

การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ (กากโหระพา) ในอุตสาหกรรมเครื่องหอม

Production of charcoal briquettes from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue in the flavors industry

น้ำอ้อย ปัญญา¹ และ นฎาภัสส์ คุ่มกลาง^{1*}
Namooy Panya¹ and Nadaphast Koomklang^{1*}

Received: 11 January 2024 ; Revised: 17 April 2024 ; Accepted: 9 May 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (กากโหระพา) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเครื่องหอมในระดับอุตสาหกรรมของโรงงานเครื่องหอม ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยนำเศษวัสดุดิบมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที่ นำไปขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่ทำการศึกษา มีทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ 13:1:20, 13:1:10, 10:1:10, 10:0.5:10 และ 10:0.5:20 โดยน้ำหนัก (ผงถ่านจากเศษวัสดุเหลือใช้: แป้งมันสำปะหลัง: น้ำ) ทดสอบ 3 ข้อ พบว่าที่อัตราส่วน 13:1:20 มีค่าการต้านทานแรงกระแทกสูงที่สุด และจากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งโดยใช้การต้มน้ำ มีระยะเวลาเริ่มติดไฟ และระยะเวลาต้มน้ำเดือดสั้นที่สุด คว้นน้อย ถ่านไม่แตกประทุ โดยมีค่าพลังงานความร้อน 5257.5 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ค่าความชื้นร้อยละ 4.85 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 22.44 สารระเหยร้อยละ 71.25 และเถ้าร้อยละ 6.31 ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพิ่มรายได้ และลดปัญหาการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อส่งเสริมความยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง, เชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง, วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหอม, กากโหระพา

Abstract

This study aimed to produce charcoal briquettes from the waste materials Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue in the flavors and fragrances industry in Phra Nakorn Si Ayutthaya province. Materials were introduced into the carbonization process at 500 °C and a heating rate of 10 °C/min. Charcoal briquettes were formed by screw compression mixing with cassava starch in five-percent ratios. The mixing ratios consisting of charcoal powder from the waste materials, cassava starch, and water are 13:1:20, 13:1:10, 10:1:10, 10:0.5:10, and 10:0.5:20. Following three tests, the ratio of 13:1:20 was determined to have the highest impact resistance. Besides, the performance tests of charcoal briquettes using boiling water showed the shortest ignition and boiling water times, minimal ash, non-smoke, and non-explosion. The heating value was 5257.50 kcal/kg, 4.85% moisture content, 22.44% fixed carbon, 71.25 volatile matters, and 6.31% bottom ash, satisfying the Thai Community Standard Product (238/2547). Therefore, charcoal briquettes from Thai basil extraction residue in the flavor and fragrance industries can be used as renewable energy, increase income, and reduce the problem of agricultural waste management to promote sustainability and minimize environmental impact.

Keywords: Charcoal briquette, Solid biomass fuel, Waste materials in the flavors and fragrances industry, Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

¹ Faculty of Science and Technology, Raja Mangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya District, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand.

* Corresponding author. E-mail: Nadaphast.k@rmutsb.ac.th

บทนำ

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเครื่องหอม เช่น น้ำมันหอมระเหย และสารสกัดจากธรรมชาติต่างๆ ในระดับอุตสาหกรรม จะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเศษพืชสมุนไพร เช่น ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด ขมิ้น กะเพรา โหระพา ฯลฯ หลังการสกัดรวมเป็นจำนวนหลายตันต่อสัปดาห์ ซึ่งในการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้จะถูกทิ้งร่วมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดลงในบ่อพัก จากนั้นจะแยกส่วนที่เป็นของเหลว และกากพืชออกจากกัน โดยในส่วนของกากพืชหลังสกัด ผู้ประกอบการมักนำไปกองทิ้งไว้ในพื้นที่ส่วนบุคคลที่ห่างไกลจากชุมชน โดยไม่สามารถเผาทิ้งได้เนื่องจากจะก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นควัน และสร้างความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม จึงต้องปล่อยไว้จนย่อยสลายไปเอง โดยไร้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรตามธรรมชาติใช้ระยะเวลานาน และในระหว่างการย่อยสลายตามธรรมชาติจะมีปัญหาหลายอย่าง เช่น การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากการหมักตามธรรมชาติ เมื่อกองทิ้งไว้นานๆ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น และเป็นการทำลายทัศนียภาพ (กานต์ วิรุณพันธ์ และคณะ, 2560) ด้วยสาเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำกากพืชหลังการสกัด ซึ่งเดิมเป็นปัญหาที่ต้องกำจัด และถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์ มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งทดแทนการใช้ไม้จากธรรมชาติ เพื่อช่วยอนุรักษ์ธรรมชาติ และเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน ธุรกิจร้านอาหาร และธุรกิจใดๆ ที่ต้องใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ได้ เนื่องจากถ่านอัดแท่งให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ และระยะเวลาในการให้ความร้อนนานกว่าถ่านไม้ปกติ ปริมาณควันและเถ้า น้อย ไม่มีเปลวไฟ ไม่แตกปะทุ ใช้งานง่าย และประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดความชื้นและบำบัดกลิ่นได้อีกด้วย (ทิพย์วรรณ ช่วยทอง และคณะ, 2557; นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล และคณะ, 2558 ; กานต์ วิรุณพันธ์ และคณะ, 2560)

