ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

Screw press adjustment on production rate and physical properties of Biomass briquettes

ภาสินี ลาดลา[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1*] นิกราน หอมดวง[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] นัฐพร ไชยญาติ[1] และเสมอขวัญ ตันติกุล[2]

[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2] สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบเกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งที่ใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ประกอบด้วย แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ ลดขนาดชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ให้มีขนาดเฉลี่ย 1 mm ใช้แป้งมันเป็นวัสดุตัวประสานในอัตราส่วน (ชีวมวล:แป้งมัน) 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลอง ใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียวอัดมีมอเตอร์ขับขนาด 3 hp ผ่านสายพานชนิดร่อง B จำนวน 2 เส้น ปรับความเร็วรอบเกลียวอัดโดยใช้วิธีการเปลี่ยนขนาดมู่เล่ย์ทั้งหมด 5 ระดับ ได้ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52 60, 72, 90 และ 120 rpm/min วิเคราะห์ลักษณะการขึ้นรูป อัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มความเร็วเกลียวอัดส่งผลให้มีลักษณะทางกายภาพ อัตราการผลิต และคุณสมบัติกายภาพของชีวมวลอัดแท่งเฉลี่ยที่ดียิ่งขึ้นของทั้งแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งเนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบจากทั้ง 5 ระดับความเร็วรอบ ซึ่งที่ค่าอัตราการผลิตเท่ากับ 52.05 และ 59.10 kg/h ค่าความหนาแน่น 1,088.26 และ 1,131.65 kg/m^3 ค่าดัชนีการแตกร่วน 95.30% และ 94.17% และค่าความต้านทานแรงกด 5.31 และ 4.89 MPa

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง ความเร็วรอบเกลียวอัด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

*Corresponding author: Tel.: 0-533-3194. E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

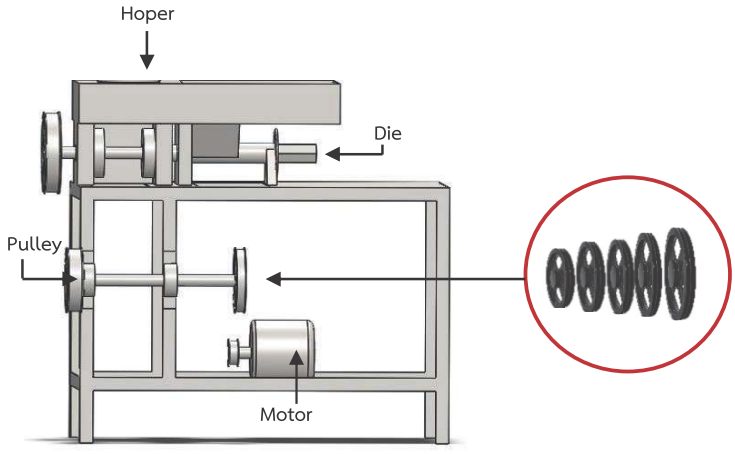
ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดวิกฤติพลังงานขึ้นทำให้ต้องมีการนำเข้าพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้นกระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ เพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ [1] โดยประเทศไทยมีศักยภาพของชีวมวลที่หลงเหลือจากทางภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรมเกษตรที่ยังไม่ได้นำมาใช้งานคิดเป็นค่าพลังงานถึง 10,340 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [2] ซึ่งชีวมวลที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นต้องหาได้ง่าย มีปริมาณที่มากพอ เช่น แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำชีวมวลเหล่านี้มาผลิตชีวมวลอัดแท่ง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนชุมชนสามารถเข้าถึงได้ อย่างไรก็ตามการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมผลิตด้วยกรรมวิธีแบบอัดร้อนแต่ต้องใช้ความร้อนและพลังงานที่สูงในการผลิตทำให้ต้อง

มีการใช้ขนาดของเครื่องต้นกำลังสูง และต้องมีแหล่งให้ความร้อนแก่ชีวมวลซึ่งมีราคาแพงมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม หากมีการพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายก็จะเป็นผลดีและบรรลุผลทางด้านการใช้ชีวมวลอีกทางหนึ่ง โดยตัวแปรที่มีผลต่อการอัดแท่งชีวมวลมีหลายตัวแปร เช่น ชนิดของชีวมวล ตัวประสาน ขนาดของชีวมวล กำลังมอเตอร์ ขนาดกระบอก ลักษณะเกลียวอัด อย่างไรก็ตามการปรับความเร็วรอบค่อนข้างจะมีผลอย่างมากต่อการขึ้นรูป อัตราการผลิต และคุณภาพเชื้อเพลิง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในระดับชุมชนซึ่งบทความนี้จะนำเสนอผลการปรับความเร็วรอบที่มีต่อการขึ้นรูป อัตราการผลิต คุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งสำหรับการนำไปใช้ในชุมชน

เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุการวิจัย

เครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ใช้ทดลองเป็นเครื่องแบบเกลียวอัด (Screw press) ประกอบด้วยช่องป้อนวัตถุดิบจากด้านบนและถูกลำเลียงเข้าสู่กระบอกอัดด้วยเกลียวอัดรูปกรวย เครื่องต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 3 hp 1,400 rpm/min ส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานชนิด V-Belt หรือ สายพานวี ไปยังมู่เล่ย์ตัวตามที่ส่งต่อกำลังไปยังเกลียวอัด โดยจะทำการปรับอัตราทดที่มู่เล่ย์ตัวตาม ดังแสดงในภาพที่ 1 วัสดุชีวมวลหลักประกอบด้วยชีวมวล 3 ชนิด โดยแกลบมีค่าความร้อน 12.33 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% ทางใบปาล์ม มีค่าความร้อน 1.76 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 78% เศษไม้มีค่าความร้อน 14.39 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% [3] และตัวประสานเลือกใช้แป้งมันที่มีขายตามท้องตลาด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 250 kg/m^3 ดังภาพที่ 2 ในขณะที่เครื่องมือวัดในการทดลองประกอบด้วย เครื่องวัดรอบแบบใช้แสงโดยไม่ต้องสัมผัส รุ่น DIGICON DT-245P แสดงผล 5 หลัก โดยตัวเลข LCD ย่านการวัด : 5~99,999 RPM เครื่องวัดความชื้นใช้เครื่องวัดความชื้น รุ่น MD-7822 สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8-30% เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น AIT-42R วัดอุณหภูมิในช่วง -35–630 °C ความละเอียด 0.15 °C เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น DT-8828 วัดอุณหภูมิในช่วง -50–1,000 °C และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 kg × 1 g อุณหภูมิใช้งานที่ 5–40 °C



ภาพที่ 1 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเกลียวอัด

(ก) แกลบ (ข) ทางใบปาล์ม (ค) เศษไม้ (ง) แป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 2 ชีวมวลหลักและตัวประสาน

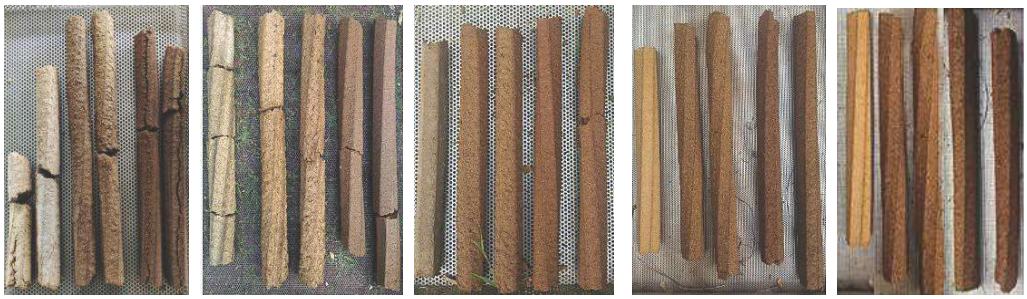
วิธีการทดลอง

นำชีวมวลหลักทั้ง 3 ชนิด ผสมกับตัวประสานในอัตราส่วน 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองเมื่อผสมแล้วทดสอบการอัดแท่งโดยการเปรียบเทียบความเร็วรอบการหมุนของเกลียวอัด โดยทำการเปลี่ยนมู่เล่ย์ทั้งหมด 5 ขนาด ได้แก่ 14, 12, 10, 8 และ 6 นิ้ว โดยมีความเร็วระดับคือ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min โดยทำการจับเวลาเมื่อแท่งชีวมวลเคลื่อนออกจากกระบอกอัดจนมีความยาวประมาณ 1 เมตร ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เพื่อหาอัตราการผลิตโดยการวิเคราะห์จากการใช้กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาในการผลิต ระหว่างการทดลอง วัดค่าความเร็วรอบ ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดแท่ง จากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปตากแดดเพื่อลดความชื้น (ค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานไม่ควรเกิน 10-15%) นำไปทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ คือลักษณะสิ่งที่ปรากฏให้เห็นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ค่าความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานน้ำ ค่าความต้านทานแรงกด โดยใช้สมการจากงานวิจัย [4]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ ตั้งแต่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min พบว่าที่ความเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น อาจเป็นผลมาจากพลังงานกลที่ใส่เขาไปเพื่อทำให้เกลียวอัดเกิดการหมุนและจากการหมุนที่เพิ่มขึ้นซ้ำๆ ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นเนื่องจากทำให้ชีวมวลเกิดการเสียดสีกับพื้นที่ผิวของเกลียวอัดและกระบอกอัด [5] และความร้อนที่เกิดขึ้นยังมีประโยชน์ทำให้ลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักของพืชที่แข็งแรงที่สุด [6] และสารระเหยกลุ่มยางต่างๆ ที่อยู่ในพืชเกิดการอ่อนตัวลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจนสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งได้

