

การศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายและถ่านกะลามะพร้าว

The Study of Properties of Fuel Briquettes from Cotton Dust and Coconut Shell Charcoal

วชิราภรณ์ คำออน¹ สุนีรัตน์ ฟูกุดะ² และ แววบุญ แยมแสงสังข์³

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-Mail: tungau2012@gmail.com

²วิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-Mail: suneerat.pip@kmutt

³สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-Mail: weawboon.yam@stou.ac.th

Wachiraporn Khamon¹, Suneerat Fukuda² and Weawboon Yamsangsung³

¹Master of Science (Industrial Technology), Sukhothai Thammathirat Open University

²The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE) Center of Excellence on Energy

Technology and Environment (CEE),

King Mongkut's University of Technology Thonburi

³School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

วันที่รับบทความ 20 พฤศจิกายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

การทำการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าว ในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (2) เพื่อศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่าง แป้งมันสำปะหลัง กับ แป้งข้าวเจ้า (3) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายกับผงถ่านกะลามะพร้าว วิธีดำเนินการวิจัย มี 3 ขั้นตอนคือ (1) การตรวจสอบสมบัติของถ่านกะลามะพร้าวกับฝุ่นฝ้าย (2) การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของตัวเชื่อมประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (3) การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า (1) ถ่านกะลามะพร้าว และฝุ่นฝ้ายเมื่อนำมาหา ค่าความชื้น ปริมาณกำมะถัน และ ค่าความร้อน พบว่าวัตถุดิบทั้ง 2 มีความเหมาะสมในการนำไปทำเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ (2) พบว่าปริมาณตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งของทั้งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า คือ ร้อยละ 18 โดยทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แต่อัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ดีที่สุดคือที่อัตราส่วน 90:10:18 และ 70:30:18 ของทั้ง 2 ตัวเชื่อมประสาน (3) การใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเชื่อมประสาน จะได้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่มี สมบัติทางกายภาพ ที่แตกต่างกันเล็กน้อย

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง, กะลามะพร้าว, ฟูนฝ้าย

Abstract

The purposes of this thesis were: (1) to study the optimum ratio between cotton dust, charcoal and coconut shell charcoal powder for forming into briquettes. (2) to study the type of starch which is suitable as a binder for forming briquettes between tapioca starch and rice starch. (3) for a comparative study physical property of briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. The research methodology were as follows: (1) Determination of properties of coconut shell charcoal with cotton dust. (2) Optimal quantification of binders used in briquette forming. (3) Study of physical properties of briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. (4) Study of production cost per unit.

The results of this research were as follows: (1) Coconut Shell Charcoal and cotton dust when taken for moisture content, sulfur content and heat value, it was found that both raw materials were suitable for making briquette fuels. (2) It was found that the optimum amount of binder to be used in making briquettes of both tapioca starch and rice starch were at 18 percent. All ratios tested could be molded into briquettes. But the best forming ratio is at the 90:10:18 and 70:30:18 ratios of the two binders. (3) Using tapioca starch and rice flour as binders will produce fuel briquettes with no different in physical properties.

Keywords: briquettes, coconut shell, cotton dust

1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิต ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์บนโลกเพิ่มสูงขึ้นมาตลอด ซึ่งพลังงานที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยหากมีการใช้พลังงานเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ ในอนาคตก็จะเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานขึ้นรุนแรงซึ่งมีการประมาณการว่าหากมีการใช้พลังงานในระดับเท่าปัจจุบันต่อไปเรื่อย ๆ และไม่มีการค้นพบแหล่งพลังงานเพิ่มเติมก็จะทำให้โลกเราเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานอย่างรุนแรงในอนาคต ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันราคาพลังงานดิบตัวสูงขึ้นมาก ทั้งน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และ น้ำมันดิบ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก สภาพอากาศ และความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากเศรษฐกิจฟื้นตัวจากสถานการณ์โควิด19 ตั้งแต่ต้นเดือน กันยายน 2564 ในเอเชียราคาก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น ร้อยละ 80 ในยุโรปราคาก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น ร้อยละ130 ซึ่งสูงกว่าช่วงเวลาเดียวกันของปี 2563 ถึง 8 เท่า (นงนุช สิงหเดชะ, 2564) ส่วนสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเองจากอดีตจนถึงปัจจุบันก็มีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานคือการพัฒนาชนิดค้นหาลังงานชนิดอื่นมาใช้

