วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราโดยผสมกับกะลามะพร้าวเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก

Development of mechanical and physical properties of charcoal briquettes from rubber seeds mixed with coconut shells as alternative energy

กิตติชาติ เผ่าพงษ์ไพบูลย์[1]* กรกนก บุญเสริม[2] วีระ หอสกุลไท[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

[2] สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

Kittichat Paopongpaiboon[1]* Kornkanok Boonserm[2] Veera Horsakulthai[3]

[1] Department of Civil Engineering Technology and Architecture, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, Surin 32000

[2] Department of Applied Chemistry, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

[3] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

* Corresponding author.

E-mail: abjen@hotmail.com; Telephone: 0 4451 4601

วันที่รับบทความ 2 พฤศจิกายน 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 1 มกราคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 3 กุมภาพันธ์ 2565
วันที่ตอบรับบทความ 1 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราโดยผสมกับกะลามะพร้าว ทำการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา โดยใช้อัตราส่วนของผงถ่านเมล็ดยางพาราต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 10 : 1 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้น ค่าความร้อน ระยะเวลาที่เผาไหม้จนมอดดับ การเกิดสะเก็ดไฟ และการเกิดควันของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าว ที่อายุ 7 วัน จากผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มปริมาณของผงถ่านกะลามะพร้าวจะทำให้ถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ค่าความร้อน และระยะเวลาที่เผาไหม้จนมอดดับมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นจะมีค่าลดลง ถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมไม่เกิดสะเก็ดไฟ ไม่เกิดควัน และสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับถ่านอัดแท่งทางการค้าโดยผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 ที่กำหนดไว้ ซึ่งถือเป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

คำสำคัญ

ถ่านอัดแท่ง เมล็ดยางพารา กะลามะพร้าว สมบัติทางกล สมบัติทางกายภาพ

Abstract

This research aims to develop the mechanical and physical properties of charcoal briquettes from rubber seeds mixed with coconut shells. The replacement levels of rubber seeds charcoal powder with coconut shells charcoal powder of 0,

25, 50, 75, and 100 % by weight of rubber seeds charcoal powder were used in this study. The ratio of rubber seeds charcoal powder to tapioca flour of 10:1 was also used. The specimens at the age of 7 days were tested for compressive strength, bulk density, moisture content, calorific value, duration of burning until extinguishing, produce sparks and smoke. The test results showed that the increasing of coconut shells charcoal powder resulted in the increasing of compressive strength, bulk density, calorific value, and duration of burning until extinguishing while decreasing of moisture content values. All of these specimens do not produce sparks, do not smoke, and passed the standard requirement as per Thai Industrial Standard 238/2547 for charcoal briquettes and thus can be used as commercial charcoal briquettes. Which is considered as alternative environmental friendly energy.

Keywords

charcoal briquette; rubber seed; coconut shell; mechanical properties; physical properties

1. คำนำ

จากข้อมูลสถานการณ์ปริมาณการใช้พลังงานในประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้พลังงานสูงถึง 85,708 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 ที่มีปริมาณการใช้พลังงานอยู่ที่ 77,881 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 10.05 สาเหตุเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการบริโภคภาคครัวเรือน [1] ทางภาครัฐจึงมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้นในทุกภาคส่วนของสังคม เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของปัญหาภาวะโลกร้อน [2]

แนวทางหนึ่งในการช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านพลังงานและปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม คือการใช้พลังงานทดแทนจากวัสดุผลพลอยได้หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่อยู่บริเวณพื้นที่เก็บเกี่ยวและบริเวณสถานที่แปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ชานอ้อย ทะลายปาล์ม ซังข้าวโพด เศษไม้ และกะลามะพร้าว เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดี สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้าได้ และเป็นลดปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเกษตรกรเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [3] จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายประเภท เช่น เปลือกปาล์ม เปลือกมะพร้าว เปลือกมะม่วงหิมพานต์ กะลาปาล์ม ชานอ้อย แกลบซังข้าวโพด ก้านฝ้ายและขี้เลื่อยไม้ เป็นต้น [4-11] มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

