

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ปรกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย^{1*} พรรณิภา ครองพลอย²

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย^{1*}

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย²

อีเมล : Kham.lru69@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 17 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 23 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ เพื่อศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องอัดถ่านขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร ความละเอียดของตะแกรงในการร่อนผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย 600 ไมครอน และผงเปลือกไข่ไก่ 300 ไมครอน เงื่อนไขในการกำหนดส่วนผสมระหว่างถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียและเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ร้อยละ 80:20 ร้อยละ 85:15 และร้อยละ 90:10 การผลิตถ่านอัดแท่งใช้ส่วนผสมของผงถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียและเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด แป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยจะผสมในอัตราส่วน 7:1:1 น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ จำนวน 500 กรัม จำนวนน้ำที่ใช้ในการต้มเพื่อทำการทดลอง จำนวน 1 ลิตร และระยะเวลาในการต้มน้ำ จำนวน 1 ชั่วโมง การเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยจะศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ ค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดและค่าพลังงานความร้อนของถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ผลการวิจัย พบว่า ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผาไหม้จนทำให้อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 30 นาที ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าพลังงานความร้อนมากที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด ร้อยละ 15 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุด 25.33 MJ/kg มีอุณหภูมิสูงสุด 97 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย เปลือกไข่ไก่ ถ่านอัดแท่ง ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง

Study on the efficiency of charcoal briquettes from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells

Pakonkiad Poongploys^{1*}, Punnipa Krongploy²

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University^{1*}

Faculty of Education, Loei Rajabhat University²

E - mail : Kham.lru69@gmail.com^{1*}

Received 17 March 2025

Revised 23 April 2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

This research to study the combustion duration and maximum boiling water temperature of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells, o study the calorific value of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells. and o study the relationship between the calorific value and the maximum boiling water temperature of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells. The scope of this research is that the researcher used a charcoal compressor with dimensions of 70 centimeters wide, 180 centimeters long, and 100 centimeters high. The screen resolution for sifting macadamia nut shell charcoal powder is 600 microns and chicken egg shell powder is 300 microns. The conditions for determining the mixture between charcoal from macadamia nuts and finely ground egg shells are divided into 3 levels: 80:20, 85:15 and 90:10. Charcoal briquettes are made by mixing charcoal powder from macadamia nut shells and finely ground egg shells, cassava flour and water in a ratio of 7:1:1, The weight of charcoal briquettes used in the efficiency study was 500 grams, the amount of water used for boiling to conduct the experiment was 1 liter, and the boiling time was 1 hour. Data collection the combustion duration, maximum boiling water temperature and calorific value of charcoal from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells.

The research found that the burning time and the maximum boiling water temperature of the charcoal briquette from macadamia nut mixed with chicken egg shells, which had the highest boiling water temperature, were the charcoal briquette from macadamia nut 85 % mixed with chicken egg shells 15% found to be 99 degrees Celsius and takes 30 minutes to burn until the temperature is constant. The calorific value of charcoal briquettes from macadamia nut mixed with chicken egg shells at highest calorific is the charcoal briquette from macadamia nut 85 % mixed with chicken egg shells 15% average heat energy value is 25.33 MJ/kg. The relationship between calorific value and maximum boiling water temperature of charcoal briquettes from macadamia nut shell mixed with chicken egg shell It was found that the highest heat energy and boiling water temperature at the mixing ratio of is from 85:15 the highest heat energy value of 25.33 MJ/kg and the highest water temperature of 97 degrees Celsius.

