เชื้อเพลิงแข็งอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่โดยไม่ใช้ตัวประสาน

Binderless solid fuel pellets from pig and chicken manure

ยุวรัตน์ เงินเย็น[1] ชนิภรณ์ อุตส่าห์[1] และกนกวรรณ ฤทธิวุธ[1]
Yuvarat Ngenyen[1], Chaniporn Utsa[1] and Kanokwan Rittiwut[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเตรียมชีวมวลอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่ เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งวัตถุดิบถูกอัดให้เป็นเม็ดด้วยความดัน 20 30 และ 40 บาร์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร ความสูงของเม็ด 1.25 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า ก่อนอัดเม็ด มูลสุกรมีค่าความร้อน 11,269 kJ/kg ส่วนมูลไก่มีค่าความร้อน 7,280 kJ/kg ภายหลังอัดเม็ด ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 11,319–11,688 kJ/kg และ 7,589–8,386 kJ/kg สำหรับมูลสุกรและมูลไก่ ตามลำดับ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอัดเม็ดแล้วได้ค่าความร้อนสูงที่สุดสำหรับมูลทั้งสองชนิด คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด 1 เซนติเมตร และความดันในการอัดเม็ด 40 บาร์ ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่มีสมบัติอื่น ๆ ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 9.44–12.21 และร้อยละ 10.32–12.50 โดยน้ำหนัก ปริมาณเถ้าร้อยละ 32.27–35.62 และร้อยละ 44.45–45.85 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นของเม็ด 0.73–1.03 g/cm^3 และ 0.98–1.23 g/cm^3 และความหนาแน่นรวม 39.09–55.30 g/cm^3 และ 55.85–68.71 g/cm^3 ตามลำดับ โดยมูลสุกรและมูลไก่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนต่อไป

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงแข็งอัดเม็ด ชีวมวล มูลสุกร มูลไก่

[1] ห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุและพลังงานชีวมวล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
[1] Biomass &Bioenergy Research Laboratory, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

Abstract

This research aimed to prepare biomass pellets from pig and chicken manure for using as solid fuel. The raw materials were compressed to pellet form with diameter of 1 1.5 and 2 cm and height of 1.25 cm at 20 30 and 40 bar. The results showed that pig and chicken manure powder had heating value of 11,269 and 7,280 kJ/kg, respectively. After compressed, the pig and chicken manure had higher heating value of 11,319–11,688 kJ/kg and 7,589–8,386 kJ/kg, respectively. The optimum conditions that gave highest heating value for both manure were pellet diameter of 1 cm and compressed pressure 40 bar. The other properties of pig and chicken manure pellets were as follow: moisture content 9.44–12.21 wt% and 10.32–12.50 wt%, ash content of 32.27–35.62 wt% and 44.45–45.85 wt%, true density of 0.73–1.03 g/cm^3 and 0.98–1.23 g/cm^3 and bulk density of 39.09–55.30 g/cm^3 and 55.85–68.71 g/cm^3, respectively. Pig and chicken manure are suitable for used as raw materials for renewable energy source.

Keywords: Solid fuel pellet, Biomass, Pig manure, Chicken manure

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากปิโตรเลียม แต่ปิโตรเลียมเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและใช้แล้วหมดไป จึงไม่สามารถสร้างขึ้นมาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันความต้องการของมนุษย์ในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้น พลังงานชีวมวลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตเลียม โดยพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิต สามารถผลิตขึ้นทดแทนได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ การใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อม โดยชีวมวลมีการปลดปล่อยก๊าซชนิดต่าง ๆ และชนิดของสารพิษโดยรวมออกมาน้อยกว่าพลังงานจากเชื้อปิโตรเลียม ซึ่งชีวมวลมีอยู่มากมายหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น ไม้ยืนต้น พืชเกษตรกรรม ขยะสดที่เกิดจากการอุปโภคบริโภค รวมทั้งมูลของสัตว์ชนิดต่าง ๆ การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ส่งผลให้ชีวมวลกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงซึ่งมีราคาถูกและมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยการอัดเม็ด ซึ่งข้อดีของการอัดเม็ดชีวมวล คือ สามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่าย เพราะมีขนาดเท่าๆ กัน นั่นคือ สามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ให้มีความเหมาะสม และยังมีขนาดเล็ก (เมื่อเทียบกับการอัดแท่ง) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการขนส่ง โดยวัสดุชีวมวลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ มูลสุกรและมูลไก่ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย และมีอยู่ทั่วไป โดยงานวิจัยนี้ทำการอัดเม็ดโดยไม่ใช้ตัวประสาน (binder) ทำให้ประหยัดต้นทุน โดยทำการศึกษาผลของความดันในการอัดเม็ดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดต่อสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ ซึ่งสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่นจริงของเม็ด ความหนาแน่นรวม ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า

วิธีการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบและการอัดเม็ด

มูลสุกรและมูลไก่ที่นำมาใช้ ได้จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น การเตรียมวัตถุดิบทำโดยนำมูลสุกรและมูลไก่ที่ได้ไปตากให้แห้งเพื่อไล่ความชื้น จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นทำการบดด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 20 Mesh (200 ไมโครเมตร) นำวัตถุดิบมาทำการอัดเม็ดด้วยบล็อกอัดเม็ดซึ่งทำจากเหล็ก โดยมีขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของช่องบรรจุตัวอย่าง 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของช่องบรรจุตัวอย่าง 1.25 เซนติเมตร นำตัวอย่างมาป้อนใส่บล็อก (บล็อก 1 อัน มีช่องบรรจุตัวอย่าง 25 ช่อง) แล้วใส่หัวอัดให้ตรงตามร่องบล็อก หลังจากนั้นทำการอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกที่ความดัน 20 30 และ 40 บาร์ ตามลำดับ

การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบและเชื้อเพลิงอัดเม็ด

วิเคราะห์ค่าความร้อน (heating value) ด้วยเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ (Gallenkamp Autobomb) วิเคราะห์ความหนาแน่นจริงของเม็ด (true density) ทำโดยนำเม็ดเชื้อเพลิงไปชั่งน้ำหนัก (m) วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (2r) และวัดความยาวของเม็ด (L) ด้วยเวอร์เนียดิจิตอล จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่นจริงของเม็ด (ρ) ได้จากสมการ

$$\rho = m/\pi r^2 L$$

วิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density) โดยการนำเม็ดเชื้อเพลิงบรรจุลงในกล่องขนาด 10×10×10 เซนติเมตร หรือ มีปริมาตร (V) 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างที่บรรจุได้ทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก (M) ทำการหาค่าความหนาแน่นรวม (ρ_b) ได้ตามสมการ

$$\rho_b = M/V$$

วิเคราะห์ค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงโดยวิธีมาตรฐาน EN 1:2009–14774 Solidbiofuel–Methods for determination of moisture content – Oven dry ซึ่งทำได้โดยชั่งน้ำหนักของเม็ดเชื้อเพลิง (W_1) จากนั้นนำของเม็ดเชื้อเพลิงไปอบในเตาอบ (BINDER) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (W_2) แล้วนำน้ำหนักของเม็ดเชื้อเพลิงก่อนและหลังอบมาหาค่าความชื้น (%โดยน้ำหนัก) ตามสมการ

$$\text{ค่าความชื้น} = [(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$$

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเม็ดเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน EN 14775:2009 Solid biofuels–Methods for determination of ash content โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (w_1) จากนั้นนำเม็ดเชื้อเพลิงไปเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง (muffle furnace, VULCAN 550-3) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเถ้าที่เหลือสุดท้าย (w_2) โดยปริมาณเถ้าของเม็ดเชื้อเพลิง (%โดยน้ำหนัก) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า} = (w_2/w_1) \times 100$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สมบัติของวัสดุชีวมวลเริ่มต้น

