การศึกษาผลของวัสดุผสมในถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวต่อสมบัติทางกลและทางความร้อน

A Study of the Effect of Mixture Material in Coconut Shell Charcoal Briquette on Mechanical and Thermal Properties

อำนวย คำบุญ[1*] วรพจน์ ศิริรักษ์[1] พีรวัตร ลือสัก[1] และเริงฤทัย ศิริรักษ์[2]

[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย อ.พาน จ. เชียงราย 571200

[2]สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอ เมือง จ.พะเยา 56000

E-mail: k_amnouy@hotmail.com*

Amnouy Kumboon[1]* Worapot Sirirak[1] Peerawat Luesak[1] and Reungruthai Sirirak[2]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai, Pharn, Chaing Rai, 57120

[2] Department of Material Science, Faculty of Science, University of Phayao, Muang, Phayao, 56000

E-mail: k_amnouy@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางกลของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ซึ่งถ่านอัดแท่งเตรียมจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรหรือของเสียจากวิสาหกิจชุมชนได้แก่ ต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสงและเปลือกไข่ โดยใช้กาวลาเท็กซ์ในสัดส่วน 20wt% ของน้ำหนักวัตถุดิบรวม จากนั้นเงื่อนไขสำหรับการทดลองทั้ง 8 เงื่อนไขถูกออกแบบสำหรับศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง เช่น ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ความชื้นและพลังงานความร้อน จากการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งซึ่งเตรียมจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ที่อัตราส่วน 50:25:25 ให้ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยที่ 5.678 kN/mm^2 ค่าต้านทานแรงดัดเฉลี่ยที่ 1.125 kN/mm^2 ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ 5.596% และค่าพลังงานความร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 5,515.33 cal/g ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน จากการใช้วิธีการ ANOVA วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่าความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ปริมาณความชื้น และพลังงานความร้อน แสดงผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของเงื่อนไขการทดลองทั้ง 8 เงื่อนไข

คำหลัก: ถ่านอัดแท่ง พลังงานความร้อน กะลามะพร้าว

Abstract

The objective of this research was to study the mechanical and thermal properties of the coconut shell charcoal briquette. The charcoal briquettes were prepared from charcoal powders mixed with an agricultural waste or community enterprise residues such as corn tree peanut shell and egg shell. The 20wt% latex glue of total raw material weight was used as a binder. After that, the 8 experimental conditions were designed for the charcoal briquettes properties study such as compressive resistance, bending resistance moisture and heat energy. From the research, it was found that the prepared charcoal briquettes from the mixture of coconut shell charcoal powders, corn tree and peanut shell at 50:25:25 exhibited 5.678 kN/mm^2 of the average compressive resistance, 1.125 kN/mm^2 of the average bending resistance, 5.596% of the average moisture and 5,515.33 Cal/g of the highest heat energy, respectively. Therefore, these results indicated that this condition was an appropriate condition in the application. Afterward, an ANOVA method was applied in the statistical variance analysis at significance level 0.05 of compressive resistance, bending resistance, moisture and heat energy. The results present a significant difference of the 8 experimental conditions.

Keywords: charcoal briquette, heat energy, coconut shell

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากและมีการหาวิธีที่นำมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงจากธรรมชาติ และได้ถูกนำมาใช้อย่างมากสำหรับการผลิตและการหุงต้ม อีกทั้งเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อนให้สูงขึ้น จึงสามารถใช้ทดแทนถ่านไม้ธรรมชาติได้อย่างคุ้มค่า [1] โดยเฉพาะถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีกว่าถ่านไม้ธรรมชาติดังเช่น พลังงานความร้อนสูงสม่ำเสมอ เกิดเปลวไฟน้อย เกิดควันน้อย ไม่แตกปะทุ เป็นต้น ทำให้เศษเหลือทางการเกษตรจึงเป็นสิ่งที่ถูกให้ความสนใจในการผลิตถ่านอัดแท่งซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้อีกด้วย