ถ่านอัดแท่งในท้องตลาดส่วนใหญ่ จะทำจากไม้ไผ่ แกลบ และกะลามะพร้าว ซึ่งต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งจากราคาวัตถุดิบ เนื่องจากมีทางเลือกในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่น แกลบ ใช้ในการทำดินเพาะ ไม้ไผ่ และกะลามะพร้าว สามารถใช้ทำภาชนะและเครื่องเรือนต่างๆ ทำให้ต้นทุนของวัสดุเหล่านี้สูงขึ้น โดยปัจจุบัน (อ้างอิงราคาปี พ.ศ. 2566) ราคากะลามะพร้าวสดอยู่ที่กิโลกรัมละ 5 บาท เมื่อสั่งซื้อมากกว่า 3 ตันขึ้นไป ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเป็นจำนวนมาก และถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานชีวมวล จึงนับเป็นการเพิ่มมูลค่าจากวัตถุดิบที่ไม่ต้องลงทุน ช่วยแก้ไขปัญหาในการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561-2580) ยุทธศาสตร์ที่ 2 ด้านการ

สร้างความสามารถในการแข่งขันการเกษตร ซึ่งประเด็นหลักที่ 2 คือ การเกษตรสร้างมูลค่า ที่ส่งเสริมให้มีการนำวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัย จึงได้เลือกใช้กากโหระพา ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเครื่องหอมในระดับอุตสาหกรรมของโรงงานในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาผลิตเป็นถ่านจากนั้นถ่านที่ได้มาบดและอัดแท่งร่วมกับตัวประสาน และทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยกำหนดอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ สำหรับผลิตถ่านอัดแท่งในอัตราส่วน ผงถ่านจากกากโหระพา: แป้งมันสำปะหลัง: น้ำ ทั้งสิ้น 5 อัตราส่วนได้แก่ 13:1:20, 13:1:10, 10:1:10, 10:0.5:10 และ 10:0.5:20 โดยน้ำหนัก จากนั้นจะนำไปขึ้นรูปให้เป็นแท่งด้วยวิธีการอัดเย็น และทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา กับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

การทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำเศษวัตถุดิบสมุนไพรที่เหลือทิ้งจากการสกัดเอาน้ำมันหอมระเหย และสารสำคัญอื่นออกแล้ว จากโรงงานเครื่องหอมไทย-จีน มาซึ่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปเข้าเครื่องสับย่อยให้มีขนาดสม่ำเสมอ งานวิจัยนี้ใช้กากโหระพาที่เหลือจากการสกัดสารสำคัญของโรงงานเครื่องหอมไทย-จีน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาทำการลดขนาดด้วยเครื่องสับย่อยให้มีขนาดสม่ำเสมอ (Figure 1) หลังจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่ใช้หลักการอัดเย็น สกรูอัด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู 2.5 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวป้อน 7.5 เซนติเมตร และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 6.5 เซนติเมตร (Figure 2) โดยให้มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 8-12 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัดเป็นก้อนได้ง่าย แต่ถ้ามีความชื้นมากเกินไปเกินกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการทำเป็นถ่านมากเกินไป (Sen *et al.*, 2016; ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ และคณะ, 2559) หลังจากนั้นตัดกากโหระพาที่อัดก้อนแล้วให้มีขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่นำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อให้แปรสภาพเป็นถ่าน จากนั้นนำไปบดเป็นผง (Figure 3) และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 10 mesh จะได้ผงถ่านจากกากโหระพา จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนัก เก็บในถุงซิปล็อค (zip loc) บรรจุในโถสุญญากาศ จนกว่าจะทำการทดลองขั้นตอนต่อไป