การวิเคราะห์สมบัติของมูลสุกรและมูลไก่ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการอัดเม็ดชีวมวล แบ่งออกเป็น การหาปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า และการหาค่าความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 1 (การวิเคราะห์สมบัติทั้ง 3 อย่าง ทำการทดลอง 3 ครั้ง พบว่า การทดลองในแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ) พบว่า มูลสุกรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 13.37 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเถ้าร้อยละ 30.69 โดยน้ำหนัก ส่วนมูลไก่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.99 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 38.13 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้น และปริมาณเถ้ากับวัสดุชนิดอื่น ๆ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า มูลสุกรและมูลไก่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าฟางข้าว และกากตะกอนน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม แต่สูงกว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน กากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล และกากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยมีปริมาณเถ้าสูงกว่าฟางข้าว และกากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ แต่น้อยกว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน กากตะกอนน้ำเสียชุมชน และกากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล ซึ่งสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดี ต้องมีค่าความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และเถ้าต้องมีปริมาณไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ (ประริญา, 2546)

สำหรับค่าความร้อนของมูลสุกรมีค่าเท่ากับ 11,269 kJ/kg ส่วนมูลไก่มีค่าความร้อนเท่ากับ 7,280 kJ/kg ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนกับวัสดุชนิดอื่นๆ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า มูลสุกรมีค่าความร้อนสูงกว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน และกากตะกอนน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม โดยมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับกากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล และกากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ส่วนมูลไก่มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ดังนั้น วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ผลของความดันต่อลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ภาพที่ 1 แสดงผลของความดันต่อลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกร โดยใช้ความดันในการอัดเม็ด 20 30 และ 40 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร พบว่า

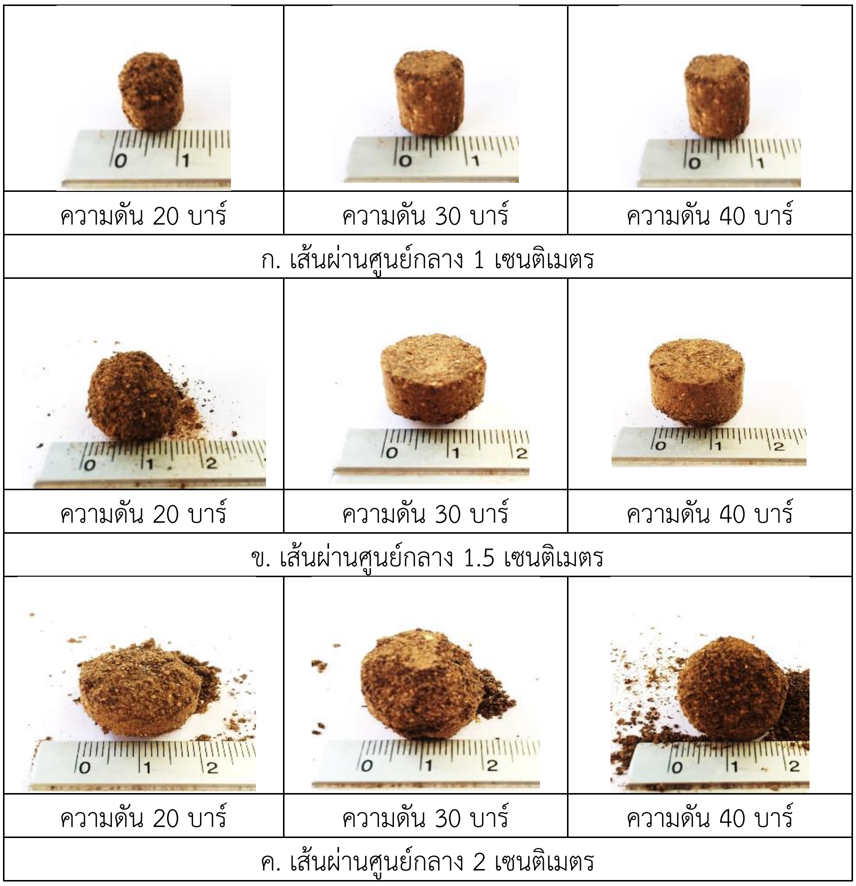
ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างมีความเป็นเม็ด ไม่แตกร้าว เมื่อความดันในการอัดเม็ดเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร อัดเม็ดด้วยความดัน 20 บาร์ และตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร อัดเม็ดด้วยความดันทั้ง 3 ค่า มีลักษณะของเม็ดที่แตกร้าว ไม่คงรูป จึงไม่ใช่สภาวะที่เหมาะสมในการอัดเม็ด ดังนั้น จึงไม่นำเม็ดเชื้อเพลิงที่สภาวะเหล่านี้ไปพิจารณาสมบัติต่าง ๆ