Keywords : charcoal briquettes from macadamia nut, chicken egg shells, charcoal briquettes

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้พลังงานเป็นปัจจัยที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งในระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิต และพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นมิวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานชีวมวล ถือเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิต โดยแหล่งของการสร้างพลังงานชีวมวลนั้นมนุษย์นำมาจากวัสดุที่มีในธรรมชาติ เช่น ต้นหญ้า ต้นไม้ กิ่งไม้ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร เช่น ฟาง ชี้อย่อย แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ เปลือกไม้ มูลสัตว์ รวมทั้งของเหลือหรือขยะจากครัวเรือน เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นพลังงานที่สำคัญอย่างมากสำหรับมนุษย์ในอนาคตเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกำลังจะหมดลง เชื้อเพลิงชีวภาพเริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากสารอินทรีย์ เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งล้วนมีประโยชน์มากกว่าเชื้อเพลิงทั่วไป ไม่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งในหลายส่วนของโลกเนื่องจากหาได้ง่ายและประหยัด การใช้ไฟในการเผาไหม้ถือเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของมนุษย์ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (Baskar Gurnathan and Renganathan Sahadevan, 2022) รูปแบบหลักของเชื้อเพลิงไม้ที่ใช้ ได้แก่ ไม้ซุง ไม้สำหรับทำฟืน เศษไม้ ถ่านไม้ และเม็ดไม้ ไม้พืนที่ตัดและผ่าเป็นท่อนๆ สำหรับใช้เผาในเตาผิง เตา เตาไฟ ฯลฯ เศษไม้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นของแข็งในรูปแบบของเศษไม้หรือชิ้นไม้ที่มีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน ซึ่งผลิตขึ้นโดยวิธีการทางวิศวกรรมโดยใช้ไม้บดเป็นผง โดยปกติจะมีรูปร่างทรงกระบอกที่จะมีหรือไม่มีหรือไม่มีสารเติมแต่งก็ได้ ถ่านไม้ผลิตขึ้นโดยการอัดชีวมวลไม้ที่บดเป็นผง ความสามารถในการผลิตพลังงานของไม้ขึ้นอยู่กับประเภทของไม้และปริมาณน้ำ สิ่งสำคัญคือต้องแน่ใจว่าไม้พืนที่ผ่านการแปรรูปนั้นแห้งที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถผลิตเชื้อเพลิงไม้ที่มีคุณภาพได้ สำหรับระบบทำความร้อนขนาดเล็ก เช่น สำหรับการปรุงอาหารในบ้าน เชื้อเพลิงไม้ไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 25 ไม้เนื้อแข็งมีปริมาณแคลอรี 14.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และหากถูกเผาที่ประสิทธิภาพ ร้อยละ 70 ก็จะสามารถนำพลังงานกลับคืนมาได้ 10.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ปัจจุบันประชากรโลกเริ่มพบปัญหาจากขยะที่เกิดจากอาหาร ซึ่งส่งผลกระทบและสร้างปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงในอินเดียและทั่วโลก ตามข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ระบุว่าอาหารประมาณ 67 ล้านตันถูกทิ้งในอินเดียทุกปี ซึ่งรวมถึงผลไม้และผักที่เน่าเสีย ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถรับประทานได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์และสัตว์ปีก อาหารดิบหรือสุกที่เหลือ เป็นต้น ปัจจุบันขยะจากอาหารมีประมาณร้อยละ 70-75 ถูกใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก และหลุมฝังกลบ แต่ปัญหาที่ตามมาคือการขุดหลุมฝังกลบส่งกลิ่นเหม็นและเป็นที่ทราบกันว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้คน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Baskar Gurnathan and Renganathan Sahadevan, 2022) จากปัญหาข้างต้นจึงมีความพยายามในการนำขยะที่เกิดจากอาหารมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพหรือถ่านอัดแท่งนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่นักวิชาการ นักวิจัยเริ่มให้ความสำคัญ หากพิจารณาเปลือกหรือกะลาแมคคาเดเมียซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปแมคคาเดเมียเป็นขยะที่เกิดจากอาหาร ซึ่งมีศักยภาพที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ซึ่งถ่านจากเปลือกแมคคาเดเมียมีความหนาแน่นรวมของถ่านน้อย มีรูพรุนสูง สามารถนำมาทำเป็นถ่านได้ ถ่านแมคคาเดเมียสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งดูดกลิ่น ดูดสารพิษ เร่งให้ข้าวหรืออาหารสุกเร็วขึ้น การผลิตของถ่านแมคคาเดเมีย ทำได้โดยนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่เหลือทิ้งในกระบวนการผลิตมาเผาด้วยกรรมวิธีที่เฉพาะ ก็จะได้ถ่านแมคคาเดเมียซึ่งเป็นขยะเหลือทิ้งที่มีประโยชน์ เปลือกกะลาแมคคาเดเมียมีเนื้อกะลาที่แข็งมาก และมีไขมันของแมคคาเดเมียอยู่ในเปลือกกะลา จึงทำให้ถ่านแมคคาเดเมียไฟแรง ติดทนนานกว่า 2 ชั่วโมง ไร้วีรณ ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารได้ บ้างยังได้ตี เพราะให้ความร้อนสูง มีเข้ถ่านน้อย ไม่แตกสะเก็ดไฟระหว่างเผาไหม้ และไม่มีก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ระเหยออกมา หรืออาจนำไปวางไว้ใต้ต้นไม้ช่วยเพิ่มแร่ธาตุในดินได้ (วีรชัย มัธยัสถ์ถาวร, 2567) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเปลือกหรือกะลาแมคคาเดเมียแล้วผู้วิจัยเห็นว่าหากมีการนำมาผสมกับส่วนผสมที่เป็นขยะจากอาหารชนิดอื่นอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการประกอบอาหารในครัวเรือน

