	glycerin
3:0	68.46	36.39	0.06404	0.03992	3.74	4.39
3:1	21.66	7.95	0.02353	0.01154	4.34	5.81
3:2	13.64	4.97	0.01517	0.00752	4.45	6.05
3:3	6.07	11.07	0.00840	0.01844	5.54	6.67
0:3	5.27	7.44	0.00650	0.00847	4.94	4.55
charcoal	23.30		0.02593		4.45	
spent coffee grounds	5.28		0.00590		4.47	

Figure 2 แสดงค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งที่ไม่ผสมกลีเซอรินเปรียบเทียบกับที่ผสมกลีเซอรินพบว่าค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ไม่ผสมกลีเซอรินจะมีค่าต่ำกว่าที่ผสมกลีเซอรินทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนัก สำหรับค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ไม่ผสมกลีเซอรินจะมีค่าอยู่ระหว่าง 375.04 – 394.43 kg/m³ และตัวอย่างที่ผสมกลีเซอรินจะมีค่าอยู่ระหว่าง 439.90 – 484.09 kg/m³ เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงค่ากำลังอัดในการอัดแท่ง จึงมีสมมติฐานว่าค่าความหนาแน่นของกลุ่มตัวอย่างในเงื่อนไขที่ไม่ผสมหรือผสมกลีเซอรินเมื่ออยู่ในเงื่อนไขเดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน จากตัวเลขค่าความหนาแน่นของทั้งสองกลุ่มเงื่อนไขข้างต้นเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดกับค่าเฉลี่ยพบว่ามีความแตกต่างกันไม่เกิน 5% กล่าวได้ว่าค่าการผสมกากกาแฟลงไปไม่ได้ทำให้ค่าความหนาแน่นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน และค่าความหนาแน่นของงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Porol และคณะที่ผลิตถ่านอัดแท่งจากยอดอ้อยโดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 410 kg/m³ [21] อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ Aransiola และคณะที่ผลิตถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดและมีการปรับค่ากำลังอัด ทำให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งที่ได้แปรผันตั้งแต่ 952 ถึง 1,437 kg/m³ ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างกันชัดเจน ทำให้ต้องมีการศึกษาถึงอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยทั่วไปค่าความหนาแน่นที่ยอมรับได้ของถ่านอัดแท่งควรมากกว่า 1,000 kg/m³ เพื่อให้สามารถทนทานต่อการขนส่งและการเก็บรักษา [22] แม้ในงานวิจัยนี้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าอันเนื่องมาจากเป็นวัสดุชีวมวลคนละชนิด ทำให้มีความแตกต่างเรื่องขนาด รูปร่างและ

อัตราส่วนการบดอัดของถ่านอัดแท่ง ดังนั้นการทดสอบการแตกหักและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้ความร้อนในลำดับต่อไปจะช่วยให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานได้