ภาคเหนือมีการเพาะปลูกข้าวโพดและถั่วลิสงค่อนข้างมากสำหรับนำไปเป็นอาหารสัตว์จึงทำให้มีเศษเหลือหลังการเก็บเกี่ยวมากโดยเฉพาะลำต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสงที่ถูกปล่อยให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติ นอกจากการเกษตรแล้วการประกอบกิจการอุตสาหกรรมอาหารยังมีเศษเหลือทิ้งจำพวกเปลือกไข่มาก ซึ่งเศษเหลือเหล่านี้ต้องถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ การนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่งจึงคาดว่าเป็นอีกแนวทางที่เพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือทิ้งทั้ง 3 ชนิด และที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยที่โดดเด่นเกี่ยวกับถ่านอัดแท่งเป็นจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ดังเช่น ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเปลือกมะขาม [2] วัสดุก้านฝ้ายและฝุ่นไม้ [3] วัสดุเปลือกโกโก้ ใบแอลมอลและขี้เลื่อย [4] และวัสดุฟางข้าวผสมเศษลำไย [5] โดยมีวัสดุจากการเกษตรหลายชนิดที่ให้พลังงานความร้อนในระดับสูงเหมาะสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนถ่านไม้จากธรรมชาติดังเช่น กะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกลูกยาง [6, 7, 8] เป็นต้น และตามรายงานของ Bubphachot และคณะ, Onchieku และคณะ กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งด้วยการเพิ่มวัสดุเข้าไปผสมกับวัสดุหลักที่นำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งสามารถช่วยปรับปรุงความแข็งแรงและพลังงานความร้อนให้กับถ่านอัดแท่ง [9, 10] รวมถึงวัสดุตัวผสมที่อยู่ในรูปอนุภาคผงขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและการเผาไหม้นานขึ้นด้วย [11] ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวที่มีวัสดุตัวผสมเป็นต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสงและเปลือกไข่ ซึ่งเป็นแบบอนุภาคทั้ง 3 ชนิด เพื่อปรับปรุงสมบัติของถ่านอัดแท่งให้ดีขึ้น จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมา

ไม่พบการใช้ต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสงและเปลือกไข่มาผสมร่วมกันทั้ง 3 วัสดุ เพื่อเป็นวัสดุตัวผสม ด้วยการใช้ตัวประสานเป็นกาวลาเท็กซ์ [12] เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาการนำต้นข้าวโพดมาใช้ในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง อีกทั้งยังเป็นเศษเหลือทิ้งที่เกษตรกรเผาทำลายทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว การนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์กับชุมชนและภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้เชื้อเพลิง สำหรับเปลือกถั่วลิสงเป็นเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีเส้นใยมากและให้ค่าพลังงานความร้อนสูง เถ้าแกลบน้อยและคาร์บอนคงตัวต่ำ การนำมาเป็นตัวผสมจะเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้ดีในแนวนอนและทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น [13] ส่วนเปลือกไข่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงในแนวแกนตั้งและทำให้ค่าความร้อนคงที่สม่ำเสมออีกด้วย [9] จึงเป็นสิ่งที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบความเหมาะสมด้านประสิทธิภาพความร้อนและสมบัติทางกล สำหรับใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง