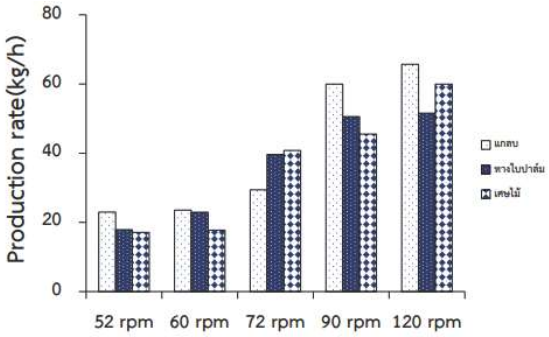


(ก) 52 rpm/min (ข) 60 rpm/min (ค) 72 rpm/min (ง) 90 rpm/min (จ) 120 rpm/min

ภาพที่ 3 ชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ

2. อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเร็วของเกลียวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกลียวอัดสามารถขนถ่ายวัสดุได้เร็วขึ้นตามความเร็วรอบที่ใช้ และในระหว่างที่วัสดุถูกเกลียวอัดขนถ่ายในช่วงต้นไปยังช่วงปลายของเกลียวอัดที่มีการลดระยะพิตช์ลง ยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนลิกนินเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้เร็วยิ่งขึ้น โดยจากการทดสอบที่ความเร็วรอบรอบที่ 120 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่สูงที่สุดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด โดยแกลบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงที่สุดที่ 65.71 kg/h ทางใบปาล์ม 51.60 kg/h และเศษไม้เท่ากับ 60 kg/h และที่ความเร็วรอบรอบที่ 52 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่น้อยที่สุดโดย แกลบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ที่ 23 kg/h ทางใบปาล์ม 17.91 kg/h และเศษไม้ 17.14 kg/h ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อัตราการผลิตชีมวลอัดแท่ง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

1. ผลของค่าความหนาแน่น

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่า ที่ทุกความเร็วรอบเกลียวอัดมีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่า ซึ่งมากกว่า 600 kg/m^3 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ทุกความเร็วของเกลียวที่ทำการทดสอบสามารถขนถ่ายวัสดุได้ดีในช่วงต้นและในช่วงปลายของเกลียวอัดที่มีการลดระยะพิทช์ลงยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนลิกนินเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้ดีและมีความหนาแน่นเพิ่มยิ่งขึ้น โดยที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 870.16, 1,024.08, 1,088.26 และ1,131.65 kg/m^3 ตามลำดับโดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5(ก) [7]

2. ผลของค่าดัชนีการแตกร่วน

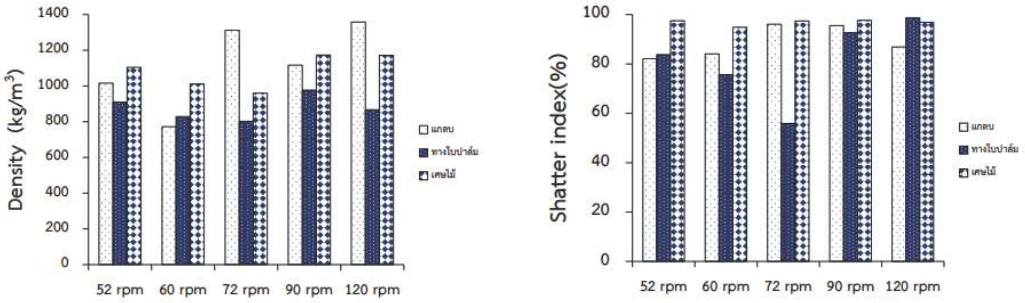
การทดสอบดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 60-95% ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนจะแสดงถึงคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย และถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมากก็จะส่งผลให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแน่น มีความแข็งแรงมาก [8] จากการทดสอบปรับความเร็วรอบเกลียวอัดพบว่าที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าดัชนีการแตกร่วนเฉลี่ยเท่ากับ 87.81%, 84.88%, 83.13%, 95.30% และ 94.17% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ทุกค่าอาจเป็นผลมาจาก ลิกนิน และสารระเหยกลุ่มยางต่างๆ ที่อยู่ในตัววัสดุได้รับความร้อนพอที่จะทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเนื้อชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 5(ข)