2. การผลิตถ่านอัดแท่ง เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา

ทำการผลิตถ่านอัดแท่งด้วยการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 3 ซ้ำ โดยการแปรผันอัตราส่วนของผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ โดยน้ำหนัก ดังนี้ อัตราส่วนที่ 1 13:1:20 อัตราส่วนที่ 2 13:1:10 อัตราส่วนที่ 3 10:1:10 อัตราส่วนที่ 4 10:0.5:10 และอัตราส่วนที่ 5 10:0.5:20 โดยน้ำหนัก โดยในการผสม จะเตรียมตัวประสานน้ำแป้งมันสำปะหลังก่อน โดยต้มน้ำให้ร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงใส่แป้งมันสำปะหลังลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด กวนจนข้นเหนียว และมีลักษณะใส จึงใส่ผงถ่านลงไปกวนผสมให้เข้ากัน นำส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ ที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน ขนาดถ่านอัดแท่งที่ได้ จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร และมีรูกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรตรงกลาง ตัดถ่านอัดแท่งให้มีความยาวประมาณ 10.00 เซนติเมตร จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที บันทึกน้ำหนักผลผลิตที่ได้ เพื่อหาค่าผลผลิตร้อยละ โดยในการศึกษาวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation-SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และหาทริตแมนท์ที่ดีที่สุด (pick the winner) ด้วยวิธีการของดันเน็ตต์ (Dunnett's test)



Figure 1 Thai basil extraction residue



Figure 2 Compressing the residue before drying



Figure 3 Charcoal powder before mixing



Figure 4 Charcoal Briquette from Thai basil extraction residue

3. การหาค่าการต้านทานการกระแทกของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา

การทดสอบถ่านโดยใช้วิธีการตกกระแทก (Richard, 1990) ทำโดยการนำถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา มาทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น ต่อการทดสอบแต่ละครั้ง จากนั้น ปล่อยให้ชิ้นถ่านอัดแท่งตกกระแทกพื้นที่เป็นคอนกรีตเรียบ ที่ความสูง 2 เมตร โดยจะทำการปล่อยกระแทกไปจนกระทั่งมีการแตกหัก (แต่ไม่เกิน 50 ครั้ง/ชิ้น) ทำการบันทึกจำนวนครั้งที่ปล่อยชิ้นถ่านอัดแท่ง และจำนวนชิ้นถ่านอัดแท่งที่มีการแตกหัก โดยการแตกหักจะพิจารณาจากขนาดเชื้อเพลิงก่อนการทดสอบ ถ้ามากกว่า 10 เปอร์เซนต์ ของขนาดเดิม จะถือว่ามีการแตกหัก จากนั้นหา ค่าดัชนีการต้านทานแรงกระแทก (impact resistance index) โดยค่าต้านทานแรงกระแทกต่ำสุดที่ยอมรับได้ต้องมีค่าตั้งแต่ 50 ขึ้นไป

$$IRI = 100 \times \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปล่อยชิ้นถ่านอัดแท่ง}}{\text{จำนวนชิ้นถ่านอัดแท่งที่แตกหัก}}$$

4. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพาด้วยการต้มน้ำ

นำถ่านอัดแท่งจากกากโหระพาแต่ละอัตราส่วน มาศึกษาสมบัติที่พึงประสงค์ในด้านอื่นๆ ของถ่านอัดแท่ง เช่น ไม่มีการแตกประทุเป็นประกาย/สะเก็ดไฟ หรือมีน้อย ลูกไหม้ ให้ความร้อนสูงนาน และสม่ำเสมอ ไม่มีควัน หรือมีควันน้อยมาก โดยการนำไปต้มน้ำ (ปฐมศก วิไลพล และคณะ, 2562) โดยบันทึกระยะเวลาในการติดไฟ ระยะเวลาที่น้ำเดือด และระยะเวลาที่ถ่านมอดดับ โดยพิจารณาการเกิดควัน และการแตกประทุของถ่าน จากนั้น คัดเลือกอัตราส่วนที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการประเมินคุณภาพ และสมบัติทางเชื้อเพลิงต่อไป

5. การทดสอบคุณสมบัติการประเมินคุณภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิง

คุณสมบัติการประเมินคุณภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิง สามารถทดสอบได้โดยใช้อุปกรณ์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ดังนี้ ค่าความร้อน (Heating value) ตามมาตรฐาน ASTM D3286 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile matters) ตามมาตรฐาน