กะลามะพร้าวเป็นวัสดุผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวที่มีปริมาณมาก โดยดูจากข้อมูลพื้นที่ปลูกมะพร้าวของประเทศไทยปี 2561 มีประมาณ 828.61 พันไร่ และมีผลผลิตจากมะพร้าวประมาณ 856.92 พันตัน [12] จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำกะลามะพร้าวมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในการหุงต้ม เนื่องจากให้ค่าความร้อนที่สูง [13] โดยงานวิจัยของ Hwangdee และคณะ [14] ได้ศึกษาการนำวัสดุชีวมวลมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง พบว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด ถ่านอัดแท่งจากแกลบ และถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง ตามลำดับ และจากงานวิจัยของ Kongprasert และคณะ [15] ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้มะดันและกะลามะพร้าว พบว่าค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากไม้มะดันมีค่าสูงสุด 6,622 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งสูงกว่า ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวที่มีค่าความร้อน 6,310 แคลอรีต่อกรัม

เมล็ดยางพาราเป็นวัสดุเหลือทิ้งได้จากสวนยางพาราที่มีปริมาณสูงมาก โดยดูจากข้อมูลพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทยปี 2561 มีประมาณ 22.62 ล้านไร่ [12] ซึ่งในแต่ละปียางพารา 1 ไร่ จะให้เมล็ดยางพาราประมาณ 50 กิโลกรัม [16] ดังนั้นจะมีปริมาณเมล็ดยางพาราสูงถึงประมาณ 1.13 ล้านตัน ซึ่งเมล็ดยางพาราบางส่วนจะถูกนำมาเพาะเป็นกล้ายางพารา แต่บางส่วนเป็นปริมาณมากก็จะถูกปล่อยทิ้งให้เน่าเสียในสวนยางพารา จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำเปลือกเมล็ดยางพารามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยงานวิจัยของธนกร และคณะ [17] ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน

พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมแป้งเปียกส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลง โดยมีค่าความร้อนระหว่าง 4,937 ถึง 5,828 แคลอรีต่อกรัม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเมล็ดยางพาราที่เหลือทิ้งในสวนยางพารามาปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับกะลามะพร้าวผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง และนำถ่านอัดแท่งมาทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งทางการค้าที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 [18] ผลที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยนี้นอกจากจะสามารถลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งประเภทเมล็ดยางพาราและกะลามะพร้าวได้แล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดยางพาราและกะลามะพร้าว ลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม LPG ในครัวเรือน ลดปัญหาด้านมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และช่วยเพิ่มสมบัติทางกลและทางกายภาพให้กับถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับถ่านทำให้สามารถแข่งขันกับถ่านประเภทอื่นได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรหรือประชาชนที่มีความสนใจสามารถนำผลการวิจัยไปผลิตถ่านใช้ในครัวเรือนหรือขายเพื่อเป็นรายได้เสริม

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราโดยผสมกับกะลามะพร้าวคือ

1) เมล็ดยางพาราที่เหลือทิ้ง จากสวนที่เป็นแหล่งรับซื้อยางพาราหลายแห่งในจังหวัดสุรินทร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

2) กะลามะพร้าวที่เหลือทิ้ง จากสวนที่เป็นแหล่งรับซื้อมะพร้าวหลายแห่งในจังหวัดสุรินทร์ ดังแสดงในรูปที่ 2

3) แป้งมันสำปะหลัง จากโรงงานมันสำปะหลัง จังหวัดสุรินทร์ ใช้เป็นวัสดุในการเชื่อมประสาน เนื่องจากทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาพได้สูง แรงยึดเกาะดี ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และเมื่อเผาไหม้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น [19]

4) น้ำประปา

รูปที่ 1 เมล็ดยางพาราที่เหลือทิ้ง

รูปที่ 2 กะลามะพร้าวที่เหลือทิ้ง

2.2 การเตรียมวัสดุ

นำเมล็ดยางพาราและกะลามะพร้าวไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาให้เป็นถ่านด้วยเตาแบบถัง 200 ลิตร เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3 แล้วปล่อยให้ถ่านเย็น จากนั้นนำถ่านเมล็ดยางพาราและถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการเผามาบดด้วยเครื่องบดให้เป็นผงถ่านเมล็ดยางพาราและผงถ่านกะลามะพร้าว