ทดแทนซึ่งควรจะเป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งก็ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทนที่สามารถใช้ประโยชน์โดยใช้ให้ความร้อนเพื่อใช้ปรุงอาหารในครัวเรือน ใช้ในบ้านอาหาร จนถึงใช้ในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เผาไหม้โดยตรงให้หม้อไอน้ำ โรงไฟฟ้าถ่านหินหลายแห่งสามารถนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ร่วมกับถ่านหินเพื่อเป็นการลดการปล่อยมลภาวะโดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (กระทรวงพลังงาน, 2559) ในขณะเดียวกันประเทศไทยก็มีการทำอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มมาเป็นเวลานานและหนึ่งในอุตสาหกรรมนี้ก็คือ การผลิตเส้นด้าย ซึ่งประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกขายไปยังประเทศต่างๆทั่วโลก โดยจากการสำรวจในเดือน มีนาคม 2563 พบว่ามีโรงงานผลิตเส้นใยและปั่นด้ายทั้งหมด 164 แห่ง (ศูนย์ข้อมูลและดิจิทัลอุตสาหกรรม สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2563) ซึ่งในการผลิตเส้นด้ายนั้นต้องใช้ฝ้ายมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิต ซึ่งขั้นตอนการผลิตจะแตกต่างกันไปตามแต่นิคมของด้ายแต่การผลิตด้ายทุกชนิดจะต้องมี ขั้นตอนการผสมและการสาวใยซึ่งทั้งสองขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดของเสียที่เรียกว่า ฝุ่นฝ้าย ที่ถือว่าเป็นของเสียจากการผลิต และยังก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดอีกด้วย

จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำฝุ่นฝ้ายที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทนันทนาการทออุตสาหกรรมจำกัด มาทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนด้วยเหตุผลที่ตัวฝุ่นฝ้ายนี้มีสมบัติที่สามารถติดไฟได้ง่ายและให้ค่าพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งได้โดยงานวิจัยได้เลือกนำถ่านกะลามะพร้าวมาผสมเพื่อช่วยเสริมให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งมีค่าความร้อนที่สูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาง่ายและราคาไม่แพง โดยมีการเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังแป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเชื่อมประสานแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งการนำฝุ่นฝ้ายมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนอกจากจะช่วยลดต้นทุนในการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอแล้วยัง เป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 2.2 เพื่อศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กับแป้งข้าวเจ้า
- 2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายและถ่านกะลามะพร้าว

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้ แนวคิดเกี่ยวกับฝ้ายและฝุ่นฝ้าย แนวคิดเกี่ยวกับมะพร้าวและกะลามะพร้าว แนวคิดเกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า แนวคิดเกี่ยวกับการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง แนวคิดในการคำนวณต้นทุนการผลิต โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

กัณมณี แสงสุข (2559) ทำการศึกษาลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ซี่เลื่อยและด้าย และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งหมด 11 อัตราส่วน แล้วพบว่าที่อัตราส่วน เศษเยื่อไม้ต่อซี่เลื่อยต่อด้ายที่อัตราส่วน 40:50:10 มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด โดยมีต้นทุนที่ 0.63 บาท/แท่ง

พัชรีย์ อินธนู และ แพรชวัญ เกตุรมย์ (2560) ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเปลือกถั่วลิสง โดยใช้ตัวประสานสองชนิด คือ แกลบ และ แป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแป้งมันที่เป็นตัวประสานมากขึ้น

และความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันในการอัดมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการใช้แรงดันในการอัดสูงจะทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของคาร์บอนลดลงทำให้อนุภาคอัดตัวกันแน่นขึ้นจึงทำให้มีค่าดัชนีการแตกร่วนที่มากขึ้น

ยัมแย้ม ลิ่วรัตน์ (2557) ศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของฝุ่นฝ้ายกับชีวมวลจากใบอ้อยและฟางข้าวใช้แ่งมันเป็นตัวประสานโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาต้นทุนรวมของชีวมวลอัดแท่งที่มีน้ำหนัก 500, 1,000 และ 20,000 กิโลกรัม พบว่า 500 กิโลกรัม ที่อัตราส่วน ใบอ้อย ฟางข้าว ฝุ่นจากเศษฝ้ายและแ่งมันสำหรับหลัง 23:17:50:10 ให้ผลที่เหมาะสมที่สุด คือ มีต้นทุน 8.35 บาทต่อกิโลกรัม

