

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ Production of Briquette from Coffee Grounds

มัลลิกา หล้าพันธุ์^{1*} และสังสรรค์ หล้าพันธุ์²
Mallika Lapunt^{1*} and Sunksun Lapunt²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand

²สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

²Information Technology Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand

*Corresponding author, e-mail: mallika.pud@lru.ac.th

(Received: Jul 5, 2023; Revised: Aug 16, 2023; Accepted: Aug 30, 2023)

บทคัดย่อ

กากกาแฟเป็นวัสดุเหลือทิ้งและมูลค่าต่ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่า กากกาแฟปรากฏแถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) พันธะคู่คาร์บอน (C=C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ของวงแหวนอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบเหมือนกับถ่านชนิดอื่น จึงสนใจศึกษาวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานใช้อัตราส่วน กากกาแฟต่อแป้งมันสำปะหลัง 8:2 ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อนพบว่า กากกาแฟให้ค่าความร้อน 5,262.97 แคลอรีต่อกรัม และเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ค่าความร้อน 5,033.92 แคลอรีต่อกรัม ทดสอบปริมาณคาร์บอนเสถียรด้วยวิธี ASTM D3172 เท่ากับ 0.07 กรัมต่อ 100 กรัม มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่า ปรากฏแถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) พันธะคู่คาร์บอน (C=C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,697.19 ต่อเซนติเมตร 1,643.64 ต่อเซนติเมตร และ 1,370.68 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ แถบการยืดพันธะคาร์บอนกับออกซิเจน (C-O) ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,023.84 ต่อเซนติเมตร แถบการยืดพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน (C-H) ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 2,853.88 ต่อเซนติเมตร และ 2,920.36 ต่อเซนติเมตร ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนด้วยการต้มน้ำพบว่า อุณหภูมิของน้ำสูงสุดเท่ากับ 101.2 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาไหม้ 100 นาที อัตราการเผาไหม้เท่ากับ 5.03 กรัมต่อนาที และมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานจริงเท่ากับ 21.90 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟมีการติดไฟได้ดี มีควัน มีอัตราการเผาไหม้ที่สูง จากข้อค้นพบนี้สามารถเป็นทางเลือกสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟเพื่อลดปริมาณขยะ และสร้างมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งได้

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่ง เชื้อเพลิง กากกาแฟ วัสดุเหลือทิ้ง

Abstract

Coffee grounds are a waste and low-value material. When they were analyzed for chemical composition using the FTIR technique, the coffee grounds appeared stretch the carbon-oxygen bond. The carbon double bond (C=C) and the carbon-hydrogen bond (C-H) of the aromatic ring, are the same elements as other types of charcoal. This research aimed to study the production of fuel briquettes from molded coffee grounds using wet flour as a binder. This was done using coffee grounds to tapioca starch ratio 8:2. The calorific energy test results showed that coffee grounds yielded 5,262.97 cal/g and fuel briquettes provided 5,033.92 cal/g. ASTM D3172 stable carbon content test was 0.07 g/100g with a density of 0.48 g/cm³. Fuel briquettes were analyzed for their chemical composition using the FTIR technique, the result of this was that carbon and oxygen double bonding strips appeared. Carbon double bond (C=C) and carbon-hydrogen bond (C-H) wavelengths range approximately 1,697.19 cm⁻¹, 1,643.64 cm⁻¹ and 1,370.68 cm⁻¹ respectively. The carbon hydrogen bond Stretching band (C-H) wavelengths, range

approximately $2,853.88 \text{ cm}^{-1}$ and $2,920.36 \text{ cm}^{-1}$. The thermal performance test in boiling water, showed that the maximum water temperature was 101.2°C , the combustion time was 100 min, the combustion rate was 5.03 g/min, and the actual efficiency was 21.90%. This mean that it has a high combustion rate, and based on these findings, it could be used as an alternative way of producing charcoal briquettes from coffee grounds, which would reduce waste and create value from the waste materials.