รูปที่ 3 เตาแบบถัง 200 ลิตร

2.2 อัตราส่วนผสม

ใช้อัตราส่วนของผงถ่านเมล็ดยางพาราต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 10 : 1 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 3 : 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา โดยตัวอย่างควบคุมที่ทำจากผงถ่านเมล็ดยางพารา 100 % (ไม่มีกะลามะพร้าว) แทนด้วยสัญลักษณ์ RC00 ส่วนตัวอย่างที่มีการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา แทนด้วยสัญลักษณ์ RC25, RC50, RC75 และ RC100 ดังแสดงในตารางที่ 1

2.3 การผสมตัวอย่าง

ผสมผงถ่านเมล็ดยางพารา ผงถ่านกะลามะพร้าว แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ให้เข้ากันในเครื่องผสม ตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจะนำวัสดุส่วนผสมเทลงในเครื่องอัดถ่านที่มีแม่พิมพ์ผลิตแท่งถ่านทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่ออัดถ่านเสร็จแล้ว นำถ่านอัดแท่งไปตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)

ส่วนผสม	อัตราส่วนร้อยละแทนที่	อัตราส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)			
		ผงถ่านเมล็ดยางพารา	ผงถ่านกะลามะพร้าว	แป้งมันสำปะหลัง	น้ำ
RC00	0	10	0	1	3
RC25	25	7.5	2.5	1	3
RC50	50	5.0	5.0	1	3
RC75	75	2.5	7.5	1	3
RC100	100	0	10	1	3

รูปที่ 4 เครื่องผสมถ่าน

รูปที่ 5 เครื่องอัดถ่าน

2.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบนี้จะนำถ่านอัดแท่งทรงกระบอกกลวงมาตัดให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร และสูง 4.4 เซนติเมตร ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย (Average) ของตัวอย่างถ่านอัดแท่ง 3 ตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลกำลังรับแรงอัดจะรายงานเป็นค่า Error Bar ลงในกราฟ

2.5 การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบนี้จะนำถ่านอัดแท่งทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน มาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น ผลการทดสอบความหนาแน่นจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย (Average) ของตัวอย่างถ่านอัดแท่ง 3 ตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลความหนาแน่นจะรายงานเป็นค่า Error Bar ลงในกราฟ

2.6 การทดสอบปริมาณความชื้น

การทดสอบนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173 [20] โดยการนำถ่านอัดแท่งทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน ไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นเป็นร้อยละของน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่หายไป ผลการทดสอบปริมาณความชื้นจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย (Average) ของตัวอย่างถ่านอัดแท่ง 3 ตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลปริมาณความชื้นจะรายงานเป็นค่า Error Bar ลงในกราฟ

2.7 การทดสอบค่าความร้อน

การทดสอบนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5865 [21] โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ผลการทดสอบค่าความร้อนจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย (Average) ของตัวอย่างถ่านอัดแท่ง 3 ตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลค่าความร้อนจะรายงานเป็นค่า Error Bar ลงในกราฟ

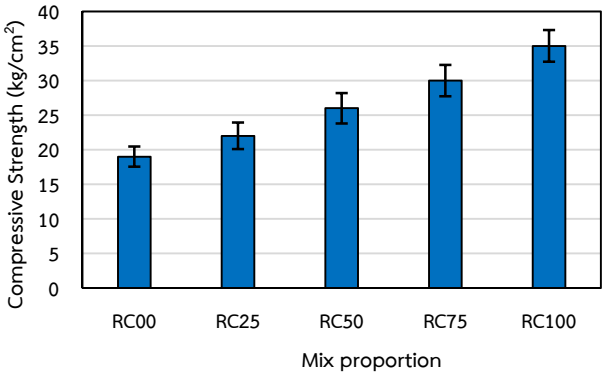
2.8 การทดสอบระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับ การเกิดสะเก็ดไฟ การเกิดควัน และการติดไฟ