หรือพัฒนาไปสู่กระบวนการของผู้ประกอบการรายย่อยหรือรายใหญ่ต่อไป ทั้งนี้ครัวเรือนส่วนใหญ่นิยมบริโภคไข่ไก่เป็นอาหารทำให้มีขยะที่เกิดจากเปลือกไข่ในแทบทุกครัวเรือนโดย เพิก กองศรี (2557) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำเปลือกไข่ไก่ซึ่งเป็นขยะจากอาหารในครัวเรือนมาเป็นตัวเร่งเชื้อเพลิงให้กับเตาถ่าน โดยเสนอว่าการก่อไฟเตาถ่าน นำเปลือกไข่ 3-4 ใบ ทบละเอียด ห่อด้วยกระดาษขนาดเท่า กำมือวางใต้ฟืนหรือถ่านที่จะก่อไฟจะช่วยให้ไฟในเตาถ่านแรงขึ้น องค์ประกอบของเปลือกไข่มีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) (อภิพงษ์ พุฒคำ, 2562) ทั้งนี้หากนำเปลือกไข่ไปเผาจะทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน จากนั้นจะปล่อยแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากเกิดการสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมคาร์บอเนต ทั้งนี้การเผาแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถทำได้พลังงานความร้อนสูง โดยมีอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส (พีชีชี กรุป, 2565) ดังนั้นหากนำเปลือกไข่มาเป็นส่วนผสมของถ่านและอาศัยคุณสมบัติของการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่เมื่อได้รับการเผาและเกิดเป็นพลังงานความร้อนสูง ย่อมจะทำให้ได้แหล่งพลังงานชีวภาพที่น่าสนใจและสามารถลดปริมาณขยะได้ จากการศึกษาแนวคิดทฤษฎีข้างต้น คณะผู้วิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้และเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย โดยนำมาผสมกับเปลือกไข่ไก่ถือเป็นพลังงานชีวภาพที่น่าสนใจและทำให้เชื้อเพลิงที่ให้ค่าพลังงานสูง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยกำหนดเงื่อนไขในการกำหนดส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง เพื่อเป็นการลดขยะจากอาหาร และเป็นประโยชน์ในการเรียนการสอน การวิจัย การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ทางเลือกของแหล่งพลังงานในการผลิตผลผลิตของตนเอง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่
2. เพื่อศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

3. วิธีการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผู้วิจัยมีวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 การเตรียมผงถ่านเมล็ดแมคคาเดเมีย

3.1.1 นำเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียมาเผาด้วยเตาไฟฟ้าดังรูปที่ 1 โดยผู้วิจัยเริ่มเผาเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยอุณหภูมิคงที่และให้ความร้อนอย่างช้าๆ ด้วยกระบวนการ Torrefaction เพื่อให้ได้ถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่เป็นของแข็ง ผู้วิจัยพบว่าใช้เวลาในการเผา 8 ชั่วโมง 30 นาที ได้ถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่เป็นของแข็ง สามารถวัดความร้อนของถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียได้ 800 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยทั้งถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียไว้ให้เย็น จะได้ถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 เตาเผาไฟฟ้า