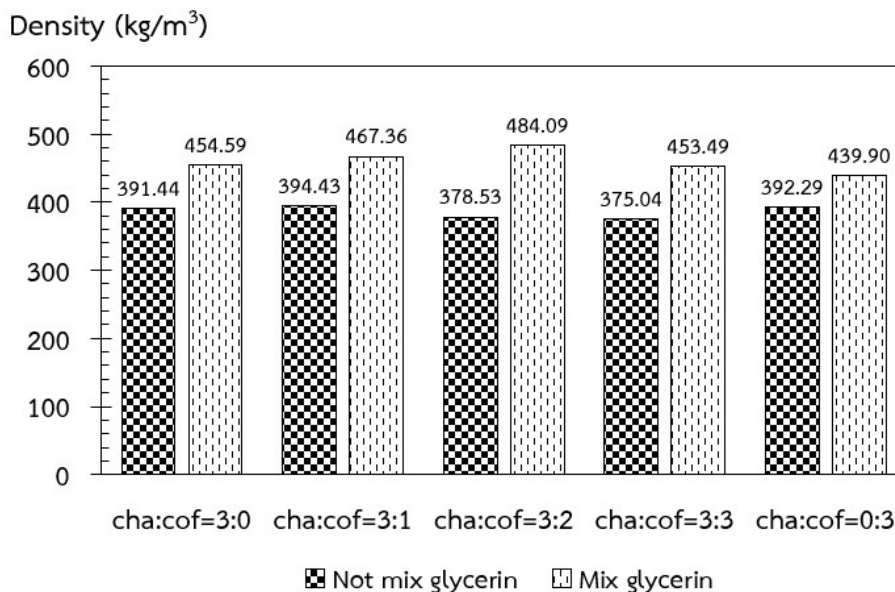


Figure 2 Density of charcoal briquettes

การทดสอบการแตกหักของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายวิเคราะห์การแตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ หรือเป็นผงซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เลย Figure 3 แสดงผลการทดสอบการแตกหักของถ่านอัดแท่งที่ไม่มีการผสมกลีเซอริน พบว่าการผสมกากกาแฟส่งผลกระทบต่ออายุการยืดเกาะเป็น ก้อนทำให้มีการแตกหักเป็นชิ้นเล็กๆมากขึ้น โดยแปรผันตรงตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกากกาแฟที่ผสม ลงไป ตัวอย่าง cha:cof = 3:0 ซึ่งเป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวไม่มีการแตกหักเป็นชิ้นเล็กๆเลย ในขณะที่ ตัวอย่าง cha:cof = 3:1 และ 3:2 มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักใกล้เคียงกันเท่ากับ 16.08 % และ 16.69% ตามลำดับ และเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกากกาแฟเพิ่มสูงขึ้นอีกในตัวอย่าง cha:cof = 3:3 และตัวอย่าง cha:cof = 0:3 ซึ่งเป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียว เปอร์เซ็นต์การแตกหักจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 36.43% และ 26.35% ตามลำดับ การลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักนี้สามารถทำได้ด้วยการผสมกลีเซอรินลงในถ่านอัดแท่ง ผล การทดสอบแสดงดัง Figure 4 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวอย่างที่มีกากกาแฟผสม cha:cof = 3:1 3:2 และ 3:3 หรือตัวอย่างที่เป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียว cha:cof = 0:3 เปอร์เซ็นต์การแตกหักจะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 2.22 – 0.88% เท่านั้น จึงกล่าวได้ว่าการผสมกลีเซอรินลงในถ่านอัดแท่งช่วย เพิ่มความสามารถให้การคงรูป

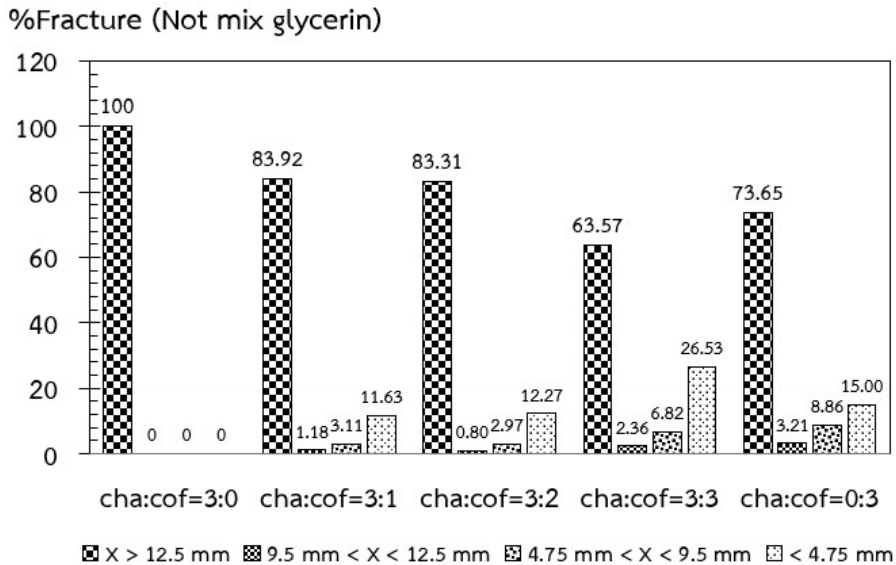


Figure 3 Fracture of charcoal briquettes (not mix glycerin)