3. ผลของค่าความต้านทานแรงกด

จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดอัดจากการปรับความเร็วรอบเกลียวของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 4.44, 3.95, 3.76, 5.31 และ 4.89 MPa ในทุกความเร็วรอบเศษไม้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่มากที่สุดในทุกค่ายกเว้นที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min มีค่าน้อยกว่าแกลบเล็กน้อยและทางใบปาล์มมีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่ต่ำที่สุดในทุกๆความเร็วรอบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัววัสดุมีค่าความชื้นที่ยังหลงเหลืออยู่ทำให้ไปทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค [7] โดยที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6(ก)

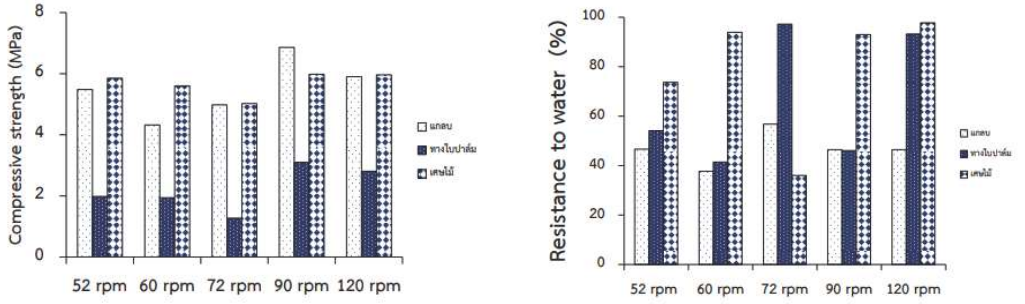
4. ผลของค่าความต้านทานน้ำ

จากการทดสอบค่าความต้านทานน้ำจากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิดพบว่าที่ความเร็วรอบที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 58.17%, 57.71%, 63.34%, 61.84% และ 79.12% ในทุกความเร็วรอบเศษไม้มีค่าความต้านทานน้ำที่มากที่สุดจากทั้งหมด 3 ชนิด และมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละความเร็วรอบ โดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากชีวมวลสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดีจนทำให้เกิดการลดช่องว่างของรูพรุนที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6(ข)



(ก) ความหนาแน่น (ข) ดัชนีการแตกร่วน

ภาพที่ 5 คุณสมบัติความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วน



(ก) ความต้านทานแรงกดอัด (ข) ความต้านทานน้ำ

ภาพที่ 6 คุณสมบัติความต้านทานแรงกดอัดและความต้านทานน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบปรับความเร็วรอบเกลียวอัดเพื่อศึกษาอัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ พบว่าจากพลังงานกลที่ใส่เขาไปให้เกลียวอัดเกิดการหมุนทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อนขึ้นไปทำให้ลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักอ่อนตัวลงสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งจนสามสามรถขึ้นรูปได้ และในความเร็วของเกลียวที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้มีการบดอัดที่มากขึ้นและมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกลียวอัดยังสามารถขนถ่ายวัสดุได้เร็วขึ้น ดังนั้นจากการทดสอบจึงทำให้ทราบว่าการเพิ่มความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่าอัตราการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด จากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min เท่ากับ 19.35, 21.42, 36.63, 52.05 และ 59.10 kg/h ซึ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเกลียวอัด ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยค่าความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานแรงกดอัด และค่าความต้านทานน้ำ ยังให้ค่าเฉลี่ยของทุกความเร็วรอบที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min จะได้คุณสมบัติทางกายภาพ อัตราการผลิต และลักษณะทางกายภาพของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกๆค่า

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) งบประมาณประจำปี 2561 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร งบประมาณประจำปี 2561

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558).). “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)

[2] กระทรวงสาธารณสุข (2557). ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทย,[ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/210, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/03/2561.

[3] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บทเรียนบทเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[4] ภาสินี ลาดลา (2561). ผลกระทบเทคนิคการอุ่นชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง, การประชุม วิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, จังหวัดระยอง

[5] Food Extrusion, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[6] ลิกนิน (Lignin), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มาhttp://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_1/more/lignin_1.php เข้าดู เมื่อวันที่ 10/09/2561.

[7] Nalladurai Kaliyan and Vance Morey R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products, biomass and bioenergy, vol. 33(2009), October 2008, pp. 337 – 359.

[8] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ลักษณะการชื้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา file:///C:/Users/admin/Downloads/75830-Article%20Text-181073-1-10-20170127.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.