รูปที่ 2 ถ่านแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำให้เป็นถ่าน

3.1.2 บดถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องบด และนำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 600 ไมครอน เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขการวิจัย ดังรูปที่ 3 จากนั้นนำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้จากเครื่องบดมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 600 ไมครอน และบดจนได้ผงถ่านแมคคาเดเมียที่มีขนาด 600 ไมครอน ดังรูปที่ 4

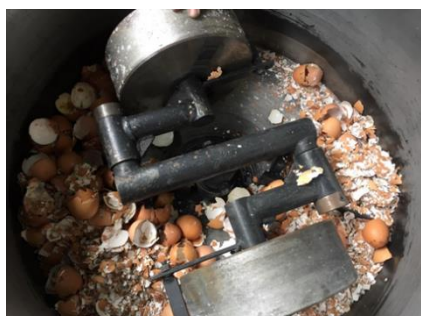


รูปที่ 3 การบดถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องบด



รูปที่ 4 ผงถ่านแมคคาเดเมียที่ผ่านการร่อนแล้ว

3.2 การบดเปลือกไข่ไก่ ผู้วิจัยนำเปลือกไข่ไก่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเพื่อไม่ให้เปลือกไข่ไก่ที่จะนำมาบดมีความชื้น จากนั้นนำเปลือกไข่ไก่ที่แห้งแล้ว นำมาบดด้วยเครื่องบด และนำผงเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากเครื่องบดมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 300 ไมครอน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การบดเปลือกไข่ไก่



รูปที่ 6 ผงเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการร่อนแล้ว

3.3 กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง

3.3.1 นำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการร่อนจนได้ขนาด 600 ไมครอน มาผสมกับผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียดขนาด 300 ไมครอน ตามอัตราส่วนร้อยละ 80:20, 85:15 และ 90:10 โดยใช้ปิกร่อนขนาด 80 มิลลิเมตร เป็นหน่วยในการกำหนดอัตราส่วน ร้อยละในการกำหนดอัตราส่วนมีดังนี้

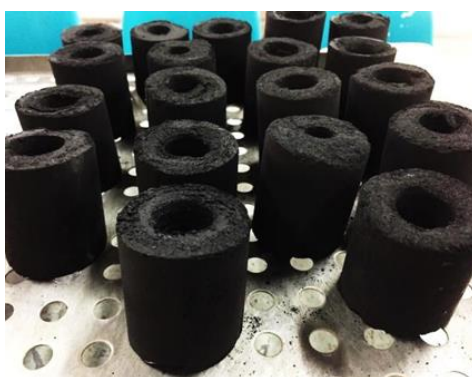
3.3.1.1 อัตราส่วน ร้อยละ 80:20 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 80 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 20

3.3.1.2 อัตราส่วน ร้อยละ 85:15 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 85 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 15

3.3.1.2 อัตราส่วน ร้อยละ 90:10 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 90 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 10

เมื่อผสมผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียบดละเอียดขนาด 600 ไมครอน กับผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียดขนาด 300 ไมครอน ตามอัตราส่วนร้อยละ 80:20, 85:15 และ 90:10 เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากันเพื่อเตรียมผลิตถ่านอัดแท่งต่อไป

3.3.2 การผลิตถ่านอัดแท่ง ผู้วิจัยใช้ผงถ่านที่ผสมตามเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขในข้อ 3.3.1 นำมาผสมกับ แป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยจะผสมในอัตราส่วน ผงถ่าน:แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ ในอัตราส่วน 7:1:1 จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งแบบอัดเย็น แล้วตัดแท่งถ่านให้มีความยาว 4.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ถ่านอัดแท่ง

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

3.3.1 การศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด

1. นำถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากอัตราส่วนผสมต่าง ๆ มาทำผิวดัดให้แห้ง เพื่อลดความชื้นในแท่งถ่าน จนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 11.30 ฐานแห้ง

2. นำถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ซึ่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักจำนวน 500 กรัม

3. นำไปทดสอบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยนำไปใช้ต้มน้ำปริมาณ 1 ลิตร

4. วัดอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดและระยะเวลาในการเผาไหม้

3.3.2 การศึกษาค่าพลังงานความร้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน Bomb Calorimeter ของถ่านอัดแท่งถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ในแต่ละอัตราส่วนตามเงื่อนไขการทดลอง

3.3.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยพิจารณาค่าพลังงานความร้อนควบคู่กับอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด

4. ผลการวิจัย

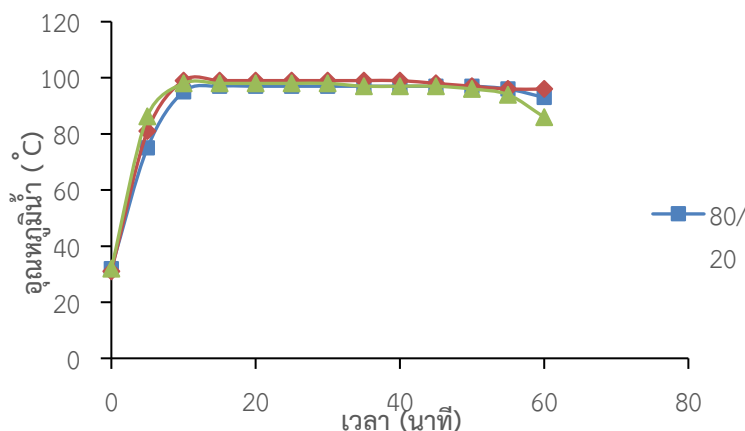
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผลการวิจัยพบว่า

4.1.1 อัตราส่วนผสมร้อยละ 80: 20 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 97 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 15-50 นาที รองลงมา คือ 96 องศาเซลเซียส ณ เวลา 55 นาที และอุณหภูมิน้ำต้มต่ำสุด 75 องศาเซลเซียส ณ เวลา 5 นาที และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 35 นาที

4.1.2 อัตราส่วนผสมร้อยละ 85: 15 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 10-40 นาที รองลงมา คือ 98 องศาเซลเซียส ณ เวลา 45 นาที และอุณหภูมิน้ำต้มต่ำสุด 81 องศาเซลเซียส ณ เวลา 5 นาที เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 30 นาที

4.1.3 อัตราส่วนผสมร้อยละ 90: 10 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 98 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 10-30 นาที รองลงมา คือ 97 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 35-45 นาที และต่ำสุด 86 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 5 นาที เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 20 นาที รายละเอียดดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

4.2 ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ แสดงผลการวิจัยได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

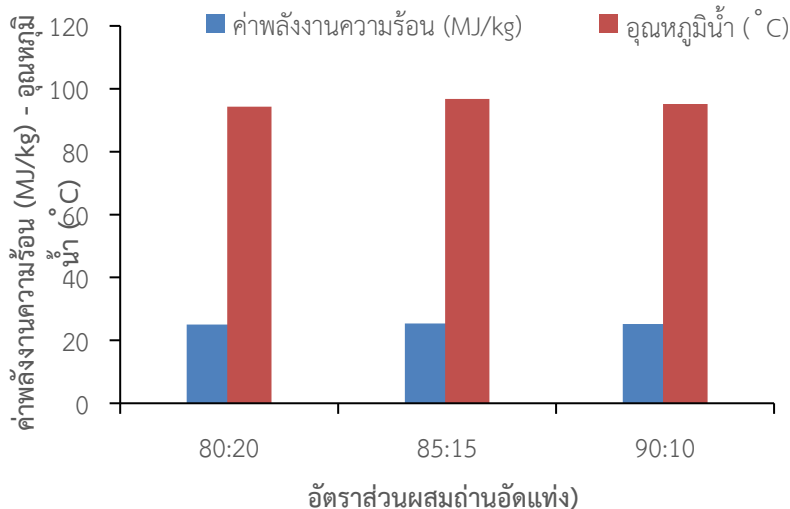
ครั้งที่	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)		
	80:20	85:15	90:10
1	25.40	25.20	25.07
2	24.88	25.24	25.52
3	24.83	25.54	25.08
เฉลี่ย	25.04	25.33	25.22