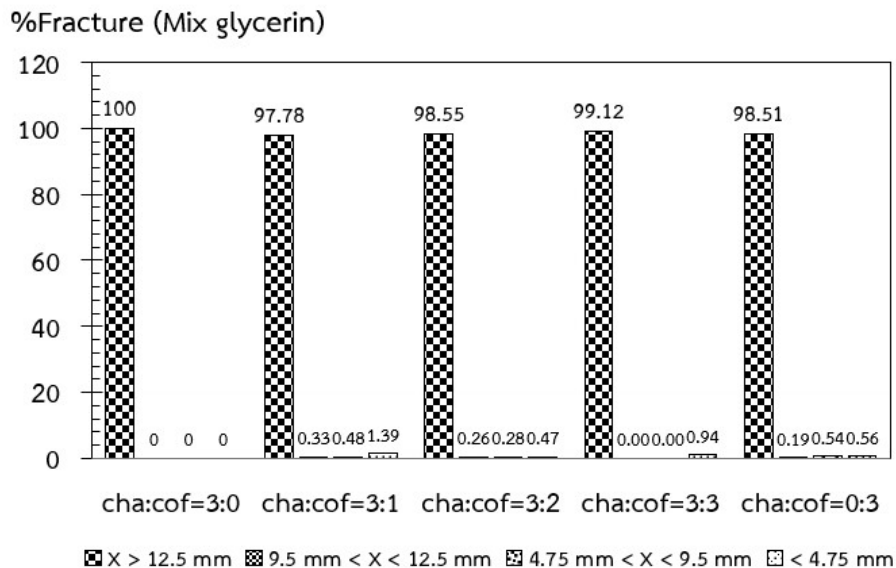


Figure 4 Fracture of charcoal briquettes (mix glycerin)

2.ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่ง

Figure 5 และ Figure 6 แสดงพฤติกรรมการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ไม่ผสมกลีเซอรินและผสมกลีเซอรินตามลำดับ แนวโน้มกราฟทั้งสองรูปมีลักษณะคล้ายกันโดยที่ตัวอย่างอัตราส่วนโดยน้ำหนัก

cha:cof = 3:0 ซึ่งเป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวสามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงที่สุด และระยะเวลาในการให้ความร้อนมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น และตัวอย่าง cha:cof = 0:3 ซึ่งเป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียวจะแสดงแนวโน้มประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่ต่ำกว่าชัดเจน สำหรับตัวอย่าง cha:cof = 3:1 3:2 และ 3:3 เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกากกาแฟเพิ่มสูงขึ้นแนวโน้มประสิทธิภาพการให้ความร้อนจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ผสมกลีเซอรินจะมีลักษณะแนวโน้มที่ไม่เป็นระเบียบ และในทางตรงกันข้ามกลุ่มตัวอย่างที่ผสมกลีเซอรินจะมีแนวโน้มที่มีความเป็นระเบียบมากกว่า เมื่อวิเคราะห์ภาพรวมของกราฟตัวอย่าง cha:cof = 3:1 และ 3:2 มีความน่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน แม้ว่าจะมีระยะเวลาในการให้ความร้อนที่น้อยกว่าและอุณหภูมิสูงสุดที่ได้ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง cha:cof = 3:0 อย่างไรก็ตามการที่สามารถนำกากกาแฟใช้แล้วมาผสมเพื่อทดแทนการใช้ถ่านได้ในปริมาณหนึ่งก็นับว่าเป็นการเพิ่มทางเลือกการใช้วัสดุชีวมวลให้เป็นประโยชน์ได้

Temperature (°C)

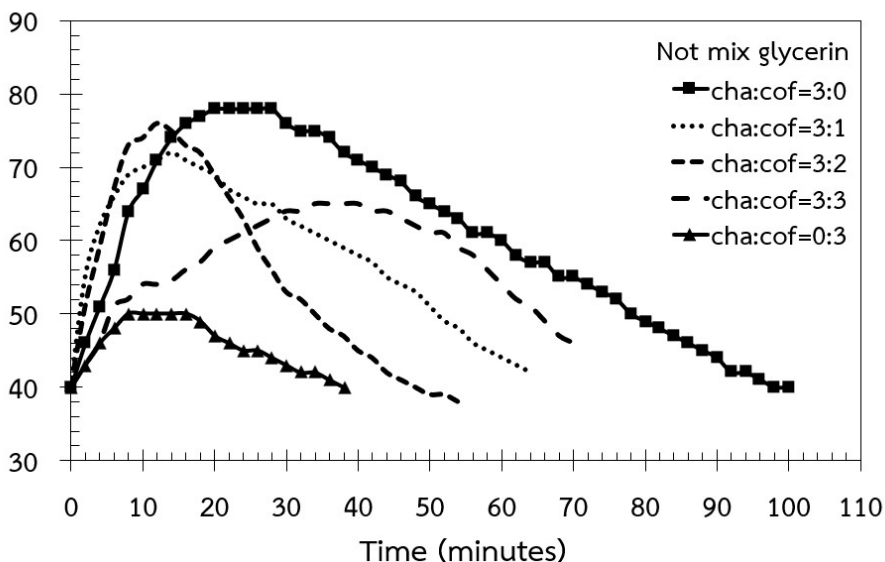


Figure 5 Temperature profile of charcoal briquettes (not mix glycerin)