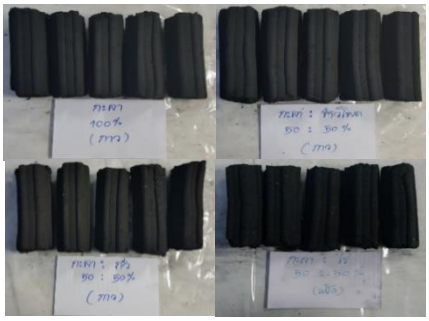
2. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาวิจัยนี้ใช้วัสดุหลักเป็นผงถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุตัวผสมที่ใช้ในการศึกษา 3 ชนิด ประกอบด้วย ซังข้าวโพด, เปลือกถั่วลิสง และเปลือกไข่ โดยวัสดุตัวผสมเหล่านี้นำมาเผาให้เป็นถ่าน นำมาบดตีแล้วร่อนให้มีขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ก่อนการนำมาผสมกับผงถ่านกะลามะพร้าว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเสริมความแข็งแรงและเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนสำหรับการทดลองผลิตถ่านอัดแท่ง โดยการขึ้นรูปของการผลิตถ่านอัดแท่งมีเงื่อนไขการทดลอง 8 เงื่อนไข ตามอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านกะลามะพร้าวกับวัสดุตัวผสมแต่ละชนิดดังตารางที่ 1 โดยตัวประสานใช้กาวลาเท็กซ์ที่ปริมาณ 20 wt% ของน้ำหนักวัสดุในการผลิตถ่านอัด จากนั้นนำผงถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุตัวผสมมาผสมให้เข้ากัน แล้วนำกาวลาเท็กซ์มาคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนการนำไปอัดขึ้นรูปในแต่ละการทดลอง ด้วยเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวอัดที่มีขนาดกระบอกอัด 5 เซนติเมตร กำลังมอเตอร์ 3 แรงม้า หลังการอัดแท่งถ่านมีลักษณะดังรูปที่ 1 แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการนำไปทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่งโดยผลตอบที่ต้องการศึกษาเป็นสมบัติถ่านอัดแท่ง 4 ด้าน ประกอบด้วยความต้านทานแรงอัดแนวแกนตั้ง ความต้านทานแรงดัด ความชื้นและพลังงานความร้อน

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลองขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

ที่	ตัวผสม		อัตราส่วนผสม (wt%)
1	ผงถ่านกะลามะพร้าว	-	100
2		ต้นข้าวโพด	50:50
3		เปลือกถั่วลิสง	50:50
4		เปลือกไข่	50:50
5		ต้นข้าวโพด + เปลือกถั่วลิสง	50:25:25
6		ต้นข้าวโพด + เปลือกไข่	50:25:25
7		เปลือกถั่วลิสง + เปลือกไข่	50:25:25
8		ต้นข้าวโพด + เปลือกถั่วลิสง + เปลือกไข่	50:16.6:16.6:16.6

เนื่องจากผลตอบทั้ง 4 ด้านนี้ส่งผลต่อความเสียหายในการขนย้ายและประสิทธิภาพการใช้งาน โดยทดสอบด้านการต้านทานแรงอัดแนวแกนตั้ง ตามมาตรฐาน ASTM D1621 [14] และด้านการต้านทานแรงดัดแบบ 3 จุด ตามมาตรฐาน ASTM D143 เป็นการทดสอบสมบัติทางกลของถ่านอัดแท่ง โดยขนาดถ่านอัดแท่งที่นำไปทดสอบจะมีขนาดความโต 5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร กดด้วยแรงกดขนาด 10 กิโลนิวตัน ในแต่ละการทดลองใช้ตัวอย่างชิ้นทดสอบจำนวนอย่างละ 3 ชิ้น เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการกระจายตัวชุดข้อมูลการทดลอง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับการทดสอบค่าพลังงานความร้อน ด้วยวิธีการแบบบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ตามมาตรฐาน ASTM D5865 [15] ด้วยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ที่มีออกซิเจนอยู่



รูปที่ 1 ตัวอย่างลักษณะถ่านอัด

ในปริมาณมากพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสกับตัวอย่างเชื้อเพลิง จนเกิดการเผาไหม้จนหมด จากนั้นจึงอ่านค่าความร้อนผ่านเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม และหาปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยอบถ่านอัดแท่งที่เป็นชิ้นทดสอบก่อนปริมาณ 10 กรัมใส่ในภาชนะทนความร้อน อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นลง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักก่อนการอบ(W_1) จากนั้นนำไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ(W_2) แล้วหาค่าปริมาณความชื้นตามสมการที่ 1 [16]

$$Mo = \frac{w_1 - w2}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ Mo คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น w_1 คือ น้ำหนักถ่านอัดแท่งก่อนการอบ (กรัม) และ w_2 คือ น้ำหนักถ่านอัดแท่งหลังการอบ (กรัม) จากนั้นเมื่อได้ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านการต้านทานแรงอัด การต้านทานแรงดัด ปริมาณความชื้นและค่าพลังงานความร้อนแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยสมมติฐานที่ทดสอบดังนี้