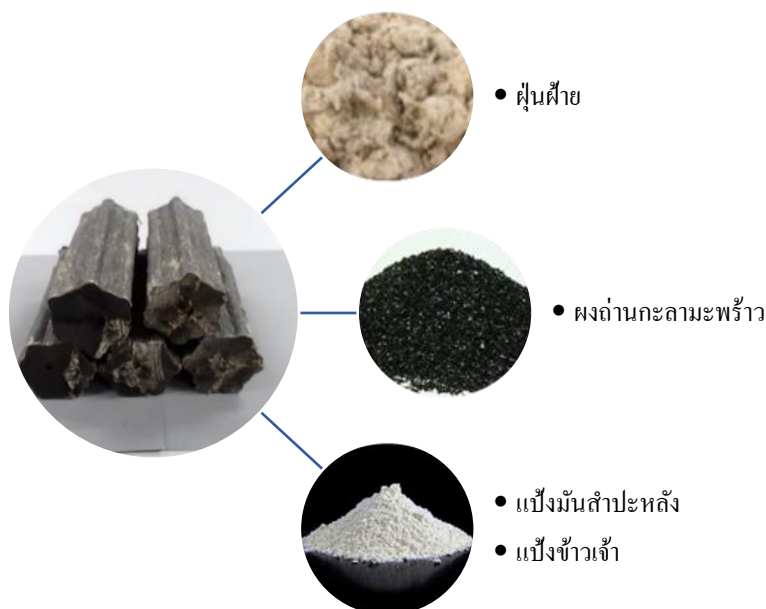
รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล (2553) ได้ทำการศึกษาการทำถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและเห้งมันสำหรับหลัง โดยใช้แ่งมันสำหรับหลังเป็นตัวประสานทำการศึกษาอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวต่อถ่านเห้งมันสำหรับหลังทั้งหมด 9 อัตราส่วน คือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, และ 1:9 แล้วนำไปทดสอบด้านเชื้อเพลิง และทางด้านกายภาพ รวมทั้ง ทำการวิเคราะห์ผลการตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเมื่อสัดส่วนของถ่านกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามทั้งนี้เนื่องจากผลการทดสอบวัตถุพบว่กะลามะพร้าวมีค่าความร้อนมากที่สุด ที่อัตราส่วน 9:1 จึงให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 6,580 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลการตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของถ่านกะลามะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาอัตราส่วนที่มีต้นทุนต่ำสุดที่ได้ค่าความร้อนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.๒๓๘/๒๕๔๗ คืออัตราส่วน 3:7 ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ามีความคุ้มค่าต้นทุนการผลิต 5.35 กิโลกรัม/บาท ซึ่งหากทำการผลิตได้ 400 กิโลกรัม/วัน ก็จะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 5 ปี

สุกัญญา ทับทิม และ ศศิธร ปรีทอง (2557) ศึกษาถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมกับก้อนเห็ดหลังการเก็บเกี่ยว 5 อัตราส่วนคือ 9:1, 8:2, 5:5, 2:8, และ 1:9 หลังเก็บเกี่ยวโดยใช้ร้อยละ 10 กาวแปงเปียกเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการเพิ่มของอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวทั้งนี้เพราะถ่านกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นมากกว่าก้อนเห็ด แต่ความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนของ ถ่านกะลามะพร้าว เช่นกัน

Kong และ คณะ (2013) ได้ศึกษาปฏิริยาการสานเข้าด้วยกันของเส้นใย (Intertwining) ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก ชี้อ้อยไม่สน กับ เส้นใยผ้าลินินที่มีขนาดแตกต่างกันคือ 0, น้อยกว่า 0.2, 1, 2, 10, และ 50 มิลลิเมตรตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่น และการทนต่อแรงกดอัด เพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแรงสานกันระหว่างเส้นใยด้ายกับชี้อ้อยสนซึ่งเมื่อเส้นใยมีความยาวมากขึ้นจะเกิดแรงสานกันได้ดีขึ้นตาม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทำการวิจัยเชิงทดลองโดยนำฝุ่นฝ้าย มาผสมกับผงถ่านกะลามะพร้าวโดยใช้แ่งมันสำหรับหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานโดยศึกษา อัตราส่วนระหว่าง ฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกะลามะพร้าวต่อแ่งมันสำหรับหลัง 7 ส่วน ได้แก่ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 และ ศึกษาอัตราส่วนระหว่าง ฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกะลามะพร้าวต่อแ่งข้าวเจ้าอีก 7 อัตราส่วน ได้แก่ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 เพื่อทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วนำไป ทดสอบสมบัติทางกายภาพ



รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุนฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยใช้ตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 18 และ ที่อัตราส่วนของ ฝุนฝ้าย:ผงถ่านกะลามะพร้าว:ตัวเชื่อมประสาน ที่ 90:30:18 และ 70:30:18 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด คือมีลักษณะทางกายภาพ จับตัวเป็นแท่งได้ดี มีผิวเรียบ ไม่มีรอยแตกร้าว ส่วนอัตราส่วนอื่นๆ สามารถขึ้นรูปได้เช่นกัน แต่จะมีรอยร้าวรอบๆ แท่ง หรือมีผิวขรุขระเล็กน้อย



รูปที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน

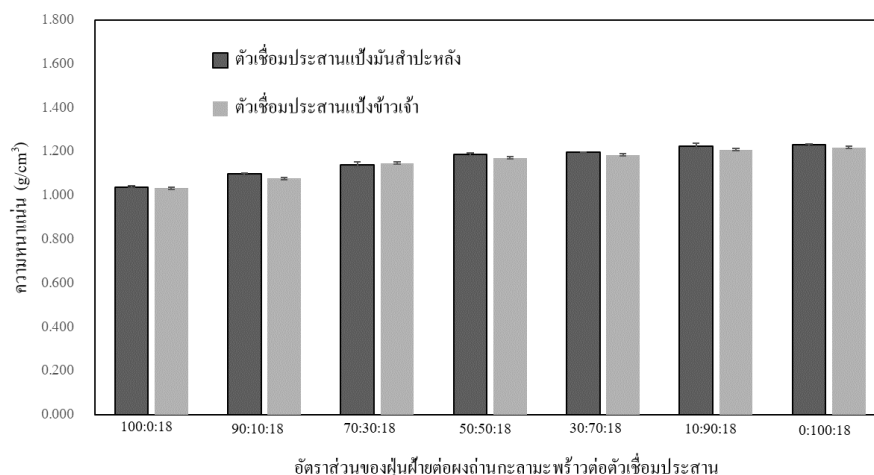


รูปที่ 4 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้แบ่งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสาน

5.2. ผลการศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า การใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเชื่อมประสานทำให้ขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ไม่แตกต่างกันทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ

5.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้ามี สมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

5.3.1 จากการทดลองพบว่า ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน มีค่าอยู่ในช่วง 1.039-1.232 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและค่าอัดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าอยู่ในช่วง 1.034-1.220 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร กรณีใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วน ผุ่นฝ้ายต่อถ่านผงกะลามะพร้าวต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 มีค่าเท่ากับ 1.039, 1.101, 1.141, 1.187, 1.198, 1.229, และ 1.232 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ กรณีใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วนผุ่นฝ้ายต่อถ่านกะลามะพร้าวต่อแป้งข้าวเจ้า เท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 มีค่าเท่ากับ 1.034, 1.078, 1.148, 1.172, 1.186, 1.209 และ 1.220 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวในเชื้อเพลิงอัดแท่งมากขึ้นทั้งในตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าทำให้ค่าความหนาแน่นมากขึ้นเล็กน้อยเนื่องจาก ถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าผุ่นฝ้ายที่มีความฟูและเบา การลดปริมาณของผุ่นฝ้ายแล้วเพิ่มปริมาณถ่านกะลามะพร้าวจึงทำให้ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และหากเปรียบเทียบตัวเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิดในทุกอัตราส่วนของผุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวพบว่าค่าความหนาแน่นของตัวเชื่อมประสานแป้งมันสำปะหลังมีค่ามากกว่าแป้งข้าวเจ้าเพียงเล็กน้อย และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานการขนส่งของถ่านอัดแท่งจากเศษไม้ DIN 5173 (1996) กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งต้องมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1000-1400 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (DIN 517 31 1996) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00-1.40 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร นั่นเอง