Keywords: Charcoal briquettes, Fuel, Coffee residue, Waste material

บทนำ

ปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในหมู่ผู้บริโภคชาวไทย สังเกตได้จากสังคมไทยในยุคปัจจุบันเริ่มมีผู้คนหันมาบริโภคกาแฟเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ตลาดกาแฟไทยเกิดการเติบโตเพิ่มมากขึ้นโดยผู้ประกอบการมีการพัฒนาตามความต้องการของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มส่งผลให้มูลค่าตลาดกาแฟเพิ่มราคามากขึ้น และมีปริมาณกากกาแฟที่ได้มาจากกาแฟสดจำนวนมากในแต่ละวัน ซึ่งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อแต่จะนำไปทิ้งเป็นขยะจำนวนมากจากงานวิจัยของ Tuntiwiwattanapun (2019) พบว่า ในปี 2565 เรามีกากกาแฟเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากกว่า 290,000 ตัน/ปี โดยการจัดการกากกาแฟในอุตสาหกรรมกาแฟสำเร็จรูป จะนำกากกาแฟไปเผาเพื่อสร้างเป็นพลังงานความร้อนใช้ในกระบวนการผลิต และในภาคครัวเรือนและร้านค้าส่วนใหญ่จะส่งกำจัด เมื่อนำกากกาแฟมาศึกษาพบว่า สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์กากกาแฟ มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5,517 แคลอรีต่อกรัม ไปเป็น 7,460 แคลอรีต่อกรัม (Tanmankongworakoon & Preedasuriyachai, 2015) และจากงานวิจัยของ Limousy *et al.* (2013) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟอย่างเดียวก่อนให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4,672 แคลอรีต่อกรัม เมื่อเทียบกับถ่านเปลือกหมากมีค่าความร้อนเท่ากับ 6,091.45 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน (Chuaythong *et al.*, 2014) การนำกากกาแฟมาเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ให้ค่าความร้อน ความยาวนานในการเผาไหม้ และราคาถูกกว่าถ่านทั่วไป โดยสามารถลดปริมาณกากกาแฟได้ (Tuntiwiwattanapun, 2019)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำขยะเหลือทิ้งจากกาแฟจากร้านกาแฟภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานและศึกษาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ และศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความน่าสนใจในการศึกษานี้คือ กากกาแฟเป็นขยะเหลือทิ้ง ให้ค่าความร้อนสูง และเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากขยะเหลือทิ้งมาทำให้เกิดมูลค่า

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ

นำกากกาแฟที่เก็บจากร้านเครื่องดื่มภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเลยมาทำให้แห้งด้วยการตากแดด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมามบดให้ละเอียดคัดขนาดอนุภาคที่ได้โดยเลือกเฉพาะอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 80 Mesh เพื่อที่จะได้สะดวกต่อการขึ้นรูป จากนั้นนำกากกาแฟที่ตากแห้งแล้วมาผสมกับตัวประสานแป้งเปียกหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูป โดยการปรับอัตราส่วนระหว่างมวลกากกาแฟต่อแป้งมัน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟคือ มวลกาแฟเหลือใช้ต่อแป้งมันสำหรับหลังต่อน้ำ 8:2:10 นำมาอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแท่งด้วยมือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตากแดดเป็นเวลา 2 วัน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (a) กากกาแฟที่ได้จากร้านขายกาแฟ (b) การตากแห้งกากกาแฟ (c) การอัดแท่งกากกาแฟโดยใช้เครื่องอัดแท่งด้วยมือ (d) ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ

2. การหาค่าความหนาแน่น

นำกากกาแฟที่ผสมตัวประสานมาอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแท่งด้วยมือ ตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีมวลคงที่ ทำการชั่งมวล วัดความยาวของถ่านอัดแท่ง และเส้นผ่านศูนย์กลาง คำนวณหาปริมาตร เพื่อหาคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่วนกากกาแฟที่ไม่ได้ผสมตัวประสานไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ เก็บข้อมูลซ้ำ 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3. การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี

นำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟมาวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี โดยการส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเสถียร (คาร์บอนคงตัว) และ ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิค FTIR ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยใช้วิธีทดสอบ ASTM D 3172 (American society for testing and materials, 2002)

4. การศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อน

นำเชื้อเพลิงที่ได้มาทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter C5000 Control โดยใช้ตัวอย่างอัตราส่วน 1 กรัม นำไปอัดเม็ดบรรจุในครุชีเบลโดยการทำให้เส้นด้ายสำหรับจุดติดไฟอยู่ตรงกลางเม็ดเชื้อเพลิง แล้วใส่ในภาชนะปิดสนิทที่เรียกว่า Bomb ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และคายความร้อนให้กับน้ำที่อยู่รอบ Bomb มีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ค่าความร้อนจากการวิเคราะห์ โดยวิธีนี้ เรียกว่า Gross calorific เนื่องจากไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ ถูกทำให้ถูกควบแน่นอยู่ในสภาพของเหลว การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที

5. การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้ม

นำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้ม โดยทดสอบการต้มน้ำซึ่งใช้หม้อต้มน้ำอะลูมิเนียมเบอร์ 20 พร้อมฝาปิดเตาหุงต้ม ใช้น้ำ (ปริมาตรของน้ำ ประมาณ 3/4 ของปริมาณความจุของหม้อ) ประมาณ 1503 กรัม และมวลเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ 503 กรัม ทำการติดไฟ สังเกตการแตกปะทุของเชื้อเพลิง ปริมาณควันของเชื้อเพลิง

ขณะติดไฟ วัดอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งน้ำเดือด แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ไปพร้อมทั้งเปิดฝาท่อ จากนั้นปล่อยให้ น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที วัดอุณหภูมิภายในเตา และภายนอกเตาด้วย เก็บข้อมูลซ้ำ 3 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

เมื่อผ่านกระบวนการอัดแท่งและตากแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้วนำเชื้อเพลิงที่ได้มาทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter C5000 Control และทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

1. ผลการทดสอบค่าความร้อนโดยใช้เครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter C5000 Control

นำกากกาแฟมาบดให้ละเอียด อัดเม็ดเรียบร้อยชั่งมวลให้ได้เท่ากับ 1 กรัม นำสารตัวอย่างใส่ลงในกระบอกแคลอรีมิเตอร์ เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วย Bomb Calorimeter ค่าความร้อนที่ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ

ชนิดของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ (ไม่มีตัวประสาน)	5,262.97
ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียกเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 8:2	5,033.92

ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อนพบว่า ถ่านจากกากกาแฟที่ไม่มีผสมตัวประสานให้ค่าความร้อน 5,262.97 แคลอรีต่อกรัม และถ่านจากกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียกเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 8:2 ให้ค่าความร้อน 5,033.92 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2006) โดยกำหนดค่าไว้ที่ 5,000 แคลอรีต่อกรัม

2. ผลการทดลองหาค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเสถียรด้วยเครื่องมือเฉพาะทางด้วยวิธีการทดสอบ ASTM D3172 พบว่าปริมาณคาร์บอนเสถียรจากกากกาแฟอยู่ที่ 0.07 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับทั้งชิ้นรูปด้วยตัวประสานแป้งเปียกและไม่มีตัวประสาน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว

ชนิด	ผลทดสอบ	หน่วย	วิธีการทดสอบ
ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ (ไม่มีตัวประสาน)	0.07	กรัมต่อ100กรัม	ASTM D3172
ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟ มีตัวประสาน	0.07	กรัมต่อ100กรัม	ASTM D3172

3. ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่น

ผลการชั่งมวล ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง ปริมาตร และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 3

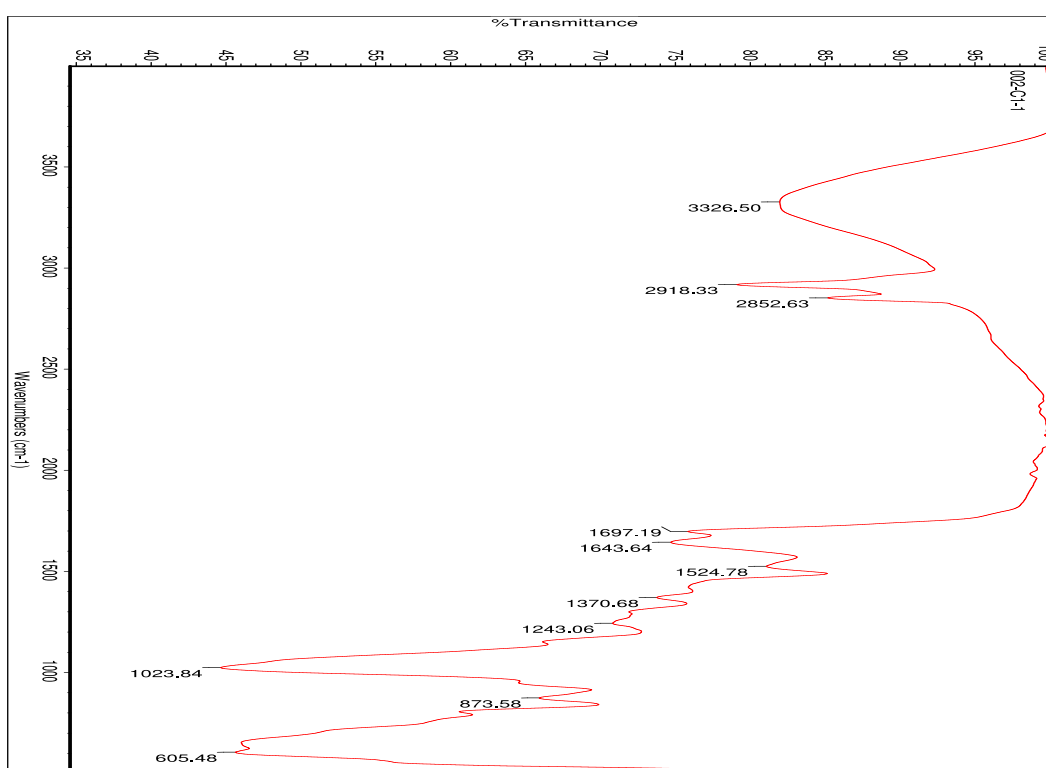
ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมตัวประสาน

ก้อนที่	มวล (กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
1	47.0	4.0	7.70	96.7	0.49
2	49.0	4.0	8.00	100.48	0.49
3	43.0	4.0	7.50	94.2	0.46
4	46.0	4.0	7.80	97.97	0.47
5	46.0	4.0	7.70	96.7	0.47
เฉลี่ย	46.2	4.0	7.74	97.21	0.48

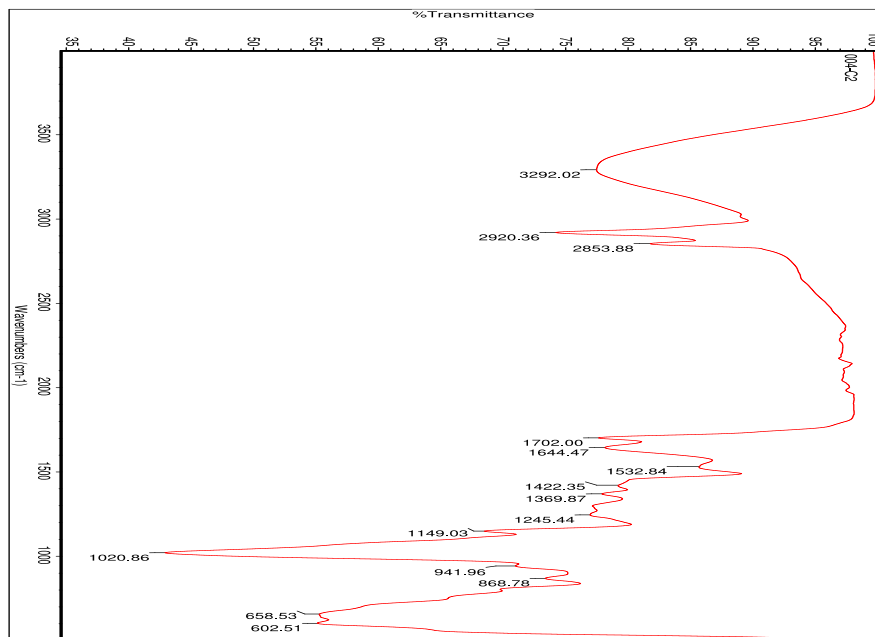
จากตารางที่ 3 พบว่า เชื้อเพลิงมีความหนาแน่น 0.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งความหนาแน่นที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่งไม่ควรเกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4. วิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ

หาชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอลของตัวอย่างถ่านด้วยการวัดการดูดกลืนแสง ในช่วงอินฟราเรดโดยเทคนิค FTIR พบว่า ตัวอย่างถ่านทุกชนิดปรากฏแถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) พันธะคู่คาร์บอน (C=C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ของวงแหวนอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ โดยปรากฏพีคในช่วงความยาวคลื่นที่ประมาณ 1,697.19 ต่อเซนติเมตร 1,643.64 ต่อเซนติเมตร และ 1,370.68 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ แถบการยืดพันธะคาร์บอนกับออกซิเจน (C-O) ในพันธะ C-O-H ของน้ำตาลในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,023.84 ต่อเซนติเมตร (Silva *et al.*, 2018) นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการยืดพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน (C-H) ของหมู่แอลคิลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยโดยปรากฏพีคที่ประมาณ 2,860 ต่อเซนติเมตร และ 2,930 ต่อเซนติเมตร (Panpraneecharoen & Rodkate, 2020) ในส่วนของกากกาแฟ ปรากฏพีคที่ประมาณ 2,852.63 ต่อเซนติเมตร และ 2,918.33 ต่อเซนติเมตร และในส่วนของกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียก ปรากฏพีคที่ประมาณ 2,853.88 ต่อเซนติเมตร และ 2,920.36 ต่อเซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3



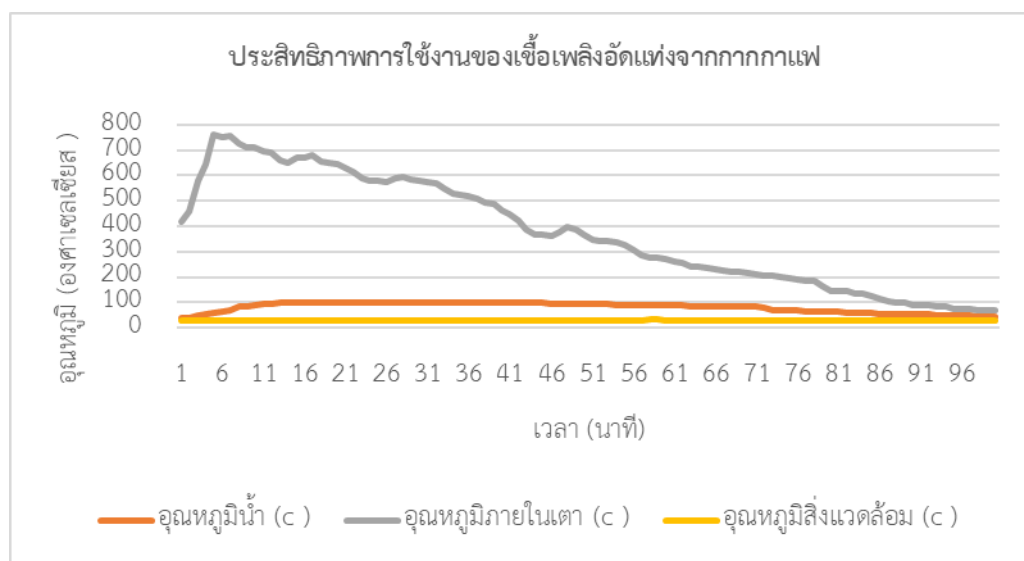
ภาพที่ 2 วิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงจากกากกาแฟเพื่อหาชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอลของตัวอย่างถ่านด้วยการวัดการดูดกลืนแสง ในช่วงอินฟราเรดโดยเทคนิค FTIR



ภาพที่ 3 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟที่ผสมแบ่งเปียกเพื่อหาชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอลของตัวอย่างผ่านการวัดการดูดกลืนแสง ในช่วงอินฟราเรดโดยเทคนิค FTIR

5. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ

ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้มโดยทดสอบการต้มข้าว ซึ่งมวลน้ำเริ่มต้น 1,503 กรัม และมวลเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟเริ่มต้น 503 กรัม เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แบ่งเปียกเป็นตัวยึดประสานมีการติดไฟได้ดี มีควันเมื่อนำไปต้มน้ำพบว่าอุณหภูมิของน้ำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 101.2 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาไหม้จนหมดดับ 100 นาที ซึ่งมวลน้ำสุดท้ายได้ 657 กรัม ปริมาณเถ้าได้ 13 กรัม และมีประสิทธิภาพการใช้งานจริงเท่ากับ 21.90 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 5.03 กรัมต่อนาที ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิภายในเตา และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เทียบกับระยะเวลาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟที่ขึ้นรูปโดยใช้แบ่งเปียกเป็นตัวยึดประสาน และการจัดอุปกรณ์เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้มโดยทดสอบการต้มข้าว แสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ผลทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิภายในเตา และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เทียบกับระยะเวลาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟที่ขึ้นรูปโดยใช้แบ่งเปียกเป็นตัวยึดประสาน