สมมติฐานค่าความต้านทานแรงอัด

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_{c1} = \mu_{c2} = \mu_{c3} = \mu_{c4} = \mu_{c5} = \mu_{c6} = \mu_{c7} = \mu_{c8}$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_{c1} \neq \mu_{c2} \neq \mu_{c3} \neq \mu_{c4} \neq \mu_{c5} \neq \mu_{c6} \neq \mu_{c7} \neq \mu_{c8}$ อย่างน้อย1 คู่

เมื่อ μ_c คือค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่งเงื่อนไขที่ 1 ถึง n

สมมติฐานค่าความต้านทานแรงดัด

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_{b1} = \mu_{b2} = \mu_{b3} = \mu_{b4} = \mu_{b5} = \mu_{b6} = \mu_{b7} = \mu_{b8}$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_{b1} \neq \mu_{b2} \neq \mu_{b3} \neq \mu_{b4} \neq \mu_{b5} \neq \mu_{b6} \neq \mu_{b7} \neq \mu_{b8}$ อย่างน้อย1 คู่

เมื่อ μ_b คือค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงดัดของถ่านอัดแท่งเงื่อนไขที่ 1 ถึง n

สมมติฐานค่าความชื้น

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_{m1} = \mu_{m2} = \mu_{m3} = \mu_{m4} = \mu_{m5} = \mu_{m6} = \mu_{m7} = \mu_{m8}$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_{m1} \neq \mu_{m2} \neq \mu_{m3} \neq \mu_{m4} \neq \mu_{m5} \neq \mu_{m6} \neq \mu_{m7} \neq \mu_{m8}$ อย่างน้อย1 คู่

เมื่อ μ_m คือค่าเฉลี่ยของความชื้นของถ่านอัดแท่งเงื่อนไขที่ 1 ถึง n

สมมติฐานค่าพลังงานความร้อน

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_{h1} = \mu_{h2} = \mu_{h3} = \mu_{h4} = \mu_{h5} = \mu_{h6} = \mu_{h7} = \mu_{h8}$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_{h1} \neq \mu_{h2} \neq \mu_{h3} \neq \mu_{h4} \neq \mu_{h5} \neq \mu_{h6} \neq \mu_{h7} \neq \mu_{h8}$ อย่างน้อย1 คู่

เมื่อ μ_h คือค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเงื่อนไขที่ 1 ถึง n

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลก่อนแล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในเชิงสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบแต่ละด้านของทั้ง 8 เงื่อนไขการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์จุดคุ้มตามสมการที่ 2

$$N=F/(P-V) \quad (2)$$

เมื่อ N คือ ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน F คือ ต้นทุนคงที่ P คือ ราคาขายต่อหน่วย และ V คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย เพื่อหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