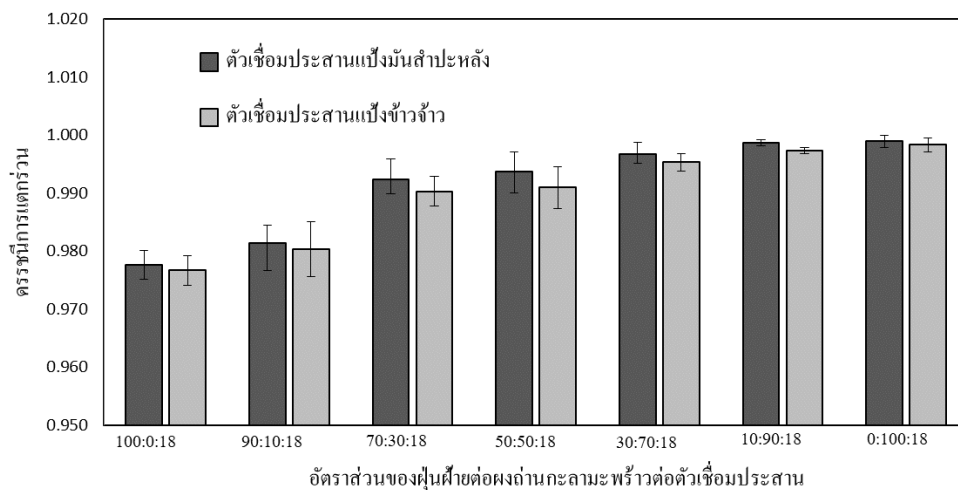
รูปที่ 5 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.3.2 ค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นค่าสัดส่วนของน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทำการทดสอบต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังการทดสอบ ดังนั้นดัชนีการแตกร่วนที่มีค่าใกล้เคียงศูนย์จะหมายถึงเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น ไม่ค่อยจับตัวกัน มีการแตกร่วนมากทำให้แตกหักได้ง่าย ส่วนค่าดัชนีการแตกร่วนที่มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ก็จะมีเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น มีการจับตัวกันดี ทำให้เกิดการแตกร่วนน้อย ไม่แตกหักง่าย ซึ่งจากผลการทดลองได้ค่าดังต่อไปนี้ ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าอยู่ในช่วง 0.978-0.999 และค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าอยู่ในช่วง 0.975-0.998

กรณีใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วนฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกละมะพร้าวต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 มีค่าเท่ากับ 0.978, 0.981, 0.992, 0.994, 0.997, 0.999 และ 0.999 ตามลำดับ

กรณีใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วนฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกละมะพร้าวต่อแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 มีค่าเท่ากับ 0.975, 0.980, 0.990, 0.991, 0.995, 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถ่านกละมะพร้าวในเชื้อเพลิงอัดแท่งมากขึ้นทั้งในตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าทำให้ค่าดัชนีการแตกร่วนมากขึ้นตามทั้งนี้เนื่องมาจากถ่านกละมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากมีอนุภาคขนาดเล็กส่วนฝุ่นฝ้ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าและมีลักษณะเป็นเส้นใยฟูการลดปริมาณของฝุ่นฝ้ายแล้วเพิ่มปริมาณถ่านกละมะพร้าวในเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการอัดอนุภาคของถ่านกละมะพร้าวจะอัดตัวกันได้แน่นมากกว่าฝุ่นฝ้าย ทำให้ถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วนของถ่านกละมะพร้าวมากมีช่องว่างในก้อนเชื้อเพลิงน้อย จึงส่งผลให้มีค่าดัชนีการแตกร่วนที่มากตามไปด้วย หากทำการเปรียบเทียบตัวเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิดในทุกอัตราส่วนของฝุ่นฝ้ายกับถ่านกละมะพร้าวพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ตัวเชื่อมประสานที่เป็น แป้งมันสำปะหลังมีค่าดัชนีการแตกร่วนสูงกว่า แป้งข้าวเจ้าเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดชและคณะ ที่ทำการศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งท้า และ แป้งเท้ายายม่อม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแป้งมันสำปะหลังจะมีเจลแป้งที่ใสอ่อนนุ่มและมีความหนืดมากกว่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งแป้งข้าวเจ้าจะเป็นเจลลักษณะทึบและแข็ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งข้าวเจ้ามีความแข็งเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าแป้งมันสำปะหลังเมื่อมีแรงกระทำหรือกดทับ (ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช, ธงชัย สุวรรณสิขณณ์, วิชัย หฤทัยธนาสันต์, และกล้าณรงค์ ศรีรอด, 2556) ซึ่ง