ตารางที่ 1 สมบัติของมูลสุกรและมูลไก่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง

ตัวอย่าง	ความชื้น (wt%)	เถ้า (wt%)	ค่าความร้อน (kJ/kg)	อ้างอิง
มูลสุกร	13.37	30.69	11,269	งานวิจัยนี้
มูลไก่	11.99	38.13	7,280	งานวิจัยนี้
ฟางข้าว	24.25	8.33	–	Jitjumroonchokchai (2013)
กากตะกอนน้ำเสียชุมชน	6.04	54.64	7,456	นิธิพงศ์ (2546)
กากตะกอนน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม	29.5	43.24	7,422	ประริญา (2546)
กากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	7.11	27.64	11,786	ประริญา (2546)
กากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล	2.99	60.55	11,205	อัญชลี (2558)

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพของมูลไก่อัดเม็ดที่ความดันในการอัดเม็ดและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทั้ง 3 ค่า พบว่า เมื่อความดันในการอัดเม็ดเพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีรูปร่างที่ไม่แตกร้าวและมีการคงรูปเป็นเม็ดมากกว่าการใช้ความดันในการอัดเม็ดน้อย เช่นเดียวกับมูลสุกร แต่เมื่อใช้ความดัน 20 และ 30 บาร์ ในการอัดเม็ดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร ทำให้ได้ตัวอย่างที่ลักษณะของเม็ดแตกร้าว ดังนั้น จึงไม่นำตัวอย่างเหล่านี้มาพิจารณาสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิง

ตามร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน, 2556) กำหนดไว้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ทั้งเกรดธรรมดาและเกรดคุณภาพสูง มีค่าไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร หรือ 0.6 เซนติเมตร และไม่เกินกว่า 12 มิลลิเมตร หรือ 1.2 เซนติเมตร ซึ่งงานวิจัยนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดเชื้อเพลิง 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร ส่วนความยาวของเม็ดร่างมาตรฐานได้กำหนดไว้ว่าไม่น้อยกว่า 3.15 มิลลิเมตร หรือ 0.315 เซนติเมตร และไม่เกินกว่า 40 มิลลิเมตร หรือ 4 เซนติเมตร ทั้งเกรดธรรมดาและเกรดคุณภาพสูง โดยงานวิจัยนี้มีความยาวของเม็ดเชื้อเพลิง 1.25 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน

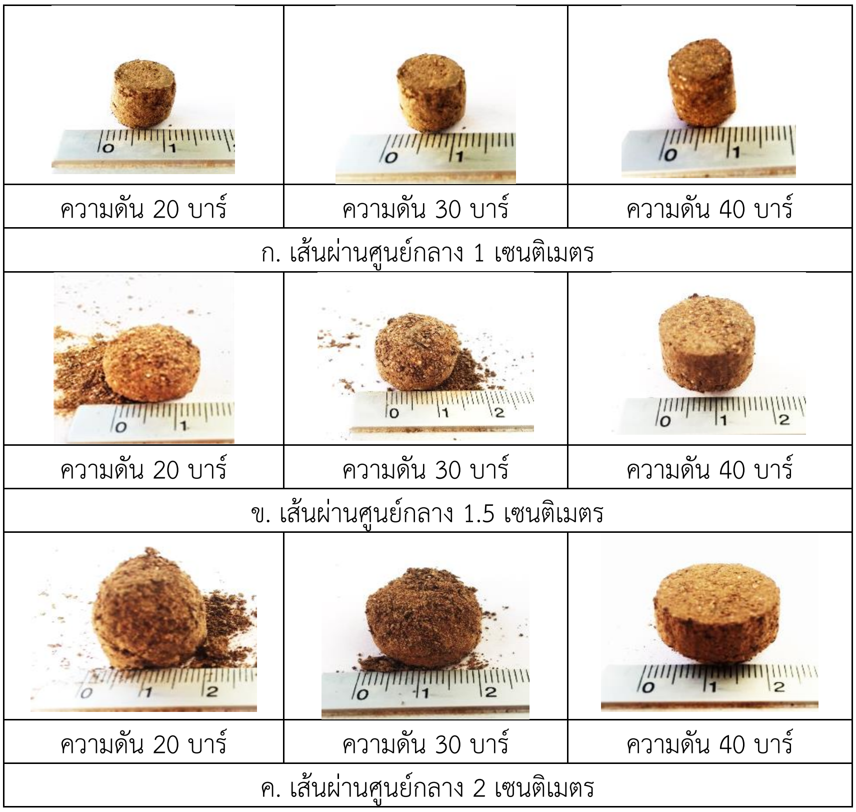


ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรที่ความดันในการอัดเม็ดและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดค่าต่าง ๆ

สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน ความหนาแน่นของเม็ด และความหนาแน่นรวม โดยวิเคราะห์เฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่แตกร้าว จำนวน 5 ตัวอย่าง สำหรับวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด (การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน และความหนาแน่นรวม ทำการทดลอง 3 ครั้ง ส่วนการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเม็ด ทำการทดลองกับตัวอย่างทั้ง 25 เม็ด พบว่า การทดลองในแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ) พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 9.44–12.21 โดยน้ำหนัก ส่วนเชื้อเพลิง อัดเม็ดจากมูลไก่มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 10.32–12.50 โดยน้ำหนัก ซึ่งการอัดเม็ดที่ความดันต่าง ๆ รวมถึงการอัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง และตามร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน, 2556) กำหนดไว้ว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดทั้งเกรดธรรมดาและเกรดคุณภาพสูง มีค่าไม่เกินกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ซึ่งชีวมวลอัดเม็ดที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าความชื้นเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดเพียงเล็กน้อย

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 32.27–35.62 โดยน้ำหนัก ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลไก่มีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 44.45–45.85 โดยน้ำหนัก โดยการอัดเม็ดที่ความดันและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเช่นกัน



ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลไก่ที่ความดันในการอัดเม็ดและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดค่าต่าง ๆ

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 11,319–11,688 kJ/kg ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลไก่มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 7,589–8,386 kJ/kg ดังแสดงในตารางที่ 2 นั่นคือ เมื่อทำการอัดเม็ดวัสดุชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงขึ้นกว่าตอนที่ไม่ได้อัดเม็ด (11,269 kJ/kg สำหรับมูลสุกร และ 7,280 kJ/kg สำหรับมูลไก่) โดยสำหรับวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด เมื่อเพิ่มความดันในการอัดเม็ด ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความดันทำให้การอัดชีวมวลลงในบล็อกอัดเม็ดอัดตัวแน่นขึ้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลเข้าไปในบล็อกอัดเม็ดได้เพิ่มขึ้น (เมื่อความสูงของเม็ดเท่ากัน) ซึ่งดูได้จากค่าความหนาแน่นของเม็ดจะเห็นได้ว่า เมื่อความดันในการอัดเม็ดเพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นของเม็ดมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยความหนาแน่นของเม็ดคำนวณได้จากมวลของเม็ดเชื้อเพลิงหารด้วยปริมาตรของเชื้อเพลิง เมื่อปริมาตรมีค่าคงที่ (เส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของเม็ดมีค่าคงที่) มวลของเม็ดเชื้อเพลิงจึงมีค่าสูงขึ้นตามความหนาแน่น นั่นคือ มีปริมาณของชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความร้อนของปริมาณชีวมวลที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ความดันในการอัดเม็ดมากกว่ามีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ความดันในการอัดต่ำกว่า

สำหรับวัสดุชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ที่ความดันเดียวกันในการอัดเม็ด เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดให้ใหญ่ขึ้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเนื่องจากแรงดันที่ใช้ในการอัดอาจน้อยไปสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ชีวมวลไม่สามารถอัดตัวกันได้ดีนักดังจะเห็นได้จากค่าความหนาแน่นของเม็ดที่มีค่าลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยถ้าเราเทียบความหนาแน่นด้วยปริมาตรที่เท่ากันของเม็ด (1 cm^3) แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ขนาดเล็กกว่า มีมวลของชีวมวลมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งปริมาณของชีวมวลที่มากกว่านี้ เป็นตัวที่ทำให้มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ดังที่กล่าวไปแล้วนั่นเอง