การทดสอบนี้ใช้งานถ่านอัดแท่งจริงในเตาถ่านหุงต้มโดยมีการควบคุมปริมาณและทดสอบในสภาวะแวดล้อมเดียวกันเพื่อศึกษาระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับ การเกิดสะเก็ดไฟกระเด็น การเกิดควัน และการติดไฟ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 พบว่ากำลังรับแรงอัดของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา (RC00) มีค่าเท่ากับ 19 กก./ตร.ซม. เมื่อแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา ทำให้กำลังรับแรงอัดของถ่านอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เป็น 22, 26, 30 และ 35 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 116, 137, 158 และ 184 ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราตามลำดับ เนื่องจากกะลามะพร้าวมีความแข็งแกร่งกว่าเมล็ดยางพารา จึงส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของถ่านอัดแท่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงระยะเวลาการเผาไหม้ให้ความร้อน โดยถ่านอัดแท่งที่มีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าจะเป็นถ่านอัดแท่งที่มีความแข็งสูงที่สูงกว่า ทำให้สามารถให้ความร้อนได้เป็นระยะเวลาที่นานกว่าไม่เปราะและแตกง่าย [22]

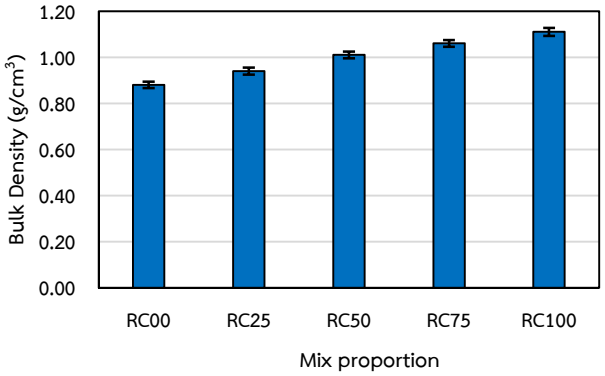


รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของถ่านอัดแท่ง

3.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 พบว่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา (RC00) มีค่าเท่ากับ 0.88 ก./ลบ.ซม. เมื่อแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา ทำให้ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เป็น 0.94, 1.01, 1.06 และ 1.11 ก./ลบ.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 107, 115, 120 และ 126 ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา ตามลำดับ เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของกะลามะพร้าวมีค่ามากกว่าเมล็ดยางพารา จึงทำให้ถ่านอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นแปรผันโดยตรงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมากกว่า 0.40 ก./ลบ.ซม. เป็นถ่านอัดแท่งประเภทหนัก ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้ใช้ เนื่องจากเมื่อเผาไหม้จะให้ความร้อนได้เป็นระยะเวลานาน ประกอบกับเตาถ่านหุงต้มมีความสามารถในการจุถ่านอัดแท่งได้ในปริมาณที่จำกัด ในทางตรงกันข้ามหากใช้ถ่านอัดแท่ง

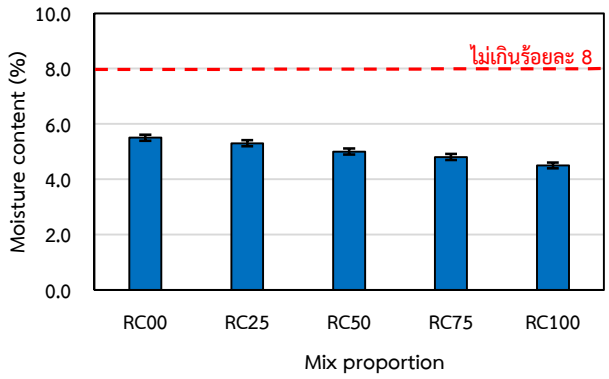
ประเภทเบาจะทำให้เสียเวลาเพื่อเติมถ่านอัดแท่งบ่อยครั้งในระหว่างการใช้งานจริง [17]



รูปที่ 7 ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

3.3 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น

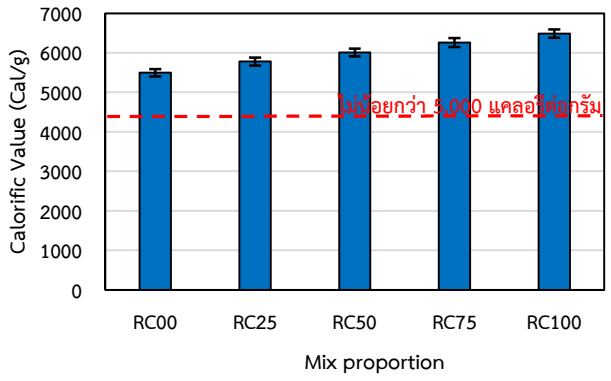
ผลการทดสอบปริมาณความชื้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 พบว่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา (RC00) มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.5 เมื่อแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา ทำให้ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ เป็นร้อยละ 5.3, 5.0, 4.8 และ 4.5 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 96, 91, 87 และ 82 ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา ตามลำดับ เนื่องจากการแทนที่ด้วยผงกะลามะพร้าวจะทำให้ถ่านมีความแน่นตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีรูพรุนต่ำลง ค่าความชื้นที่ถูกกักในรูโพรงจึงลดลง ซึ่งค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจะมีผลต่อค่าความร้อน โดยถ่านอัดแท่งที่มีค่าปริมาณความชื้นสูงจะมีการสูญเสียค่าความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งลดลง [15, 23] เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 [18] พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งกำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 8 ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง

3.4 ผลการทดสอบค่าความร้อน

ผลการทดสอบค่าความร้อนดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 พบว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา (RC00) มีค่าเท่ากับ 5,495 แคลอรีต่อกรัม เมื่อแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา ทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เป็น 5,780, 6,010, 6,260 และ 6,485 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 105, 109, 114 และ 118 ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดสอบปริมาณความชื้น เมื่อนำค่าความร้อนที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 [18] พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งกำหนดให้มีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงถือเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากค่าความร้อนสูงเกี่ยวข้องกับการปล่อยความร้อนได้สูง ซึ่งจะช่วยในเรื่องการปรุงอาหารได้เร็วขึ้น [15]



รูปที่ 9 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

3.5 ผลการทดสอบระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับ การเกิดสะเก็ดไฟ การเกิดควัน และการติดไฟ

ผลการทดสอบระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับจะมีแนวโน้มคล้ายกับค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา (RC00) มีระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับเท่ากับ 157 นาที เมื่อแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพารา ทำให้ระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เป็น 171, 184, 200 และ 216 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 109, 117, 127 และ 138 ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารา ตามลำดับ เนื่องจากกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนมากกว่าเมล็ดยางพารา จึงทำให้ระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลการทดสอบการเกิดสะเก็ดไฟ และการเกิดควันที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง 238/2547 [18] พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งกำหนดให้เมื่อถ่าน อัดแท่งติดไฟแล้วจะต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น และถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีการจุดติดไฟเร็วกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับ การเกิดสะเก็ดไฟ การเกิดควัน และการติดไฟ

ส่วนผสม	ระยะเวลาที่เผาไหม้ถ่านอัดแท่งจนมอดดับ (นาที)	การเกิดสะเก็ดไฟ	การเกิดควัน	การติดไฟ
RC00	157	ไม่มี	ไม่มี	ดีมาก
RC25	171	ไม่มี	ไม่มี	ดีมาก
RC50	184	ไม่มี	ไม่มี	ดีมาก
RC75	200	ไม่มี	ไม่มี	ดี
RC100	216	ไม่มี	ไม่มี	ดี

ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพดังที่กล่าวมาแล้วพบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกับกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 50 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่ง เนื่องจากมีค่าความร้อน 6,010 แคลอรีต่อกรัม และมีการจุดติดไฟที่เร็วดีมาก และเมื่อนำค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 50 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมวัสดุอื่นๆ ในอัตราร้อยละ 50 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมวัสดุอื่นๆ ยกเว้นถ่านอัดแท่งจากไม้มะดันผสมกะลามะพร้าวจะมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าว เนื่องจากไม้มะดันมีค่าความร้อนสูงกว่ากะลามะพร้าวและเมล็ดยางพารา

เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตและจุดคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกับกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 50 เพื่อให้ผู้ประกอบวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรหรือประชาชนที่มีความสนใจนำไปใช้ประกอบเป็นอาชีพ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 พบว่ามีต้นทุนเครื่องจักร 210,000 บาท ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่ง 9.954 บาทต่อกิโลกรัม ราคาขายถ่านอัดแท่ง 25 บาทต่อกิโลกรัม จะได้ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน 13,958 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณากำลังการผลิตของเครื่องอัดถ่าน 700 กิโลกรัมต่อวัน จะใช้ระยะเวลาในการผลิตที่จะถึงจุดคุ้มทุน 20 วัน

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านของอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวกับถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมวัสดุอื่นๆ