หน่วย:เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมที่มีค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มากที่สุดคือ อัตราส่วนผสม ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และอัตราส่วนที่มีค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไบน้อยที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.04 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผลการวิจัยพบว่า

ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุด 25.33 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 97 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าพลังงานความร้อน 25.22 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 95 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่ต่ำที่สุด คือ อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าพลังงานความร้อน 25.10 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 94 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาในการต้มน้ำทั้งหมด 60 นาที เมื่อพิจารณาค่าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ น้ำ นั่นคือ ถ้ามีค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นก็จะมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิของน้ำต้มสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ความร้อนของฟูรีเยร์ กล่าวคือ อัตราการไหลของความร้อนที่สูงจะส่งผลต่ออุณหภูมิของวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงตาม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคงที่ของอุณหภูมิแต่ละเงื่อนไขของอัตราส่วนผสม มีความแตกต่างกัน ส่วนค่าความร้อนของอัตราส่วนผสม 85:15 สูงสุดนั้น เนื่องจากเมล็ดของแมคคาเดเมียมีความแข็งและเนื้อภายในของกะลามีความละเอียดมาก ทำให้น้ำหนักต่อปริมาตรสูง เมื่อถูกนำมาทำเป็นถ่านจึงส่งผลต่อความร้อนสูงตาม เมื่อเทียบกับไม้ฟืนทั่วไป ส่วนปริมาณของผงถ่านแมคคาเดเมีย 85 ส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่า 80 และ 90 ส่วน เนื่องจากอัตราส่วนผสม 85 ส่วน มีค่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่า และประกอบกับอัตราส่วนผสมของผงเปลือกไข่มีอัตราส่วนผสม 15 ส่วน ที่เหมาะสม ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ได้ดีและมีคุณสมบัติเพิ่มความร้อนให้กับถ่านมากขึ้น รายละเอียดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากผลการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดคือ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 97 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมร้อยละ 90: 10 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 98 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่สะท้อนให้เห็นว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดของอัตราส่วนในการผสมถ่านอัดแท่ง คือ เปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 และเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 โดยหากมีปริมาณของเปลือกไข่มากเกินไป (ร้อยละ 20) หรือมีปริมาณของเปลือกไข่น้อยเกินไป (ร้อยละ 10) อาจทำให้ไม่ได้ค่าพลังงานความร้อน (อุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด) มากที่สุดได้ เนื่องจากอัตราส่วนในการผสมถ่านอัดแท่งขณะผู้วิจัยนำเอาข้อดีของถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่มีคุณสมบัติของกะลาที่แข็งและเมื่อเผาแล้วทำให้มีค่าพลังงานความร้อนสูงและคุณสมบัติของถ่านจากเปลือกไข่ไก่ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่และสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้น ส่วนผสมของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะต้องอยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสม ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยถ่านอัดแท่งผสมเปลือกไข่ไก่ร้อยละ 80 : 20 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2551) พบว่า กรณีที่ผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านฟืนไม้กับเปลือกไข่ ทำให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 92 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมินี้คงที่ อุณหภูมิจะไม่คงที่ และค่อยๆ ลดลงจนมีอุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ผลการวิจัยในครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพมากกว่าถ่านอัดแท่งจากถ่านฟืนไม้กับเปลือกไข่ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2551) โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ถ่านอัดแท่งสามารถรักษาอุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ต้มให้มีพลังงานความร้อนคงที่ เอาไว้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณของถ่านอัดแท่ง ซึ่งพบว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ในทุกอัตราส่วนผสมมี

ระยะเวลาการรักษาน้ำอุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ต้มให้มีพลังงานความร้อนคงที่ตลอด โดยเฉลี่ยสามารถรักษาน้ำอุณหภูมิความร้อนสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่เอาไว้ได้ประมาณ 50-60 นาที (จากรูปที่ 8)

จากผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ค่าความร้อนของถ่านแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มีค่าเฉลี่ย 25.04 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนถ่านไม้อัดแท่งของ (ดวงกมล ดังโพนทอง, 2559) มีค่าเท่ากับ 22.68 เมกะจูลต่อกิโลกรัม พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไกร้อยละ 80 : 20 มีมากกว่า เมื่อคิดเป็นค่าความแตกต่างของพลังงาน พบว่าอัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 มีค่าพลังงานความร้อนมากกว่า 1.10 เท่า

เมื่อพิจารณาค่าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ น้ำ กล่าวคือ ถ้ามีค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นก็จะมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิของน้ำต้มสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ความร้อนของฟูเรียร์ กล่าวว่า อัตราการไหลของความร้อนที่สูงจะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงตาม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคงที่ของอุณหภูมิในแต่ละเงื่อนไขของอัตราส่วนผสม มีความแตกต่างกัน ส่วนค่าความร้อนของอัตราส่วนผสม 85:15 สูงสุดนั้น เนื่องจากเมล็ดของแมคคาเดเมียมีความแข็งและเนื้อภายในของกะลามีความละเอียดมากทำให้มีน้ำหนักต่อปริมาตรสูง เมื่อถูกนำมาทำเป็นถ่านจึงส่งผลกระทบต่อความร้อนสูงตาม เมื่อเทียบกับไม้ฟืนทั่วไป ส่วนปริมาณของผงถ่านแมคคาเดเมีย 85 ส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่า 80 และ 90 ส่วน เนื่องจากอัตราส่วนผสม 85 ส่วน มีค่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่า และประกอบกับอัตราส่วนผสมของผงเปลือกไข่มีอัตราส่วนผสม 15 ส่วน ที่เหมาะสม ที่ส่งผลการเผาไหม้ได้ดีและมีคุณสมบัติเพิ่มความร้อนให้กับถ่านมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรุจิภาส สีลาดเลา (2552) กล่าวว่า ผงเปลือกไข่ส่งเสริมให้สมบัติทางความร้อนของถ่านในด้านการหุงต้มเพิ่มขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากวัสดุที่เป็นขยะจากอาหารชนิดอื่น นอกเหนือจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียโดยนำมาผสมเปลือกไข่ไก่

เอกสารอ้างอิง

- ดวงกมล ดังโพนทอง. (2559). การเปรียบเทียบค่าความร้อนและ ความหนาแน่น ของถ่านไม้อัดแท่งจากมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อน. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 9(1), 1-13.
- บรรณาธิการ พิชิตกรูป . (2565). แคลเซียมคาร์บอเนตคืออะไรและใช้ทำอะไร. พิชิต กรูป.
<https://www.products.pcc.eu/th/blog>
- เพิก กองศรี. (2557). เคล็ดลับการใช้เปลือกไข่เป็นตัวเร่งเชื้อเพลิงสำหรับเตาถ่าน. รักบ้านเกิด.
<https://www.rakbankerd.com/agriculture/print.php?id=4995&s=tblanimal>
- รุจิภาส สีลาดเลา. (2551). ความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งผสมเปลือกไข่. ปรินญาณพนธ์
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วีรชัย มัธยัสถ์ถาวร. (2567). ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากกะลามะคาเดเมีย วัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปคุณภาพสูงติดไฟนานไร้ควัน. เทคโนโลยีชาวบ้าน. https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_269300
- อภิพงษ์ พุ่มคำ. (2562). เปลือกไข่ไม่เหลือทิ้ง เปลี่ยนของเสียให้มีค่าด้วยความร้อน. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. <https://researchcafe.tsri.or.th/egg-resource-management/>

Baskar Gurunathan and Renganathan Sahadevan. (2022). *Biofuels and Bioenergy A Techno-Economic*. Elsevier Inc. All rights reserved. Approach.

Hiemstra-van der Horst, Greg & Hovorka, Alice J., (2008). Reassessing the energy ladder Household energy use in Maun, Botswana. *Energy Policy*, 36(9), p 3333-3344.

คุณค่าทางวิชาการ

เป็นประโยชน์ในการเรียนการสอน การวิจัย การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ทางเลือกของแหล่งพลังงานในการผลิตผลผลิตของตนเอง