ASTM D3286 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D3176 ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามมาตรฐาน ASTM D3174 และปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM D3173 (ASTM, 1984)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลการเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบให้เป็นผงถ่าน

จากตัวอย่างวัตถุดิบ 100 กิโลกรัม เมื่อผลิตที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที่ และคงอุณหภูมิไว้ 10 นาที่ จะได้ผงถ่าน 30-35 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30-35 ของน้ำหนักวัตถุดิบ โดยถ่านกากโหระพาที่บดแล้วจะมีความชื้นร้อยละ 5 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 8 ซึ่งใกล้เคียงกับงานของวิญญา เทพสาสน์กุล และคณะ (2559) ที่ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทกะลามะพร้าว โดยนำกะลามะพร้าวมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าการให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที่ และคงอุณหภูมิไว้ 10 นาที่ จะได้ถ่านกะลามะพร้าวร้อยละ 29-30 ของน้ำหนักวัตถุดิบ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชันให้สูงขึ้นจนถึง 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านกะลามะพร้าวเพียงร้อยละ 28.0 แต่จะมีสัดส่วนของคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้น และมีปริมาณสารระเหยลดลง

2. ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพาตามอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อนำถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 120 นาที่ พบว่าที่อัตราส่วน ผงถ่านกากโหระพา: แป้งมันสำปะหลัง: น้ำ ที่ 13:1:20 และ 13:1:10 จะทำให้ถ่านมีลักษณะทางกายภาพที่ดี ขึ้นรูปได้ ผิวถ่านเรียบ ไม่มีรอยแตก ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มผงถ่าน จะทำให้การยึดเกาะของถ่านดีขึ้น แต่ต้องไม่มากเกินไป จนไม่สมดุลต่อแรงยึดเหนี่ยวของตัวประสาน ซึ่งจะเห็นได้จากการลดอัตราส่วนแป้งจาก 1 เป็น 0.5 ที่ผิวถ่านจะมีรอยแตก หากปริมาณน้ำที่ใช้เตรียมน้ำแป้งมันมากเกินไปจะทำให้ถ่านอัดแท่งไม่คงรูป ดังแสดงใน Table 1 นอกจากนี้ความชื้นที่มากขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบนานขึ้น เป็นการสิ้นเปลืองระยะเวลา และพลังงาน

Table 1 Physical characteristics Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio		External physical characteristics and adhesion
	Charcoal powder:	cassava starch: water	
1	13:1:20		Good adhesion, charcoal surface has no cracks
2	13:1:10		Good adhesion, charcoal surface has no cracks
3	10:1:10		Medium adhesion, charcoal surface has cracks
4	10 0.5: 10		Medium adhesion, charcoal surface has cracks
5	10:0.5:20		Adhesion is quite low, unable to form and the surface of the charcoal after baking has cracks

3. ผลการหาค่าการต้านทานการกระแทกของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่าน จากอัตราส่วน 10:1:10 เป็น 13:1:20 และ 13:1:10 ค่าดัชนีการต้านทานแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($F=163323$ และ $P=0.00$) โดยถ่านอัดแท่งจะมีค่าการต้านทานแรงกระแทกสูงที่สุด เท่ากับ 285 ที่อัตราส่วน 13:1:20 การที่ค่าดัชนี

การต้านทานแรงกระแทกที่อัตราส่วน 13:1:10 ต่ำกว่า 13:1:20 น่าจะมาจากปริมาณน้ำแบ่งน้อยกว่า ทำให้การผสมเกิดขึ้นไม่ทั่วถึง และการลดปริมาณแป้ง จะทำให้ค่าการต้านทานแรงกระแทกลดลง นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณน้ำมากเกินไป จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคมากเมื่อน้ำระเหย ถ่านอัดแท่งจึงมีค่าการต้านทานแรงกระแทกต่ำลง ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Impact resistance testing of Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio		IRI			Average of impact resistance index (IRI) $\pm$ SD
	Charcoal powder:	cassava starch: water	1st	2nd	3rd	
1	13:1:20		284.98	285.21	284.89	285.03 $\pm$ 0.17
2	13:1:10		250.55	250.20	249.66	250.14 $\pm$ 0.45
3	10:1:10		209.53	210.05	210.85	210.14 $\pm$ 0.66
4	10:0.5:10		159.95	160.22	160.03	160.07 $\pm$ 0.14
5	10:0.5:20		48.82	48.26	48.35	48.48 $\pm$ 0.30