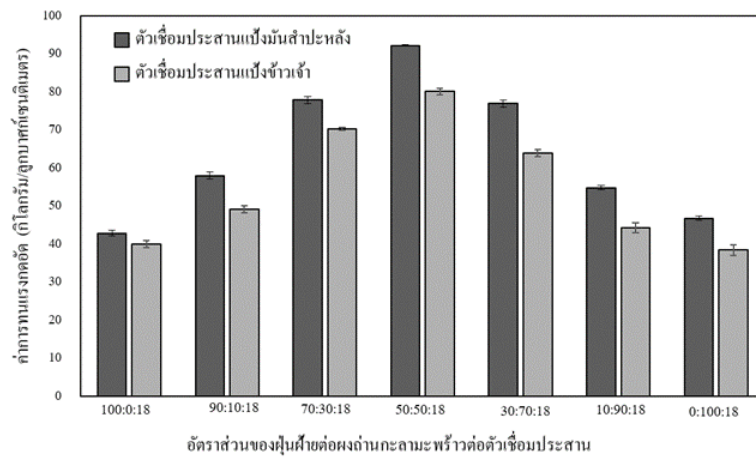
การที่แป้งข้าวเจ้าแข็งและแตกหักได้ง่ายกว่าแป้งมันสำปะหลังจึงส่งผลให้แป้งข้าวเจ้ามีค่าดัชนีการแตก่วนที่ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 6 ค่าดัชนีการแตก่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.3.3 ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัด จากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าอยู่ในช่วง 42.92-92.28 กิโลกรัมกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและค่าความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าอยู่ในช่วง 40.03-80.15 กิโลกรัมกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร กรณีใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วนฝุ่นฝ้ายต่อถ่านผงกลูโคสพริ้วต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 มีค่า 42.92, 49.17, 77.94, 92.28, 76.98, 54.85 และ 46.86 กิโลกรัมกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ กรณีใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานที่อัตราส่วนฝุ่นฝ้ายต่อถ่านผงกลูโคสพริ้วต่อแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18 และ 10:90:18 มีค่าเท่ากับ 40.03, 58.03, 70.34, 80.15, 63.99, 44.36 และ 38.49 กิโลกรัมกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ จากอัตราส่วนของ ฝุ่นฝ้ายต่อถ่านผงกลูโคสพริ้วต่อตัวเชื่อมประสานที่ 100:0:18, 70:30:18 จนถึง อัตราส่วน 50:50:18 ความต้านทานต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 50:50:18 และหลังจากอัตราส่วนนี้ไปค่าความต้านทานต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะลดลงเรื่อยๆ ตั้งแต่อัตราส่วน 30:70:18, 10:90:18 จนถึง อัตราส่วน 0:100:18 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิด แรงจากการสานกัน (Intertwining) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการที่เส้นใยจากฝุ่นฝ้ายจะช่วยยึดกับอนุภาคถ่านผงกลูโคสพริ้วทำให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเหนียวและทนต่อแรงกดอัดได้ดี จะเห็นว่าในอัตราส่วนตั้งแต่ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18 จนถึง อัตราส่วน 50:50:18 เป็นอัตราส่วนที่มีฝุ่นฝ้ายมากกว่าอนุภาคของถ่านผงกลูโคสพริ้วโดยที่อัตราส่วน 100:0:18 เป็นอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นฝุ่นฝ้าย ร้อยละ 100 ไม่มีส่วนผสมของอนุภาคถ่านผงกลูโคสพริ้วอยู่เลย เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนนี้จึงไม่เกิดแรงจากการสานกัน ทำให้มีความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าต่ำสุด และ เมื่อเพิ่มอนุภาคถ่านผงกลูโคสพริ้วมากขึ้นเรื่อยๆ ที่อัตราส่วนตั้งแต่ 90:10:18, 70:30:18 จนถึง อัตราส่วน 50:50:18 ก็จะส่งผลให้เกิดแรงจากการสานกันของเส้นใยจากฝุ่นฝ้ายและอนุภาคของถ่านผงกลูโคสพริ้วมากขึ้นตามอัตราส่วนของอนุภาคถ่านผงกลูโคสพริ้วที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจนได้ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดสูงสุดที่อัตราส่วน 50:50:18 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีจำนวน ฝุ่นฝ้าย และ ถ่านผงกลูโคสพริ้วเท่ากันจึงทำให้เกิด แรงจากการสานกัน มากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆเมื่อมีแรงสานกันมากก็จะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าสูงสุดเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถ่านผงกลูโคสพริ้วมากขึ้นไปอีกเรื่อยๆ