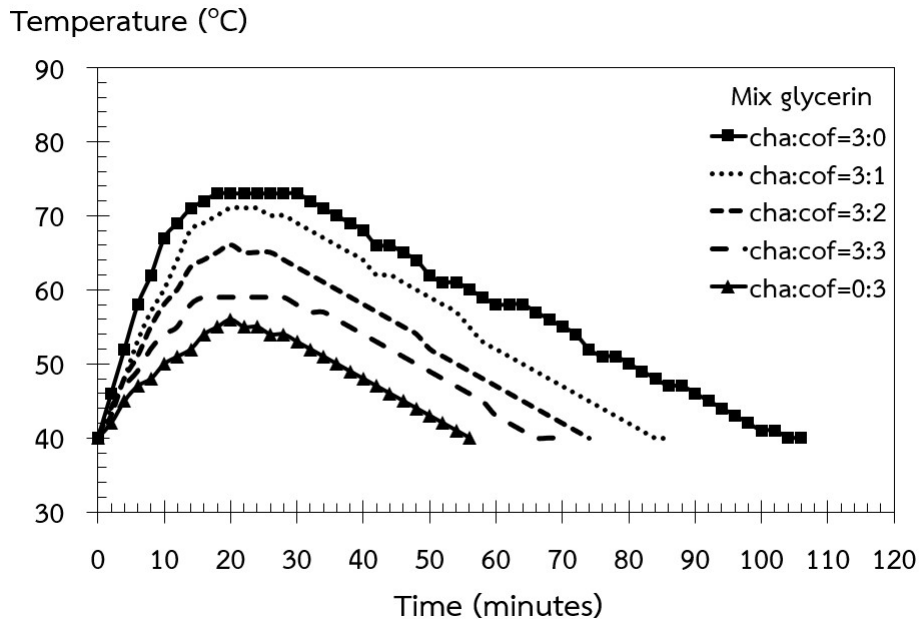


Figure 6 Temperature profile of charcoal briquettes (mix glycerin)

ในการเปรียบเทียบแนวโน้มกราฟประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ไม่ผสมกลีเซอริน และผสมกลีเซอรินแสดงดัง Figure 7 จากกราฟพบว่าตัวอย่างอัตราส่วนโดยน้ำหนัก cha:cof = 3:0 3:1 และ 3:2 ที่ไม่ผสมกลีเซอรินจะให้ค่าอุณหภูมิสูงสุด 78 72 และ 76 °C และระยะเวลาในการให้ความร้อน 100 64 และ 54 min ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่ผสมกลีเซอริน cha:cof = 3:0 3:1 และ 3:2 จะให้ค่าอุณหภูมิสูงสุด 73 71 และ 66 °C และระยะเวลาในการให้ความร้อน 106 84 และ 74 min ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ตัวอย่าง cha:cof = 3:1 ที่ผสมกลีเซอรินจะให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า 1 °C เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการผสมกลีเซอริน แต่สิ่งที่ทำได้ดีกว่าคือระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มากกว่าถึง 20 min และแม้ว่าในตัวอย่าง cha:cof = 3:2 ที่ผสมกลีเซอรินจะให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า 10 °C เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการผสมกลีเซอริน แต่ก็ยังคงให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มากกว่าถึง 20 min เช่นกันจากผลการทดลองในขั้นตอนนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งโดยเลือกใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น cha:cof = 3:1 และ 3:2 และมีการผสมกลีเซอรินลงไปด้วย สำหรับรายละเอียดของกราฟการทดสอบการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งทั้งหมดนี้จะแสดงใน Table 4 และจะนำข้อมูลไปคำนวณปริมาณความร้อนในหน่วย MJ/kg โดยใช้สมการ (1) ซึ่งจะได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือมาตรฐานจาก TISTR