4. ผลการทดสอบการให้ความร้อนด้วยการต้ม

น้ำ
จากทดสอบความร้อนด้วยการต้มน้ำ โดยใช้ถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน น้ำหนัก 200 กรัม ต้มน้ำ 100 มิลลิลิตร จับเวลาต้มน้ำ ระยะเวลาที่ทำให้น้ำจากอุณหภูมิห้องเข้าสู่จุดเดือด และระยะเวลามอดดับสูงสุด พบว่าแต่ละอัตราส่วน มีความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านอัดแท่ง ที่ขึ้นรูปในอัตราส่วน 13:1:20 โดยน้ำหนัก มีระยะเวลาต้มน้ำที่ 6.09 $\pm$ 0.04 นาที ($F=868.40$ และ $P=0.00$) สามารถทำให้น้ำเดือดได้เร็วที่สุด 20.40 $\pm$ 0.07 นาที ($F=770254.61$ และ $P=0.00$) และมีระยะเวลามอดดับนาน 40 นาที ($F=21883.71$ และ $P=0.00$) ดังแสดงใน Table 3-5

Table 3 The ignition time testing of Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio		1st (min)	2nd (min)	3rd (min)	Average of ignition time $\pm$ SD (min)
	Charcoal powder:	cassava starch: water				
1	13:1:20		6.10	6.05	6.12	6.09 $\pm$ 0.04
2	13:1:10		6.08	6.13	6.03	6.08 $\pm$ 0.05
3	10:1:10		5.12	5.23	5.18	5.18 $\pm$ 0.06
4	10:0.5:10		7.02	7.13	7.09	7.08 $\pm$ 0.06
5	10:0.5:20		5.03	5.06	5.11	5.07 $\pm$ 0.04

Table 4 Water-boiling testing of Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio Charcoal powder: cassava starch: water	1st (min)	2nd (min)	3rd (min)	water-boiling time $\pm$ SD (min)
1	13:1:20	20.38	20.35	20.48	20.40 $\pm$ 0.07
2	13:1:10	30.35	30.42	30.38	30.38 $\pm$ 0.04
3	10:1:10	35.20	35.15	35.12	35.16 $\pm$ 0.04
4	10:0.5:10	38.15	38.20	38.22	38.19 $\pm$ 0.04
5	10:0.5:20	37.22	37.28	37.18	37.23 $\pm$ 0.05

Table 5 Overall usage times testing of Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio Charcoal powder: cassava starch: water	1st (min)	1st (min)	1st (min)	Average of overall usage times $\pm$ SD (min)
1	13:1:20	70.05	70.10	70.03	70.06 $\pm$ 0.04
2	13:1:10	75.03	75.00	75.09	75.04 $\pm$ 0.05
3	10:1:10	78.10	78.02	78.01	78.04 $\pm$ 0.05
4	10:0.5:10	75.10	75.05	75.03	75.06 $\pm$ 0.04
5	10:0.5:20	70.02	70.00	70.07	70.03 $\pm$ 0.04

จากการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านด้วยการต้มน้ำ และบันทึกลักษณะการติดไฟของถ่านกากโหระพาอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถแสดงผลได้ดัง Table 6 ซึ่งจะพบว่าที่อัตราส่วน 13:1:20 ให้ผลการทดสอบดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีการต้านทานแรงกระแทก (IRI) เท่ากับ 285.03 $\pm$ 0.17 มีระยะเวลาในการติดไฟ 6.09 $\pm$ 0.04 นาที และระยะเวลาน้ำเดือดเร็วที่สุดที่ 20.40 $\pm$ 0.07 นาที และเวลามอดดับ 70.06 $\pm$ 0.04 นาที และที่อัตราส่วน 13:1:10 ให้ผลการทดสอบที่ดีรองลงมา

โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีการต้านทานแรงกระแทก (IRI) เท่ากับ 250.14 $\pm$ 0.45 มีระยะเวลาในการติดไฟ 6.08 $\pm$ 0.05 นาที และระยะเวลาน้ำเดือด 30.38 $\pm$ 0.04 นาที และเวลามอดดับ 75.04 $\pm$ 0.05 นาที ทางผู้วิจัย จึงได้เลือกอัตราส่วน 13:1:20 สำหรับทำการศึกษาต่อไป เนื่องจากมีค่าต้านทานแรงกระแทกที่สูงกว่า และสามารถจุดติดไฟได้เร็วกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ไม่มีการแตกประทุ และไม่มีควัน ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Combustion characteristics testing of Charcoal briquette from Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) extraction residue