ตารางที่ 3 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่

ตัวอย่าง	ความชื้น (wt%)	เถ้า (wt%)	ค่าความร้อน (kJ/kg)	ความหนาแน่นของเม็ด (g/cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)
มูลสุกร					
1 cm 20 bar	9.44	35.62	11,319	0.73	55.25
1 cm 30 bar	10.88	34.00	11,569	0.90	55.29
1 cm 40 bar	11.92	32.27	11,688	1.03	55.30
1.5 cm 30 bar	12.21	33.96	11,501	0.73	39.25
1.5 cm 40 bar	11.79	33.89	11,277	0.76	39.09
มูลไก่					
1 cm 20 bar	10.33	45.46	7,482	1.12	67.90
1 cm 30 bar	11.91	45.09	7,579	1.15	67.92
1 cm 40 bar	10.32	44.45	8,386	1.23	68.71
1.5 cm 40 bar	12.17	45.04	8,150	1.01	59.40
2 cm 40 bar	12.50	45.85	7,789	0.98	55.85

การที่ค่าความร้อนของมูลสุกรมีค่ามากกว่าค่าความร้อนของมูลไก่อาจเนื่องมาจากการที่สัตว์ทั้ง 2 ชนิดได้รับอาหารที่แตกต่างกัน ทำให้มูลที่ออกมามีส่วนประกอบที่ไม่เหมือนกัน โดยมูลสุกรที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับอาหารจำพวกเศษผักต่าง ๆ รวมถึง ข้าวโพด และรำ ส่วนไก่ที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับอาหารเฉพาะข้าวเปลือก จึงทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีค่าความร้อนแตกต่างกัน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากงานวิจัยนี้ (11,319–11,688 kJ/kg สำหรับมูลสุกร และ 7,589–8,386 kJ/kg สำหรับมูลไก่) มีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากงานวิจัยอื่น ๆ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมชานอ้อยอัดแท่ง กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่ง กากปาล์มน้ำมันอัดแท่ง กากปาล์มน้ำมันผสมถ่านหินอัดแท่ง และถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของมูลสุกรและมูลไก่อัดเม็ดจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (kJ/kg)	อ้างอิง
มูลสุกรอัดเม็ด	11,319–11,688	งานวิจัยนี้
มูลไก่อัดเม็ด	7,589–8,386	งานวิจัยนี้
กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมชานอ้อยอัดแท่ง	5,150–7,807	นิธิพงศ์ (2546)
กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่ง	7,226–7,510	นิธิพงศ์ (2546)
กากปาล์มน้ำมันอัดแท่ง	7,240	สมมารถ และยิ่งยศ (2555)
กากปาล์มน้ำมันผสมถ่านหินอัดแท่ง	8,500–9,300	สมมารถ และยิ่งยศ (2555)
ถ่านหิน	10,100	สมมารถ และยิ่งยศ (2555)

เมื่อทำการอัดเม็ดด้วยความดันที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นของเม็ดเพิ่มสูงขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 2) เนื่องจากทำให้อนุภาคของชีวมวลสามารถอัดตัวกันได้แน่นขึ้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลลงไปในบล็อกอัดเม็ดได้เพิ่มขึ้น (เมื่อความสูงของเม็ดเท่ากัน) และเมื่อทำการอัดเม็ดที่ความดันเท่ากัน เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มีค่าความหนาแน่นของเม็ดลดลง เนื่องจากแรงดันที่ใช้ในการอัดอาจน้อยไปสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ทำให้ชีวมวลไม่สามารถอัดตัวได้ดีนัก ซึ่งเมื่อความดันในการอัดมีค่าคงที่

แต่พื้นที่ในการรับแรงของเม็ดที่เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ามีค่ามากขึ้น ทำให้แรงที่มากระทำไม่ทั่วถึง การอัดตัวของชีวมวลจึงไม่ดี โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรมีค่าความหนาแน่นของเม็ดอยู่ระหว่าง 0.73–1.03 g/cm^3 ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลไก่มีค่าความหนาแน่นของเม็ดอยู่ระหว่าง 0.98–1.23 g/cm^3