3. ผลการทดลอง

เมื่อดำเนินการทดลองผลิตถ่านอัดตามสูตรที่มีอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ทั้ง 8 เงื่อนไขการทดลองแล้วนำถ่านอัดแท่งที่ได้มาทดสอบเพื่อหาค่าสมบัติด้านความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดัด ค่าความชื้น และค่าพลังงานความร้อนซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 โดยเงื่อนไขการทดลองที่ 4 ให้สมบัติด้านการต้านทานแรงอัดและการต้านทานแรงดัดได้สูงเฉลี่ยถึง 6.792 kN/mm^2 และ 1.515 kN/mm^2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าถ่านอัดแท่งในเงื่อนไขอื่น ๆ เนื่องมาจากอนุภาคเม็ดผงเปลือกไข่ที่ผสมเข้าไปมีขนาดเล็กกว่าเมื่อผสมกับผงถ่านกะลามะพร้าวแล้วเข้ากันได้ดีทำให้อนุภาคเม็ดผงเปลือกไข่กระจายตัวแทรกได้ดีทั่วทั้งแท่งถ่าน เมื่ออัดเป็นแท่งถ่านจึงมีความแน่นของเนื้อถ่านมากขึ้น ช่วยต้านทานแรงอัดและแรงดัดได้ดีขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ Bubphachot และคณะ กล่าวถึงอนุภาคเม็ดผงที่มีขนาดยิ่งเล็กจะเพิ่มความแข็งแรงด้านแรงกดอัดได้สูง [9] แต่ในทางกลับกันมีค่าความชื้นสูงเฉลี่ย 6.196% และค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดเฉลี่ย 5,206.66 cal/g เนื่องจากการอัดแท่งถ่านทำให้ความแน่นของเนื้อแท่งถ่านมีมากกว่าเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ อีกทั้งเปลือกไข่มีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อยู่มากมีความสามารถในการดูดซับและกักน้ำในตัวได้ดี [17] ทำให้มีปริมาณความชื้นสูง จึงส่งผลให้พลังงานความร้อนที่ได้มีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ เงื่อนไขการทดลองที่ 5 ให้ค่าความแข็งแรงด้านการต้านทานแรงอัด 5.678 kN/mm^2 และต้านทานแรงดัด 1.125 kN/mm^2 อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ แต่ค่าความชื้นมีปริมาณต่ำเฉลี่ย 5.596% และค่าพลังงานความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 5,515.33 cal/g เนื่องมาจากวัสดุตัวผสมต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีความแข็งแรงที่ต่ำกว่าอนุภาคเปลือกไข่จึงทำให้การต้านทานต่อแรงอัดและแรงดัดได้น้อยลง แต่ให้ค่าความชื้นต่ำและพลังงานความร้อนสูงจากการที่เส้นใยเซลลูโลสมีความพรุนมากเมื่ออบไล่ความชื้นทำให้น้ำระเหยออกได้มากและอากาศเข้าไปสันดาปได้ดีจึงส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้สูงตามไปด้วย

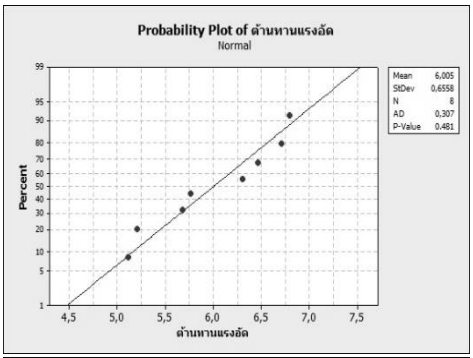
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ผลตอบจากการทดลองถ่านอัดแท่งทั้ง 8 เงื่อนไขการทดลอง

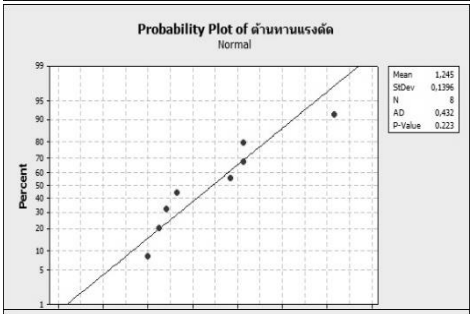
ที่	ต้านทานแรงอัด (kN/mm^2)	ต้านทานแรงดัด (kN/mm^2)	ความชื้น (%)	พลังงานความร้อน (cal/g)
1	5.766	1.142	5.637	5,315.33
2	5.204	1.128	5.430	5,467.00
3	5.117	1.099	5.766	5,318.66
4	6.792	1.515	6.196	5,206.66
5	5.678	1.125	5.596	5,515.33
6	6.464	1.164	6.256	5,355.33
7	6.711	1.313	5.856	5,487.66
8	6.304	1.313	5.526	5,470.00