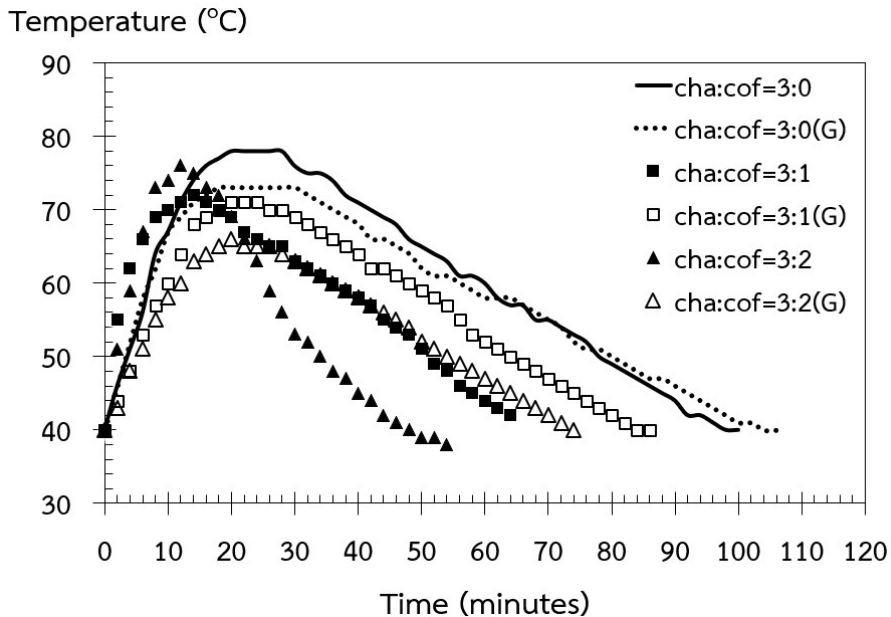


Figure 7 Temperature profile comparison of charcoal briquettes

การคำนวณปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากถ่านอัดแท่งที่ไม่ผสมกลีเซอรินและผสมกลีเซอรินใน Table 4 จะใช้วิธีการหาค่าความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิทุกจุดในช่วงเวลา 2 min จาก Figure 5 และ Figure 6 จากนั้นหาค่าเศษส่วนย่อยของความดันไออิ่มตัวทุกจุด นำไปคูณกับมวลของน้ำทั้งหมดที่ระเหยไปเพื่อหามวลของน้ำที่ระเหยในแต่ละจุด ทำการคำนวณปริมาณความร้อนจากสมการ (1) ในแต่ละจุดออกมาแล้วหาผลรวมจะได้ปริมาณความร้อนทั้งหมด แน่ใจว่าวิธีนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเวลาอย่างสมบูรณ์ ค่าที่ได้ไม่ได้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งอย่างแท้จริง ซึ่งค่าที่ได้นี้จะถูกใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ขั้นต้นเท่านั้น เพื่อยืนยันว่าตัวอย่างที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก cha:cof = 3:1 และ 3:2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานหลังจากนั้นจะได้ทำการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ TISTR

Table 4 Heating information of charcoal briquettes (Not mix glycerin/ Mix glycerin)

Weight ratio (charcoal:scraps:spent coffee grounds)	Total weight of charcoal briquettes (kg)	Weight of evaporated water (kg)	Highest temperature (°C)	Amount of heat per kilogram of charcoal briquette (MJ/kg)	Heating value by TISTR (MJ/kg)
3:0	0.138/0.152	0.121/0.111	78/73	3.20/2.62	26.36/25.27
3:1	0.126/0.139	0.065/0.081	72/71	2.24/2.30	23.51/23.43
3:2	0.108/0.124	0.053/0.053	76/66	2.58/1.85	23.64/21.84
3:3	0.111/0.126	0.060/0.043	65/59	2.10/1.44	*
0:3	0.115/0.123	0.015/0.029	50/56	0.67/1.10	*