ถ่านอัดแท่งจากวัสดุ	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	อ้างอิง
เมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าว	6,010	งานวิจัยนี้
ตะกอนเปียกผสมกะลามะพร้าว	4,665	เอกลักาณ์และคณะ [24]
ชานอ้อยผสมกะลามะพร้าว	4,710	ศตพล [25]
ก้อนเห็ดผสมกะลามะพร้าว	4,735	สุกัญญาและศศิธร [26]
เปลือกไข่ผสมกะลามะพร้าว	5,206	อำนวยและคณะ [27]
เปลือกถั่วลิสงผสมกะลามะพร้าว	5,318	อำนวยและคณะ [27]
ต้นข้าวโพดผสมกะลามะพร้าว	5,467	อำนวยและคณะ [27]
เหง้ามันสำปะหลังผสมกะลามะพร้าว	5,551	รุ่งโรจน์และคณะ [28]
ฟางข้าวผสมกะลามะพร้าว	5,667	ศตพล [25]
ไม้มะดันผสมกะลามะพร้าว	6,345	Kongprasert และคณะ [15]

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการพัฒนาสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราโดยผสมกับกะลามะพร้าวเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก โดยมีการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของผงถ่านเมล็ดยางพาราเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 พบว่า

1) กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าว

2) ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วย ผงถ่านกะลามะพร้าว เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4 รายละเอียดต้นทุนและจุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกับกะลามะพร้าว

รายละเอียด	รายการ	ราคา (บาท)
ต้นทุนคงที่	เตาแบบถัง 200 ลิตร จำนวน 20 ถัง (ราคาถังละ 5,000 บาท)	100,000
	เครื่องผสมถ่าน	45,000
	เครื่องบดถ่านและเครื่องอัดถ่าน (กำลังการผลิต 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	65,000
รวมราคาต้นทุนคงที่		210,000
ต้นทุนแปรผัน	วัสดุเมล็ดยางพาราและกะลามะพร้าวในการผลิตต่อกิโลกรัม (ราคาวัสดุรวมค่าขนส่ง กิโลกรัมละ 2 บาท และเมื่อเผาวัสดุ 3.3 กิโลกรัม จะได้ถ่านประมาณ 1 กิโลกรัม)	6.6
	แป้งมันสำปะหลังในการผลิตต่อกิโลกรัม	1
	ค่าแรงงานในการผลิตต่อกิโลกรัม (2 คน)	1.15
	ค่าน้ำในการผลิตต่อกิโลกรัม	0.004
	ค่าไฟฟ้าในการผลิตต่อกิโลกรัม	0.05
	ค่าจ้างบรรจุและขนส่งถ่านอัดแท่งต่อกิโลกรัม	1.15
รวมราคาต้นทุนแปรผันในการผลิตต่อกิโลกรัม		9.954
ราคาขายถ่านอัดแท่งต่อกิโลกรัม		25
ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน 13,958 กิโลกรัม		
ระยะเวลาในการผลิตที่จะถึงจุดคุ้มทุน 20 วัน (กำลังการผลิตของเครื่องอัดถ่าน 700 กิโลกรัมต่อวัน)		

3) ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ผงถ่านเมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าว เมื่อนำค่าความร้อนที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

4) ระยะเวลาที่เผาไหม้จนมอดดับของถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ผงถ่าน เมล็ดยางพาราด้วยผงถ่านกะลามะพร้าว เมื่อนำผลการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควันที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 พบว่าถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกะลามะพร้าวทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

5) ถ่านอัดแท่งจากเมล็ดยางพาราผสมกับกะลามะพร้าวในอัตราร้อยละ 50 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหารในครัวเรือนและร้านอาหาร เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและมีการจุดติดไฟที่เร็วดีมาก สามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกในประเทศไทยได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย 2562*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร; 2563.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2562*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร; 2563.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานจากชีวมวล*. กรุงเทพฯ: บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์ จำกัด; 2554.

[4] Chumsang C, Upan P. Production of charcoal briquettes from palmyra palm waste in kirimat district, sukhothai province, thailand. *Applied Environmental Research*. 2017; 36(3): 29-38.