ภาพที่ 5 การจัดอุปกรณ์การหาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้มโดยทดสอบการต้มน้ำ

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ ขึ้นรูปโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยการปรับอัตราส่วนระหว่างมวลกากกาแฟต่อแป้งมันพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอัดแท่งจากกากกาแฟคือ มวลกาแฟเหลือใช้ต่อแป้งมันสำปะหลัง 8:2 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ และใช้ตัวประสานน้อยที่สุด เปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Tanmankongworakoon & Preedasuriyachai (2015) ซึ่งขึ้นรูปโดยใช้อัตราส่วนระหว่างมวลกากกาแฟต่อแป้งมันเท่ากับ 9:1 ซึ่งพบถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟมีรอยแตกในบางส่วนระยะเวลาในการเผาไหม้ประมาณ 45 นาที ทดสอบค่าพลังงานความร้อนพบว่าถ่านจากกากกาแฟที่ไม่ผสมตัวประสานให้ค่าความร้อน 5,262.97 แคลอรีต่อกรัม และถ่านจากกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียกเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 8:2 ให้ค่าความร้อน 5,033.92 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช.238/2547 (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2006) โดยกำหนดค่าไว้ที่ 5,000 แคลอรีต่อกรัม ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟไม่ผสมตัวประสานให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียกเป็นตัวประสานเนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานมีการติดไฟได้ดีจากตัวประสานที่เป็นพอลิเมอร์ มีควัน มีปริมาณขี้เถ้ามากขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนลดลง เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเสถียรด้วยเครื่องมือเฉพาะทางด้วยวิธีทดสอบ ASTM D3172 (American society for testing and materials, 2002) พบว่า ปริมาณคาร์บอนเสถียรจากกากกาแฟอยู่ที่ 0.07 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับทั้งขึ้นรูปด้วยตัวประสานแป้งเปียกและไม่ใช้ตัวประสาน เมื่อนำเชื้อเพลิงมาหาค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 0.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งความหนาแน่นที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่งไม่ควรเกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีหาชนิดของหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างถ่านด้วยการวัดการดูดกลืนแสง ในช่วงอินฟราเรดโดยเทคนิค FTIR พบว่าตัวอย่างถ่านทุกชนิดปรากฏแถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) พันธะคู่คาร์บอน (C=C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ของวงแหวนอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ โดยปรากฏพีคในช่วงความยาวคลื่นที่ประมาณ 1,697.19 ต่อเซนติเมตร, 1,643.64 ต่อเซนติเมตร และ 1,370.68 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ แถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) ในพันธะ C-O-H ของน้ำตาลในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,023.84 ต่อเซนติเมตร (Silva *et al.*, 2018) นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการยืดพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน (C-H) ของหมู่แอลคิลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยโดยปรากฏพีคที่ประมาณ 2,860 ต่อเซนติเมตร และ 2,930 ต่อเซนติเมตร (Panpraneecharoen & Rodkate, 2020) ในส่วนของกากกาแฟปรากฏพีคที่ประมาณ 2,852.63 ต่อเซนติเมตร และ 2,918.33 ต่อเซนติเมตร และในส่วนของกากกาแฟที่ผสมแป้งเปียกปรากฏพีคที่ประมาณ 2,853.88 ต่อเซนติเมตร และ 2,920.36 ต่อเซนติเมตร ซึ่งจากการศึกษาพันธะด้วย FTIR พบว่ากากกาแฟมีแถบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน ซึ่งในส่วนของคาร์บอนจะมีผลต่อการสร้างความร้อนเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง และในส่วนของออกซิเจนมีผลต่อการติดไฟจึงเหมาะที่จะนำไปสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟมาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนด้วยการต้มน้ำพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานมีการติดไฟได้ดี มีควัน เนื่องจากผลของตัวประสานที่เป็นพอลิเมอร์

เมื่อนำไปต้มน้ำพบว่าอุณหภูมิของน้ำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 101.2 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาไหม้จมนมอดดับ 100 นาที และมีประสิทธิภาพการใช้งานจริงเท่ากับ 21.90 เปอร์เซ็นต์ และผลการศึกษาหาอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสานมีอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 5.03 กรัมต่อนาที เมื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมเท่ากับ 4.65 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวจากซังข้าวโพดผสมผงถ่านแมคคาเดเมียซึ่งมีต้นทุนต่อกิโลกรัมเท่ากับ 5.75 บาท (Teeta *et al.*, 2017) มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถลดปริมาณขยะ และสร้างมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งได้

เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและเหง้ามันสำปะหลัง จากงานวิจัยของ Saema & Thongboonrith (2016) พบว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดเท่ากับ 5,755 แคลอรีต่อกรัม มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 11.45 กรัมต่อนาที และเหง้ามันสำปะหลังมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,818 แคลอรีต่อกรัม มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 12.30 กรัมต่อนาที จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่า ถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟแบบใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสานมีอัตราการเผาไหม้ที่สูงกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด และถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง ให้ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด และสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ติดไฟง่าย แต่ยังมีควันขณะเผาไหม้ จึงไม่เหมาะกับการประกอบอาหารปิ้งย่าง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ ขึ้นรูปโดยใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสานพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากกาแฟคือ มวลกาแฟเหลือใช้ต่อแ่งมันสำปะหลังต่อน้ำ 8:2:10 ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน ปริมาณคาร์บอนเสถียร ความหนาแน่น พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มพช.238/2547 (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2006) และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีหาชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอลของตัวอย่างถ่านด้วยการวัดการดูดกลืนแสง ในช่วงอินฟราเรดโดยเทคนิค FTIR พบว่าตัวอย่างถ่านทุกชนิดปรากฏแถบการยืดพันธะคู่คาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) พันธะคู่คาร์บอน (C=C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ของวงแหวนอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในส่วนของคาร์บอนจะมีผลต่อการสร้างความร้อนเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง และในส่วนของออกซิเจนมีผลต่อการติดไฟ และสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟมาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนด้วยการต้มน้ำพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟขึ้นรูปโดยใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสานมีการติดไฟได้ดี มีควัน และมีประสิทธิภาพการใช้งานจริงเท่ากับ 21.90 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 5.03 กรัมต่อนาที เมื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมเท่ากับ 4.65 บาท ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถลดปริมาณขยะ และสร้างมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งได้ ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ในขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง ขึ้นกับอัตราส่วนตัวประสานและเครื่องอัดแท่งหากใช้เครื่องอัดแท่งที่สามารถควบคุมแรงอัดได้ อาจจะช่วยลดอัตราส่วนของตัวประสาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความร้อนและความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

- American society for testing and materials (ASTM). (2002). *Standard test Method for proximate analysis of coal and coke: D3172-89 in ASTM* (5th ed.). U.S.A: Annual Book of ASTM Standards.
- Chuaythong, T., Chaichana, T. & Amloy, S. (2014). Properties of charcoal from *Areca catechu* Linn Shells. *Thaksin University Journal*, 17(3), 68-75. (in Thai)
- Limousy, L., Jeguirim, M., Dutournie, P., Kraiem, N., Lajili, M. & Said, R. (2013). Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets. *Fuel*. 107, 323-329.
- Panpraneecharoen, S. & Rodkate, N. (2020). Proximate analysis and structural properties of arabica spent coffee ground. *YRU Journal of Science and Technology*. 5(1), 10-16. (in Thai)



- Saema, C. & Thongboonrith, K. (2016). The study on efficacy charcoal from corncob and charcoal from cassava rhizome. *The 3rd Kamphaeng Phet Rajabhat University National Conference*, December 22, 2016. Kamphaeng Phet Rajabhat University, 608-613. (in Thai)
- Silva, J. P., Mendez, G. L., Lombana, J., Marrugo, D. G. & Correa-Turizo, R. (2018). Physicochemical characterization of spent coffee ground (*Coffea arabica* L.) and its antioxidant evaluation. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 16, 220–225.
- Tanmankongworakoon, N. & Preedasuriyachai, P. (2015). A study on how to utilize coffee residue and tea residue for the production of briquettes. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 7(13), 15-26. (in Thai)
- Teeta, S., Nachaisin, M., Deejing, K. & Wanish, S. (2017). *Innovation production of green fuel for sufficiency way of living* (Research report). Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. (2006). *Community product standard for cooking wood charcoal* [Online]. Retrieved May 22, 2023, from: https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps657_47.pdf (in Thai)
- Tuntiwiwattanapun, N. (2019). Coffee grounds from coffee cups to circular economy concept for biological products. *Environmental Journal*, 23(1), 1-8. (in Thai)