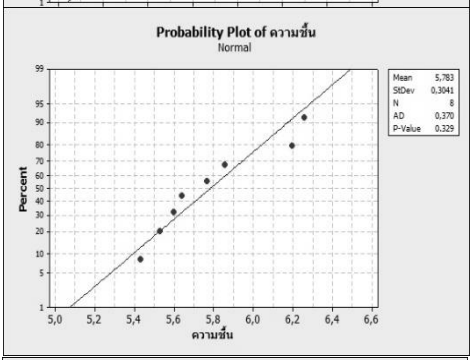
จากนั้นนำข้อมูลการทดลองจากตารางที่ 2 มาทดสอบความปกติของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพบว่า ข้อมูลการทดลองด้านการต้านทานแรงอัด ด้านการต้านทานแรงดัด ด้านความชื้น และพลังงานความร้อน มีค่า P-value มากกว่า 0.05 ดังตารางที่ 3 แสดงว่าข้อมูลดังกล่าวมีการกระจายตัวแบบปกติ โดยลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 2

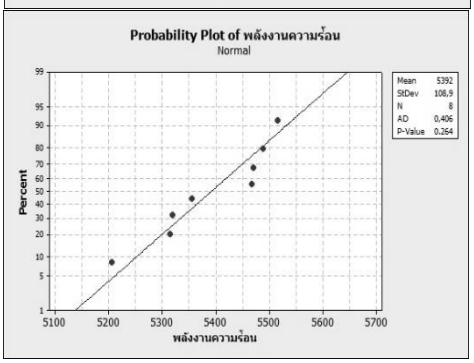
ตารางที่ 3 การทดสอบความปกติของข้อมูล

Normal testing	**ความต้านทานแรงอัด**	**ความต้านแรงดัด**	**ความชื้น**	**พลังงานความร้อน**
P-value	0.481	0.223	0.329	0.264
results	Normal	Normal	Normal	Normal









รูปที่ 2 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยผลตอบทั้ง 4 ด้าน

One-way ANOVA: ต้านทานแรงอัด vs 8 เงื่อนไขถ่านอัดแท่ง

Source	DF	SS	MS	F	P
factor	7	9.03119	1.29017	166.60	0.000
Error	16	0.12391	0.00774		
Total	23	9.15509			

S = 0.08800 R-Sq = 98.65% R-Sq(adj) = 98.05%

One-way ANOVA: ต้านทานแรงดัด vs 8 เงื่อนไขถ่านอัดแท่ง

Source	DF	SS	MS	F	P
factor	7	0.43620	0.06231	23.65	0.000
Error	16	0.04216	0.00264		
Total	23	0.47836			

S = 0.05133 R-Sq = 91.19% R-Sq(adj) = 87.33%

One-way ANOVA: ปริมาณความชื้น vs 8 เงื่อนไขถ่านอัดแท่ง

Source	DF	SS	MS	F	P
factor	7	2.2531	0.3219	6.26	0.001
Error	16	0.8223	0.0514		
Total	23	3.0754			

S = 0.2267 R-Sq = 73.26% R-Sq(adj) = 61.57%

One-way ANOVA: พลังงานความร้อน versus 8 เงื่อนไขถ่านอัดแท่ง

Source	DF	SS	MS	F	P
factor	7	249062	35580	11.14	0.000
Error	16	51098	3194		
Total	23	300160			

S = 56.51 R-Sq = 82.98% R-Sq(adj) = 75.53%

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ของผลตอบทั้ง 4 สมมติฐาน ด้านความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ปริมาณความชื้น และค่าพลังงานความร้อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ ANOVA ทั้ง 4 ผลตอบเทียบกับเงื่อนไขถ่านอัดทั้ง 8 เงื่อนไขการทดลอง พบว่าค่า P-value มีค่าที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้ง 4 ผลตอบ ดังตารางที่ 4 นั่นหมายความว่าไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะยอมรับสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธสมมติฐานรอง ดังนั้นถ่านอัดแท่งทั้ง 8 เงื่อนไขการทดลอง ที่มี