[5] คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์, ปิติพร มโนคุ้น, ภัทรมาศ เทียมเงิน, ฐนียา รังษีสุริยะชัย. การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวและกากไขมันเหลือทิ้งจากมะพร้าว. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 2563; 31(4): 77-86.

[6] Pongthornpruek S. The utilization of cashew shell residues and grease waste for charcoal briquette production. *Applied Environmental Research*. 2017; 39(1): 33-40.

[7] Bonsu B.O., Takase M., Mantey J. Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. *Heliyon*. 2020; 6(10): 1-8..

[8] Onchieku J.M., Chikamai B.M., Rao M.S. Optimum Parameters for the Formulation of Charcoal Briquettes Using Bagasse and Clay as Binder. *European Journal of Sustainable Development*. 2012; 1(3): 477-492.

[9] Jamradloedluk J. , Wiriyaumpaiwong S. Production and Characterization of Rice Husk Based Charcoal Briquettes. *KKU Engineering Journal*. 2007; 34(4): 391-398.

[10] Zubairu A. , Gana S. A. Production and Characterization of Briquette Charcoal by Carbonization of Agro-Waste. *Energy and Power*. 2014; 4(2): 41-47.

[11] Wu S., Zhang S., Wang g., Mu C., Huang H. High-strength charcoal briquette preparation from hydrothermal pretreated biomass wastes. *Fuel Processing Technology*. 2018; 171: 293-300.

[12] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. เข้าถึงได้จาก: https://www.oae.go.th [เข้าถึงเมื่อ 2 พฤษภาคม 2564]

[13] Laloon K, Sudajan S, Jansiri C. Studies on charcoal block production from three charcoal types of biomass employing screw press unit. *Advanced Materials Research*. 2013; 690- 693: 1265-1274.

[14] Hwangdee P, Jansiri C, Sudajan S, Laloon K. Physical characteristics and energy content of biomass charcoal powder. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2021; 11(1): 158-169.

[15] Kongprasert N, Wangphanich P, Jutilarptavorn A. Charcoal briquettes from madan wood waste as an alternative energy in thailand. *Procedia Manufacturing*. 2019; 30: 128-135.

[16] สุภาษิต ชูกลิ่น. *การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2547.

[17] ธนกร หอมจำปา, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, ประพันธ์พงษ์ สมศิลา. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดยางพารา. ใน: *การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 8*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุรินทร์: สุรินทร์; 2559. หน้า B190-B196.

[18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2547.

[19] ธนิยา เกาศล, วัฒนา ศรีเกต, วิชยัรัตน์ แก้วเจือ. ถ่านอัดแท่งจากเถ้าหนักของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากรากไม้ยางพารา. ใน: *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*. โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์: อุดรธานี; 2562. หน้า 2770-2776.

[20] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D3173*. West Conshohocken: ASTM International; 2003.

[21] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke ASTM D5865*. West Conshohocken: ASTM International; 2010.

[22] พัชราภรณ์ สมดี, กนกอร นุ้ยเล็ก, อนิวรรต หาสุข, ชานนท์ บุนนท์, พิตินันท์ วสันตเสนานนท์. การตรวจคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน. *วารสารวิจัย*. 2559; 9(1): 61-67.

[23] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน, วิภาวดี ชัชวาลย์, อานันท์ ธัญญเจริญ, ภาคภูมิ รักร่วม. การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* 2559; 39(2): 239-255.

[24] เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. *วารสารวิจัยพลังงาน.* 2556; 10(3): 43-56.

[25] ศตพล มุ่งค้ำกลาง. การหาประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการประกอบอาหาร. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH.* 2559; 11(1): 59-67.

[26] สุกัญญา ทับทิม, ศศิธร ปรือทอง. การเปรียบเทียบค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของถ่านกะลามะพร้าวและก้อนเห็ดหลังการเก็บผลผลิต. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).* 2563; 12(24): 158-168.

[27] อำนวย คำบุญ, วรพจน์ ศิริรักษ์, พีรวัตร ลือสัก, เริงฤทัย ศิริรักษ์. การศึกษาผลของวัสดุผสมในถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวต่อสมบัติทางกลและทางความร้อน. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย.* 2562; 5(2): 67-75.

[28] รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล, อุปวิทย์ สุวคันธกุลม, อัมพร กุญชรรัตน์. การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา.* 2553; 4(2): 18-28.