*Not analytical

สำหรับตัวอย่างถ่านอัดแท่ง cha:cof = 3:0 ซึ่งเป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวและไม่ได้ผสมกลีเซอริน มีค่าปริมาณความร้อนจากการคำนวณสูงที่สุดเท่ากับ 3.20 MJ/kg และตัวอย่าง cha:cof = 3:1 3:2 และ 3:3 ที่มีการเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกากกาแฟจะมีค่าปริมาณความร้อนจากการคำนวณใกล้เคียงกัน เท่ากับ 2.24 2.58 และ 2.10 MJ/kg ตามลำดับในกรณีของตัวอย่าง cha:cof = 3:3 แม้ว่าค่าปริมาณความร้อนจะไม่ได้ลดต่ำมากแต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดที่ได้ทำได้เพียง 65 °C จึงเป็นสาเหตุที่ต้องตัดออกไปจากตัวเลือกและตัวอย่างสุดท้าย cha:cof = 0:3 ซึ่งเป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียวให้ค่าปริมาณความร้อนต่ำมาก อย่างชัดเจนเท่ากับ 0.67 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างถ่านอัดแท่งทั้งหมดที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเดียวกัน แต่มีการผสมกลีเซอรินค่าปริมาณความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันและเป็นแนวโน้มเดียวกัน โดยจากการพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นนี้ตัวอย่างที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก cha:cof = 3:0 3:1 และ 3:2 จะได้นำไปวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่มีมาตรฐานซึ่งผลปรากฏว่า ตัวอย่าง cha:cof = 3:0 ที่ไม่ผสมกลีเซอรินและผสมกลีเซอรินมีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 26.36 และ 25.27 MJ/kg ตามลำดับ และตัวอย่าง cha:cof = 3:1 และ 3:2 มีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างที่ไม่ผสมกลีเซอรินมีค่าเท่ากับ 23.51 และ 23.64 MJ/kg และตัวอย่างที่ผสมกลีเซอรินมีค่าเท่ากับ 23.43 และ 21.84 MJ/kg ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพิจารณาความสัมพันธ์จาก Table 2 และ Table 3 ในกรณีของตัวอย่าง cha:cof=3:0 ที่เป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวมีค่าน้ำหนักคงที่หลังการอบแห้งและค่าพื้นที่ผิวสูงสุด หมายความว่าในน้ำหนักรก่อนการอัดแท่งเริ่มต้นที่เท่ากัน 70 g ตัวอย่างนี้มีปริมาณเศษถ่านสูงและเพราะมีความเป็นรูพรุนสูงจึงทำให้ออกอากาศอยู่ชิดติดกันมากและเมื่อนำระเหยออกไปจึงเหลือปริมาณของแข็งมากกว่า ทำให้มีค่าน้ำหนักคงที่โดยเฉลี่ยมากกว่าตัวอย่างอื่น แต่อย่างไรก็ตามหลังจากการอัดแท่งแล้วก็ให้ค่าปริมาตรสูงขึ้นด้วย เมื่อนำไปคำนวณค่าความหนาแน่นจึงไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด จากคำอธิบายนี้เมื่อนำไปอ้างอิงถึงตัวอย่าง cha:cof=0:3 ซึ่งเป็นกากกาแฟเพียงอย่างเดียว จะกล่าวได้ว่าหลังการอบแห้งแม้จะเหลือปริมาณของแข็ง

น้อยแต่ปริมาณก็ลดลงด้วยการอัดแท่ง เพราะมีโครงสร้างที่เกาะกันแบบหลวมๆเนื่องจากอนุภาคมีความเป็นรูพรุนต่ำ ดังนั้นค่าความหนาแน่นจึงไม่ได้มีค่าลดลง ในตัวอย่างที่ผสมกลีเซอรินแล้วส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีความเป็นไปได้ว่ามีการแทรกตัวของกลีเซอรินอยู่ในโครงสร้างรูพรุนทำให้น้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ตัวแปรค่าความหนาแน่นสามารถใช้พิจารณาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งได้ ค่าที่สูงเกินไปจะทำให้ถ่านอัดแท่งเผาไหม้ได้ช้าลงจึงให้ระยะเวลาการเผาไหม้จนสิ้นสุทธนานขึ้น เพราะปริมาตรช่องว่างที่จะให้อากาศผ่านในกระบวนการเผาไหม้นี้น้อยลงรวมถึงยังมีมวลในการเผาไหม้มากกว่าด้วย เช่นเดียวกันในทางตรงกันข้ามถ้ามีค่าที่ต่ำเกินไปก็จะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งเผาไหม้ได้เร็วทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้จนสิ้นสุทธเร็วขึ้น[12]แม้ว่าการผสมกลีเซอรินในถ่านอัดแท่งจะไม่ได้ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นแต่ได้ช่วยส่งเสริมสมบัติทางกายภาพทำให้ลดการแตกหักได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างอัตราส่วนโดยน้ำหนัก cha:cof = 3:1 และ cha:cof = 3:2 ที่ผสมกลีเซอรินมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงเพราะให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มากกว่ามีค่าอุณหภูมิสูงสุดและค่าความร้อนที่ใกล้เคียงตัวอย่าง cha:cof = 3:0 ซึ่งเป็นเศษถ่านเพียงอย่างเดียวแต่สามารถลดการใช้ถ่านได้ถึง 25 – 40% โดยสามารถใช้วัสดุชีวมวลที่เป็นกากกาแฟใช้แล้วผสมลงไปได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส

สมบัติของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่นำวัสดุชีวมวลมาอัดแท่งแล้วใช้เป็นเชื้อเพลิงเลยพบว่ามีผลลัพธ์ที่แตกต่างกันพอสมควร ตัวอย่างเช่น ค่าความร้อนของซังข้าวโพดอัดก้อนพบว่าสูงกว่า 14.1 MJ/kg และเปลือกกล้วยอัดก้อนมีค่าสูงถึง 18.9 MJ/kg [6, 23] อย่างไรก็ตามยังมีค่าต่ำกว่าถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้ จากนั้นได้เริ่มมีแนวคิดการนำวัสดุชีวมวลต่างชนิดมาผสมกันโดยงานวิจัยของ Rajaseenivasan และคณะได้ผลิตถ่านอัดแท่งจากการผสมขี้เลื่อยและผงสะเดา เนื่องจากพบว่าผงสะเดาจะช่วยปรับปรุงสมบัติของถ่านอัดแท่งในด้านของความแข็งแรง แต่มีข้อด้อยคือให้ค่าความร้อนที่ต่ำจึงยังไม่สามารถทำเป็นถ่านอัดแท่งชีวมวลได้โดยตรง ในขณะที่ขี้เลื่อยให้ค่าความร้อนสูงกว่ามากแต่มีค่าดัชนีการแตกหักสูงเช่นกันจึงทำให้มีปัญหาในการขนส่ง การขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งใช้ความดันสูงถึง 33 MPa ได้ถ่านอัดแท่งจากผงสะเดาและขี้เลื่อยที่มีความหนาแน่นประมาณ 1,650 และ 1,400 kg/m³ เปอร์เซ็นต์การแตกหัก 5% และ 25% และค่าความร้อน 0.452 และ 3.475 MJ/kg ตามลำดับ [19] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ที่ผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้ก้างอัดต่ำประมาณ 8 kPa ส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่า แตกลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ต่ำกว่าและให้ค่าความร้อนที่สูงกว่า งานวิจัยที่ใกล้เคียงมากที่สุดคืองานของ Ajimotokan และคณะ ได้ผลิตถ่านอัดแท่งจากการผสมขี้เลื่อยจากต้นสนกับอนุภาคถ่านที่อัตราส่วนแตกต่างกัน อัดแท่งด้วยความดัน 5 MPa ผลการทดสอบพบว่าการผสมขี้เลื่อยจะทำให้ค่าความร้อนลดลง ถ่านอัดแท่งที่ไม่มีการผสมขี้เลื่อยให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 24.9 MJ/kg เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนของอนุภาคถ่านเดิมมีค่าเท่ากับ 23.4 MJ/kg และขี้เลื่อยจากต้นสนมีค่าความร้อนเท่ากับ 19.7 MJ/kg เมื่อทำการผสมแล้วอัดแท่งค่าความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคถ่าน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 19.4–24.9 MJ/kg Ajimotokan และคณะ ได้สรุปว่าการทำถ่านอัดแท่งจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานดีขึ้น และการใช้ขี้เลื่อยจากต้นสนเป็นส่วนผสมยังคงให้ค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้งานได้ [24] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของผู้เขียนพบว่าผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเป็นการสนับสนุนว่าการผสมกากกาแฟใช้แล้วในการผลิตถ่านอัดแท่งของงานวิจัยนี้ เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการผลิตถ่านอัดแท่งที่ใช้ต้นทุนต่ำและให้สมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานได้จริง โดยการออกแบบกระบวนการผลิตให้เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานหรือเครื่องมือขั้นสูงน้อยที่สุด และพยายามหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณค่าของทรัพยากรที่มีอยู่ให้มากขึ้นกว่าเดิมด้วยความมุ่งหวังให้เป็นประโยชน์ต่อชุมชนมากที่สุด ผลการทดลองทั้งหมดได้นำไปสู่ข้อสรุปสมบัติของถ่าน

อัดแท่งจากเศษถ่านและกากกาแฟใช้แล้วที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างกัน ดังนี้ ตัวอย่าง cha:cof = 3:0 ที่ไม่มีการผสมกลีเซอรินจะให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 26.36 MJ/kg แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุชีวมวลคือกากกาแฟใช้แล้วผสมลงไปในถ่านอัดแท่ง ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมบัติโดยรวมแล้วพบว่าเงื่อนไขที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเพื่อนำไปใช้งานคือตัวอย่าง cha:cof = 3:1 และ cha:cof = 3:2 ที่มีการผสมกลีเซอรินโดยมีค่าพื้นที่ผิว 7.95 และ 4.97 m²/g ค่าความหนาแน่น 467.36 และ 484.09 kg/m³ เปอร์เซ็นต์การแตกหัก 2.22% และ 1.45% และค่าความร้อนเท่ากับ 23.43 และ 21.84 MJ/kg ตามลำดับ ในการทดลองการให้ความร้อนของตัวอย่าง cha:cof = 3:1 และ cha:cof = 3:2 อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้คือ 71 และ 66 °C และระยะเวลาในการใช้งานเท่ากับ 84 และ 74 min ตามลำดับซึ่งมีระยะเวลานานกว่าตัวอย่างที่อัตราส่วนเดียวกันที่ไม่ผสมกลีเซอรินถึง 20 min ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการประกอบอาหารประเภทปิ้งย่างที่จำเป็นต้องใช้ถ่านอัดแท่งที่มีสมบัติให้ความร้อนได้สม่ำเสมอและติดไฟได้นาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในการสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณการสนับสนุนการวิเคราะห์ตัวอย่างจากศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Thailand Institute of Scientific and Technological Research, TISTR) จ.ปทุมธานี