ตั้งแต่อัตราส่วน 30:70:18, 10:90:100 จนถึง อัตราส่วน 0:100:18 กลับพบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลงเรื่อยๆเช่นกัน ซึ่งเกิดจากการเพิ่มอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวจะทำให้อัตราส่วนของฝุ่นฝ้ายในเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งลดลงการเกิด แรงจากการสานกัน ก็จะลดลงเรื่อยๆตามการลดลงของอัตราส่วนฝุ่นฝ้าย เพราะการเกิด แรงจากการสานกัน เกิดจากเส้นใยของฝุ่นฝ้ายไปยึดเกาะกับอนุภาคของถ่านกะลามะพร้าวไว้ เมื่อเกิดแรงจากการสานกันลดลง ก็ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลงตามไปด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัณณณี แสงสุข ที่ทำการศึกษ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ซีเลื่อยและค้าย ซึ่งค้ายในที่นี้คือฝุ่นฝ้ายนั่นเอง โดยได้ทำการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างเศษเยื่อไม้ ซีเลื่อยและ ค้าย จำนวน 11 อัตราส่วนใช้แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 25 เป็นตัวประสานและขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีอัดเย็น ได้ทำการทดลองเพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเศษเยื่อไม้ ซีเลื่อยและ ค้าย ที่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งจับกันเป็นแท่งได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปส่องดูด้วย กล้องอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 150 เท่า พบว่าตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งเกิดพันธะระหว่างอนุภาคโดยมี 3 แรงมากระทำโดยผ่านกระบวนการอัดแท่ง คือแรงระหว่างโมเลกุล แรงยึดติดทางกลด้วยเทคนิคการเชื่อม (Solid bridge) ที่เกิดจากการที่อนุภาคของแข็งถูกยึดติดกันโดยอาศัยกระบวนการอัดและความชื้นของวัสดุที่นำมาอัด และแรงที่ 3 คือ แรงจากการสานกัน ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการที่เส้นใยจากค้ายสามารถแทรกลงไปใอนุภาคของเศษเยื่อไม้และซีเลื่อยแล้วเกิดการสานกันทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวลอัดแท่งมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นคือมีความต้านทานต่อแรงกดอัดที่มากขึ้นนั่นเอง (กัณณณี แสงสุข, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับอีกงานวิจัยที่ค้นพบว่า การเพิ่มเส้นใยเข้าไปในกระบวนการอัด ของชีวมวลอัดเม็ดจะทำให้เกิด แรงจากการสานกันซึ่งทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวลอัดเม็ดมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น จากการที่เส้นใยสามารถแทรกลงไปใอนุภาคของวัสดุและเกิดการสานกับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ (Kong et al., 2013) หากทำการเปรียบเทียบตัวเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิดพบว่าที่อัตราส่วน 90:10:18 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ตัวเชื่อมประสานแป้งข้าวเจ้าจะให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากที่สัดส่วนดังกล่าวเป็นสัดส่วนที่มีฝุ่นฝ้ายมากกว่าถ่านกะลามะพร้าวมากซึ่งอาจจะทำให้ทำการผสมแล้วตัวอย่างอาจจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงส่งผลให้เมื่อนำไปอัดแต่ละแท่งอาจจะมีสัดส่วนต่างกันเมื่อสุ่มไปทดสอบ จึงให้ผลการทดสอบที่ไม่สอดคล้องกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนที่อัตราส่วนอื่นๆที่เหลือทั้งหมดพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานจะสามารถทนค่าความต้านทานแรงกดอัดได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดชและคณะ ที่ทำการศึกษพฤติกรรมด้านความเหนียวและคุณสมบัติทางกลของแป้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งเท้ายายม่อม และ แป้งท้าวยายม่อม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแป้งมันสำปะหลังจะมีเจลแป้งที่ใสอ่อนนุ่มและมีความเหนียวมากกว่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งแป้งข้าวเจ้าเจลจะมีลักษณะที่ขุ่นและแข็งโดยการทดสอบค่าแรงกด (Compressive test) พบว่าแป้งข้าวเจ้ามี ค่าโมดูลัสของยัง สูงถึง 9.855 กิโลปาสกาล ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 1.475 กิโลปาสกาล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งข้าวเจ้ามีความแข็งแรงเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าแป้งมันสำปะหลังเมื่อมีแรงมากระทำหรือกดทับ (ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช และคณะ, 2556)