ค่าผลตอบด้าน ความต้านทานแรงอัด ด้านความต้านทานแรงดัด ด้านปริมาณความชื้นและด้านพลังงานความร้อน มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงสรุปได้ว่าปัจจัยชนิดของวัสดุที่นำมาผสมกันทั้ง 3 ชนิด และอัตราส่วนผสมจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ค่าปริมาณความชื้น และค่าพลังงานความร้อน หากเลือกใช้วัสดุที่นำมาผสมกันไม่เหมาะสมหรือมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมจะทำให้สมบัติของถ่านอัดทั้ง 4 ด้านที่กล่าวมาเปลี่ยนแปลงไปด้วยแนวโน้มที่ดีขึ้นหรือลดลงได้ ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบมาใช้ในการผลิตและการควบคุมอัตราส่วนผสมให้เหมาะสมจะสามารถทำให้ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งาน

เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยการหาจุดคุ้มทุนซึ่งมีรายละเอียดของต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร และราคาขาย ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดการหาจุดคุ้มทุนในการผลิต

รายละเอียด	รายการ	ราคา (บาท)
ต้นทุนคงที่	ราคาเครื่องอัดถ่าน กำลังการผลิต100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	32,000
	ค่าแรงงาน	300
	ต้นทุนการผลิตในการผลิตต่อกิโลกรัม	30
	ค่าขนส่งวัตถุดิบต่อครั้งการผลิต	200
ต้นทุนผันแปร	ค่าจ้างบรรจุและขนย้ายต่อกิโลกรัม	3.5
	ค่าไฟฟ้าในการผลิตต่อกิโลกรัม	0.5
ราคาขาย	ราคาขายต่อกิโลกรัม	20

โดยในการพิจารณาจากผลิตตามความสามารถของเครื่องจักร 800 กิโลกรัมต่อวัน ใช้แรงงาน 2 คน เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4 มาหาจุดคุ้มทุนจาก สมการที่ 2 จะได้ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุนที่ 2,052 กิโลกรัม ดังนั้นหากต้องการที่จะผลิตในเชิงพาณิชย์แล้วต้องผลิตถ่านอัดแท่งจำนวน 2,052 กิโลกรัม หากพิจารณาตามอัตรากำลังการผลิตของเครื่องสูงสุดแล้วต้องผลิตถ่านอัดแท่ง 2.56 วัน จึงจะคุ้มค่าสำหรับการลงทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งนี้

4. สรุป

การทดลองผลิตถ่านอัดแท่ง 8 เงื่อนไขการทดลอง โดยเงื่อนไขการทดลองที่ 5 คือ ผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ที่อัตราส่วน 50:25:25 เป็นเงื่อนไขที่ให้ค่าต้านทานแรงอัด ค่าต้านทานแรงดัดในระดับปานกลาง5.678 kN/mm^2 และ 1.125 kN/mm^2 สำหรับค่าปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างต่ำ 5.596% แต่ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 5,515.33 cal/g ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน สำหรับเงื่อนไขการทดลองที่ 4 ให้ค่าความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยสูงสุดถึง 6.792 kN/mm^2 และ 1.515 kN/mm^2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเงื่อนไขถ่านอัดแท่งอื่น ๆ แต่ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงถึง 6.196% และค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 5,206.66 cal/g ซึ่งต่ำกว่าเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการทดลองของแต่ละเงื่อนไข ให้ค่าของผลตอบด้านความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ปริมาณความชื้น และพลังงานความร้อน ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการวิจัยนี้สรุปได้ว่าวัตถุดิบในการผลิตถ่านอัดด้วย ผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ที่อัตราส่วน 50:25:25 ด้วยตัวประสานกาวลาเท็กซ์ที่ปริมาณ 20 wt%ของน้ำหนักวัสดุในการผลิตถ่านอัด เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้ในงาน อีกทั้งยังให้สมบัติของถ่านอัดที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวเพียงอย่างเดียวที่มีขายตามท้องตลาดอีกด้วย นอกจากนี้วัตถุดิบผงถ่านกะลามะพร้าว ต้นข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ยังสามารถหาได้ง่ายทั่วไปในท้องถิ่น หากมีส่งเสริมและรวมกลุ่มกันในชุมชนเพื่อจัดตั้งกลุ่มผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยการนำวัตถุดิบดังกล่าวมาใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งเชิงพาณิชย์สามารถเพิ่มรายได้ให้ชุมชนและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือ

จากการเกษตร

อย่างไรก็ตามเมื่อวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งและอัตราส่วนผสมจากการศึกษาวิจัยนี้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ค่าปริมาณความชื้น และค่าพลังงานความร้อน การหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของแต่ละเงื่อนไขในการผลิตถ่านอัดจึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวที่มีวัสดุตัวผสมเป็นต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสงและเปลือกไข่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

เอกสารอ้างอิง

[1] A. R. D. Romallosa and E. Kraft, Feasibility of Biomass Briquette Production from MunicipalWaste Streams by Integrating the Informal Sector in the Philippines, resources, vol. 6, no. 12, pp. 1-19, 2017.

[2] หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ, ถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขาม, ใน การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 3, อุบลราชธานี, 2561.

[3] S. Wu and S. Zhang, High-strength charcoal briquette preparation from hydrothermal pretreated biomass wastes, Fuel Processing Technology, vol. 171, pp. 293–300, 2018.

[4] C. A. I. Raju, K. Ramya Jyothi, M. Satya and U. Praveena, Studies on development of fuel briquettes for household and industrial purpose, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 3, no. 2, pp. 54-63, 2014.

[5] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน, วิภาวดี ชัชวาลย์ และ อานันท์ ธัญญเจริญ, การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง, วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, ปีที่ 39, ฉบับที่ 2, หน้า. 239-255, 2559.

[6] สุวดี จางอิสระกุล, อับดุลลาตีฟ ดอรอแม, อาริษา เรืองมี และ ชญานุช แสงวิเชียร, ชีวมวลทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานทดแทนโดยเปลือกลูกยางและหญ้าแฝก, ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, พิษณุโลก, 2552.

[7] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และ พัชรี ปรีดาสุริยะชัย, การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง, วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 7, ฉบับที่ 13, หน้า15-26, 2558.

[8] A. Zubairu and S. A. Gana, Production and Characterization of Briquette Charcoal by Carbonization of Agro-Waste, Energy and Power, vol. 4, no. 2, pp. 41-47, 2014.

[9] B. Bubphachot, R. Seeladlao and S. Wiriyaumpaiwong, Effects of Mixing Ratio and Size of Egg-Shell on Boiling and Compression Test of Mixed Charcoal, Energy Research Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22-25, 2010.

[10] J. Onchieku, B. Chikamai and M. Rao, Optimum Parameters for the Formulation of Charcoal Briquettes Using Bagasse and Clay as Binder, European Journal of Sustainable Development, vol. 1, no. 3, pp. 477-492, 2012.

[11] M. Thabuot, T. Pagketanang, K. Panyacharoen, P. Mongkut and P. Wongwicha, Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties of Holey Bio-Briquettes, Energy Procedia, vol. 79, pp. 890 – 895, 2015.

[12] B. J. Major and G. Radu, Briquette Binder Composition, United States Patent, Patent number. 6,013,116, 11 jan 2000.

[13] พัชรี อินธนู และ แพรขวัญ เกตุรมย์, การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่. 28, ฉบับที่. 4, หน้า. 837-847, 2561.

[14] ศุภชัย. ธรรมศิริทรัพย์ และ ภูมิพัฒน์ ภาชนะ, การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเน

เปียร์, ใน การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6, 2558.

[15] J. Prasityousil and A. Muenjina , Properties of solid fuel briquettes produced from rejected material of municipal waste composting, Procedia Environmental Sciences, vol. 17, pp. 603-610, 2013.

[16] วีระ พันอินทร์, การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่. 23, ฉบับที่. 1, หน้า. 146-163, 2561.

[17] เอกลักษณ์ มณีทิพย์, ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์, สิงห์ อินทรชูโต และ ธิติมา ใสโม้, อิทธิพลของเปลือกไข่ไก่เผาที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์, นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12 วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ, พิษณุโลก 2559.