References

- [1] Nikiforov, A., et al. (2023). Analysis of the Characteristics of Bio-Coal Briquettes from Agricultural and Coal Industry Waste. *Energies*, 16(8), 3527.
- [2] King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (2021). *Study of impacts on the electrical system (production system, transmission system, and distribution system) from electricity production from renewable energy and solutions*. (Research reports). Bangkok: Institute of Technological Development for Industry (ITDI). (in Thai)
- [3] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2023). *Energy overview for January 2023*. Available from https://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Energy_Statistics/00All.pdf. Accessed date: 12 March 2024. (in Thai)
- [4] Susanto, A. & Yantom, T. (2013). Biocharcoal briquettes from palm empty shells and bunches. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 6(2), 68-81.
- [5] Tamilvanan, A. (2013). Preparation of biomass briquettes using various agroresidues and waste papers. *Journal of Biofuels*, 4(2), 47-55.
- [6] Wilaipon, P. (2007). Physical characteristic of maize cob briquettes under moderate die pressure. *American Journal of Applied Sciences*, 4(12), 995-998.
- [7] Sunardi, S., et al. (2019). Characteristics of Charcoal Briquettes from Agricultural Waste with Compaction Pressure and Particle Size Variation as Alternative Fuel.

- International Energy Journal*, 19(3), 139-148.
- [8] Rerkkumsup, P., et al. (2020). The Development of an Automatic Control System for Charcoal Briquettes Drying. *Pathumwan Academic Journal*, 10(27), 70-83. (in Thai)
 - [9] Brunerová, A., et al. (2020). Valorization of Bio-Briquette Fuel by Using Spent Coffee Ground as an External Additive. *Energies*, 13(1), 54.
 - [10] Elanda, F. & Citra, S. (2018). Study on the use and composition of bio-charcoal briquettes made of organic waste. *Journal of Ecological Engineering*, 19(2), 81-88.
 - [11] Patabang, D. (2013). Thermal characteristics of meranti wood sawdust charcoal briquettes. *Mechanical Journal*, 4(2), 410-415.
 - [12] Carnaje, N. P., et al. (2018). Development and characterisation of charcoal briquettes from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)-molasses blend. *PLOS ONE*, 13(11), e0207135.
 - [13] Kpelou, P., et al. (2019). Energy Efficiency of Briquettes Derived from Three Agricultural Waste's Charcoal Using Two Organic Binders. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 9(2), 79-89.
 - [14] Onukak, I. E., et al. (2017). Production and characterization of biomass briquettes from tannery solid waste. *Recycling*, 2(4), 17.
 - [15] Ikelle, I., et al.(2020). Thermal Analyses of Briquette Fuels Produced from Coal Dust and Groundnut Husk. *Acta Chemica Malaysia*, 4(1), 24-27.
 - [16] Gómez-de la Cruz, F. J., et al. (2015). A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. *Fuel Processing Technology*, 130, 188-196.
 - [17] Ballesteros, L. F., et al. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and bioprocess technology*, 7(12), 3493-3503.
 - [18] Tsai, W. T., et al. (2012). Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, 63-67.
 - [19] Rajaseenivasan, T., et al. (2016). An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2833-2383.
 - [20] Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and technology*. London: Earthscan.
 - [21] Porol, J. T. C., et al. (2019). Performance evaluation of charcoal briquettes derived from sugarcane tops using vinasse as binder. In *IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (p.1-5). 29 November – 1 December, 2019, Laoag, Philippines.

Research Article

Journal of Advanced Development in Engineering and Science

Vol. 14 ● No. 41 • September – December 2024

- [22] Aransiola, E.F., et al. (2019). Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette. *Energy Reports*, 5, 909-918.
- [23] Wilaipon, P. (2008). The effect of briquetting pressure on banana peel briquette and banana waste in northern Thailand. *American Journal of Applied Sciences*, 6(1), 167-171.
- [24] Ajimotokan, H.A., et al. (2019). Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African*, 6, e00202.