รูปที่ 7 ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

6. สรุปผลการทดลอง

6.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยใช้ตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 18 และที่อัตราส่วนของ ฝุ่นฝ้าย:ผงถ่านกะลามะพร้าว:ตัวเชื่อมประสาน ที่ 90:30:18 และ 70:30:18 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด คือมีลักษณะทางกายภาพ จับตัวเป็นแท่งได้ดี มีผิวเรียบ ไม่มีรอยแตกร้าว ส่วนอัตราส่วนอื่นๆ สามารถขึ้นรูปได้เช่นกัน แต่จะมีรอยร้าวรอบๆ แท่ง หรือมีผิวขรุขระเล็กน้อย

6.2 การศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าตัวเชื่อมประสานทั้ง แป้งมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวเจ้า มีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากทั้งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า มีสมบัติทางกายภาพ แตกต่างกันเล็กน้อย

6.3 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้ามี สมบัติทางกายภาพ แตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าว

การทดสอบ	เชื้อเพลิงอัดแท่งฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารเชื่อมประสาน	เชื้อเพลิงอัดแท่งฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นสารเชื่อมประสาน
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.039-1.232	1.034-1.220
ดรรชนีการแตกร่วน	0.978-0.999	0.975-0.998
ความต้านทานต่อแรงกดอัด (kg/cm^2)	42.92-92.28	40.03-80.15

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรศึกษาการขึ้นรูปแบบอื่น เช่น การทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อที่จะสามารถทำเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาของโรงงานผลิตไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด

7.2 ควรศึกษาการอัดโดยใช้วิธีการอัดเย็นแบบใช้แรงดันจะทำให้สามารถใช้แรงอัดในการขึ้นรูปได้มากขึ้น

7.3 นำฝุ่นฝ้ายไปผสมกับวัตถุดิบหรือ วัสดุเหลือใช้อื่น

8. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2559). โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการลงทุนด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กัณมณี แสงสุข. (2559). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ขี้เลื่อยและด้าย. วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรศักดิ์ พัฒนพานิช. (2559). การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้เงาะ โดยใช้กากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นงนุช สิงหเดชะ. (2564). วิฤตพลังงานโลกยังไม่เห็นทางออกอันใกล้. สืบค้นจาก <http://today.line.me/th/v2/article/LX1YXzj>.

พัชรี อินธนู และ แพรววิญญู เกตุรมย์. (2561). การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง. งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ยัมแย้ม ลิ่วรัตน์. (2557). การนำฝุ่นจากเศษฝ้ายมาใช้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตชีวมวลอัดแท่ง. รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. (2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศิริกุล สุวรรณภาพ และคณะ. (2558). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายผสมกับขี้เลื่อย. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ศูนย์ข้อมูลและดิจิทัลอุตสาหกรรม สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2563). โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม (สะสม) ณ เดือนมกราคม-ธันวาคม 2563. สืบค้นจาก <https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.2393.14.0.html>: กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สวณิต อิชยาวณิชย์ และคณะ. (2547). คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการไม่เปียกและไม่แห้งในระดับอุตสาหกรรม. งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุกัญญา ทับทิม และ ศศิธร ปรีทอง. (2557). การเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากส่วนผสมของกะลามะพร้าวและก้อนเห็ดหลังการเก็บผลผลิต. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

Iloabachie, et al., (2018). The effect of carbonization temperatures on proximate analysis of coconut shell. International Journal of Advanced Engineering and Technology.

Kong, et al., (2013). Intertwining action of additional fiber in preparation of waste sawdust for biofuel pellets. Biomass and Bioenergy 59 : 151-157.

Pongsawatmanit, et al., (2002). Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. Sci. Asia. 28: 129-134. doi.org/10. 2306/scienceasia 1513-1874.2002.28.129.