No.	Blended samples ratio Charcoal powder: cassava starch: water	ignition time (min)	water-boiling time (min)	Overall usage times (min)	Charcoal sparks	Amount of Smoke
1	13:1:20	6.09 $\pm$ 0.04	20.40 $\pm$ 0.07	70.06 $\pm$ 0.04	No sparks	No
2	13:1:10	6.08 $\pm$ 0.05	30.38 $\pm$ 0.04	75.04 $\pm$ 0.05	No sparks	No
3	10:1:10	5.18 $\pm$ 0.06	35.16 $\pm$ 0.04	78.04 $\pm$ 0.05	sparks	moderate
4	10 0.5: 10	7.08 $\pm$ 0.06	38.19 $\pm$ 0.04	75.06 $\pm$ 0.04	sparks	less
5	10:0.5:20	5.07 $\pm$ 0.04	37.23 $\pm$ 0.05	70.03 $\pm$ 0.04	sparks	less

5. ผลการทดสอบคุณสมบัติการประเมินคุณภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากการทดสอบ คุณสมบัติการประเมินคุณภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) โดยแสดงค่าความร้อน (Heating value) ปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ปริมาณเถ้า (Ash content) และปริมาณความชื้น (Moisture content) พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา ที่อัตราส่วน 13:1:20 มีค่าพลังงานความร้อน 5257.5 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ค่าความชื้นร้อยละ 4.85 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 22.44 สารระเหยร้อยละ 71.25 และเถ้าร้อยละ 6.31 ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มพช. 238/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) และถือว่า มีค่าพลังงานความร้อนที่สูง เมื่อเทียบกับถ่านอัดแท่งประเภทอื่นๆ เนื่องจากถ่านอัดแท่งจากโหระพามีปริมาณคาร์บอนคงตัว

ที่ดี และมีปริมาณสารระเหยที่เหมาะสม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 65-85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (71.25 %) ทำให้มีค่าพลังงานความร้อนสูง โดยมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งหลายชนิด เช่น ถ่านอัดแท่งตะกอนเปียกผสมกะลามะพร้าว ซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนที่ 4,665 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (เอกลักษณ์ กิติภัทรถาวร และคณะ, 2556) ถ่านอัดแท่งไม้ลำไย 5,061.14 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (วรัญญา เทพสาสน์กุล และคณะ, 2559) ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว 4,910.82 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ถ่านอัดแท่งใบไม้แห้ง 3,195.75 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ถ่านอัดแท่งขี้เลื่อย 5,067.55 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (โรสลีนา อนันตกุลวงศ์ และคณะ, 2562) ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมขี้เถ้า และใบเตย 5175.6 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (ศิริวรรณ เทพา และ ศตพล มุ่งคำกลาง, 2561) และถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดยางพารา 5,125 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (ชนกร หอมจำปา และคณะ 2559) (ดังแสดงใน Table 7)

Table 7 Comparative property result of various types of charcoal briquette fuel.

types of charcoal briquette fuel	Heating value (kcal/kg)	Percentage of various property values				Reference
		moisture	carbon	volatile	ash	
Thai Community Standard Product (238/2547)	5,000	8	-	-	-	standards communities (238/2547)
Wet sediment mixed with coconut shells	4,665	4.7	39.9	32.4	23	Kitipattaworn, A. <i>et al.</i> (2556)
longan wood	5,061.14	3.92	-	-	-	Tepsaskul, W. <i>et al.</i> (2559)
coconut shells	4,910.82	0.04	-	-	-	Anantanukulwong, R. <i>et al.</i> (2562)
dry leaves	3,195.75	0.04	-	-	-	
Sawdust	5,067.55	0.04	-	-	-	
coconut shells mixed sugarcane bagasses and pandanus leaves	5175.6	0.10	86.30	2.40	11.06	Thepha, S. & Moongkramklang, S. (2561)
Coconut stalk with solution of tapioca starch	4,141	7.3	10.70	76.80	5.30	Tantisattayakul, T. <i>et al.</i> (2558)
Rubber seed husks mixed with wet paste glue (90: 10)	5,125	6.0	-	-	-	Homchampa, T. <i>et al.</i> (2559)
Thai Basil extraction residue) in the Flavors and Fragrances Industry	5257.5	4.85	22.44	71.25	6.31	This research

6. การคำนวณต้นทุนการผลิตของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา

จากกากโหระพาล้างสีกัด 100 กิโลกรัม จะได้ผงถ่านประมาณ 30-35 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30-35 ของน้ำหนักวัตถุดิบ เมื่อนำผงถ่านที่ได้มาผสมกับตัวประสาน ในอัตราส่วน ผงถ่าน: แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ ที่ 13: 10: 20 โดยน้ำหนัก จะได้ถ่านอัดแท่ง 53- 62 กิโลกรัม โดยมีต้นทุนแปรผันในการผลิตที่ 10 บาท/กิโลกรัม

1. ต้นทุนวัตถุดิบ (วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม) (ต้องเสียค่าแรงและเชื้อเพลิงในการขนไปทิ้ง)

2. ค่าแรง = 300 บาท/วัน

3. ค่าใช้จ่ายในการผลิต

3.1 ค่าเชื้อเพลิง = 40 บาท/รอบการผลิต

3.2 ค่าวัสดุประสาน = 660 บาท/รอบการผลิต

รวม 1,000 บาท/รอบการผลิต

ต้นทุนการผลิตถ่านเท่ากับค่าวัตถุดิบบวกค่าแรง
บวกค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อ 100 กิโลกรัม/รอบการผลิตต่อ
วันเท่ากับ 10 บาท/กิโลกรัม ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายในการ
ผลิตถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา (C)

$$C = F + VN$$

เมื่อ

F คือ ต้นทุนคงที่ (เตาเผาถ่าน เครื่องบด เครื่องผสม
และเครื่องอัดขึ้นรูป = 40,000 บาท)

V คือ ต้นทุนแปรผัน (ค่าแรง ค่าไฟฟ้า ค่าวัสดุ)

N คือ ปริมาณถ่านอัดแท่งที่ต้องผลิต

รายได้จากการขายถ่านอัดแท่ง (R) คำนวณจาก

$$R = IN$$

เมื่อ

I คือ ราคาขายต่อกิโลกรัม (30 บาท)

N คือ จำนวนถ่านเป็นกิโลกรัมที่ผลิตขาย

จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา
จะเกิดขึ้นเมื่อค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา
เท่ากับรายได้จากการขายถ่านอัดแท่ง คำนวณได้เท่ากับ 2,000
กิโลกรัม หากเตาเผาถ่านมีขนาดใหญ่ขึ้น มีเครื่องอัด และขึ้น
รูปถ่านที่มีประสิทธิภาพ และรวดเร็วมากขึ้น ก็จะมีต้นทุนใน
ส่วนค่าแรงรายวัน/ปริมาณผลผลิตที่ต่ำลง เนื่องจากได้รอบ
การผลิตที่มากขึ้น

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากโหระพา
ในอุตสาหกรรมเครื่องหอม พบว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมใน
การนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยอัตราส่วน ผงถ่านจากกาก
โหระพา: แป้งมันสำปะหลัง: น้ำ ที่ 13:1:20 จะได้ถ่านอัดแท่ง
ที่มีคุณภาพดีที่สุด โดยมีระยะเวลาเริ่มติดไฟ และระยะเวลา
เผาไหม้ที่สั้นที่สุด คือน้อยกว่า 10 นาที ค่าพลังงานความร้อน
5257.50 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ค่าความชื้นร้อยละ 4.85
คาร์บอนคงตัวร้อยละ 22.44 สารระเหยร้อยละ 71.25 และ
เถ้า ร้อยละ 6.31 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการนำ
กากโหระพาหลังการสกัดของโรงงานอุตสาหกรรม มาใช้เป็น
พลังงานทดแทน เพิ่มรายได้ และลดปัญหาการจัดการเศษวัสดุ
เหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อส่งเสริมความยั่งยืน สร้างรายได้และ
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนได้ และสามารถพัฒนา

คุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากโหระพาให้สูงขึ้นได้ โดยเพิ่ม
ระยะเวลาการให้ความร้อน จะช่วยทำให้สารระเหยระเหยออก
จากถ่านได้มากขึ้น และสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
ชนิดอื่นๆ ของโรงงาน ที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่า แต่มี
ปริมาณการทิ้งน้อยกว่า มาผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของ
ถ่านอัดแท่งจากกากโหระพาได้ ดังเช่นในการวิจัยของบัณฑิต
ลือโสภณ และคณะ (2565) ที่ได้ศึกษาการผสมผสานวัสดุเหลือ
ทิ้งทางการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และ
พบว่า ไบโอมันสำปะหลัง เหนียงมันสำปะหลัง และใบอ้อย เป็นกลุ่ม
วัสดุที่มีปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว ลิกนิน และเซลลูโลส
ในสัดส่วนที่สูง มีปริมาณเถ้าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและ
ส่งผลต่อค่าความร้อนที่สูงของวัสดุ โดยไบโอมันสำปะหลัง มีค่า
ความร้อนสูงสุด 19.29 เมกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมา ได้แก่
เหนียงมันสำปะหลัง 17.49 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และใบอ้อย
16.92 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ตอซังข้าว และ
ฟางข้าว พบว่าเป็นกลุ่มวัสดุที่มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่า (14.20
เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 14.31 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ผลจากการ
ผสมผสานวัสดุหลักแบบ 2 ประเภท พบว่า อัตราส่วนที่ให้ค่า
ความร้อนสูงสุดคือ ใบอ้อย: ฟางข้าว (80: 20) 16.08 เมกะจูล
ต่อกิโลกรัม การผสมผสานชีวมวลวัสดุหลักแบบ 3 ประเภท
พบว่า ใบอ้อย: ตอซังข้าว: ฟางข้าว (60: 20: 20) ให้ค่าความ
ร้อนสูงสุด 15.68 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการ
เพิ่มอัตราส่วนของวัสดุเสริมส่งผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น
นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มลดลง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงิน
กองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สุวรรณภูมิ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา และ โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องหอม
ไทย-จีน (TCFF) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านบุคลากร เครื่องมือ
ต่างๆ และวัตถุดิบสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณ สถาบันวิจัย
และพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน, & ภาคภูมิใจชมพู.
(2560). การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุ
เหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 2(1), 1-15.
ทิพย์วรรณ ช่วยทอง, ธนศ ไชยชนะ, & ศุภลักษณ์ อ้าลอย.
(2557). สมบัติของถ่านจากเปลือกหมาก. วารสาร
มหาวิทยาลัยทักษิณ, 17(3), 68-75.

- ชนกร หอมจำปา, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, & ประพันธ์พงษ์ สมคิลลา. (2559). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดยางพารา. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 8, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์*, 190-196.
- ชนาพล ดันดีสัตยกุล, สุริยา พงษ์เกษม, ปรีดิ์ปวีณ ภูหญา และ ภานุวัฒน์ ไถ่บ้านกวย. (2558). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. *Thai Science and Technology Journal*, 23(3), 418-431.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล และ พัชรี ปรีดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษาการกักแผลและกักขามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 7(13), 15-25.
- ปฐมศก วิไลพล, ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ, นพรัตน์ สีหะวงษ์, จิราณวัฒน์ เม่นเกิด, ปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์ และ ปิยะวัต คำบุญ. (2562). การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 4(1), 40-50.
- ปณณทัต ลือโสภา และ วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์. (2565). การผสมผสานวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 42(4), 127-137.
- โรสลีนา อนันตกุลวงศ์, รอดิยะห์ เจ๊ะแม และ นูรมายามีน สเร๊ะนู. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.*, 4(1), 47-53.
- ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน, วิภาวดี ชัชวาล และ อานันท์ รัญญเจริญ. (2559). การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 39(2), 239-255.
- วรัญญา เทพสาสน์กุล, วรัญญา ธรรมชาติ และ อัศรินทร์ อินทนิเวศน์. (2559). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทกะลามะพร้าว. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12*, 610-618.
- ศิริวรรณ เทพา และ ศตพล มุ่งคำกลาง. (2561). การศึกษาการผลิตถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวผสมขานอ้อยและใบเตย. *การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. วันที่ 28-30 พฤศจิกายน 2561*.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.) เลขที่ 238/2547. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps238_47.pdf.
- เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และ วลัยรัตน์ อุตตะมะปรากกรม. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 10, 43-56.
- American Society for Testing and Materials. (1984). *Annual book of ASTM standards, petroleum products, lubricants, and fossil fuels, sect. 5 of v. 05.05: Gaseous fuels, coal, and coke*. Philadelphia.
- Richard, S.R. (1990). Physical testing of fuel briquettes. *Fuel Processing Technology*, 25, 89-100.
- Sen, R., Wiwatpanyaporn, S. and Padmakar Annachhatre, A. (2016). Influence of binders on physical properties of fuel briquettes produced from cassava rhizome waste. *International Journal of Environment and Waste Management*, 17(2), 158-175.