สำหรับความหนาแน่นรวมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 39.09–55.30 g/cm^3 และ 55.85–68.71 g/cm^3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 เช่นกัน โดยเมื่อความดันในการอัดเม็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวม เนื่องจากขนาดของเม็ดชีวมวลเท่าเดิม ดังนั้น เมื่อบรรจุตัวอย่างลงในกล่องปริมาตร จึงบรรจุได้เท่าเดิม แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น หรือเม็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง เนื่องจากการบรรจุตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ลงในกล่องปริมาตร ทำให้เกิดการกีดขวางกันมากขึ้น บรรจุตัวอย่างได้น้อยลง น้ำหนักรวมต่อปริมาตรจึงมีค่าลดลง ส่งผลให้มีความหนาแน่นรวมน้อยกว่ากรณีตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก

เมื่อทำการอัดเม็ด ทำให้ชีวมวลมีค่าความหนาแน่นรวม (39.09–55.30 g/cm^3 สำหรับมูลสุกร และ 55.85–68.71 g/cm^3 สำหรับมูลไก่) ลดลงจากชีวมวลเริ่มต้นซึ่งเป็นผง (98.23 g/cm^3 สำหรับมูลสุกร และ 98.12 g/cm^3 สำหรับมูลไก่) เนื่องจากการที่ชีวมวลมีรูปร่างใหญ่ขึ้นจากที่เป็นผงทำให้การบรรจุลงในปริมาตรหนึ่ง ๆ นั้น ทำได้น้อยกว่ากรณีที่เป็นผง ชีวมวลที่มีรูปร่างเกิดการวางตัวอย่างกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดส่วนที่เป็นช่องว่าง แต่ในกรณีที่เป็นผงสามารถบรรจุตัวอย่างได้เต็มปริมาตร ซึ่งการที่เราทราบค่าความหนาแน่นรวมของเชื้อเพลิงมีประโยชน์ในด้านการขนส่ง กล่าวคือ ทำให้ทราบว่าในการขนส่งเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง (ที่มาตรของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งเท่าเดิมปริ) สามารถขนส่งเชื้อเพลิงได้ในปริมาณเท่าใด

ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกำหนดไว้ว่า ความหนาแน่นรวมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดทั้งเกรดธรรมดาและเกรดคุณภาพสูง มีค่าไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3 หรือ 0.6 g/cm^3 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน, 2556) ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมูลสุกรและมูลไก่โดยไม่ใช้ตัวประสาน แสดงให้เห็นว่า มูลสุกรอัดเม็ดมีค่าความร้อน 11,319–11,688 kJ/kg ส่วนมูลไก่มีค่าความร้อน 7,589–8,386 kJ/kg (สภาวะในการอัดเม็ดมูลทั้ง 2 ชนิด ที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด 1 เซนติเมตร และความดันในการอัดเม็ด 40 บาร์) โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดี คือ มีค่าความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละ 9.44–12.21 โดยน้ำหนัก สำหรับมูลสุกรอัดเม็ด และร้อยละ 10.32–12.50 โดยน้ำหนัก สำหรับมูลไก่อัดเม็ด) มีปริมาณเถ้าไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละ 32.27–35.62 โดยน้ำหนัก สำหรับมูลสุกรอัดเม็ด และร้อยละ 44.45–45.85 โดยน้ำหนัก สำหรับมูลไก่อัดเม็ด) โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่เตรียมได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด ความยาวของเม็ด และความหนาแน่นรวม เป็นไปตามร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากงานวิจัยอื่น ๆ เช่น กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมชานอ้อยอัดแท่ง กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่ง กากปาล์มน้ำมันอัดแท่ง กากปาล์มน้ำมันผสมถ่านหินอัดแท่ง และถ่านหิน เป็นต้น ดังนั้น มูลสุกรและมูลไก่จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบพระคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การอนุเคราะห์ตัวอย่างวัสดุชีวมวล

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน. 2556. รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเปนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน.

นิธิพงศ์ อนุรักษ์พงศธร. 2546. การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประริญา รำไพ. 2546. การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรียสารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมมารถ ศรีประเทือง และยิ่งยศ ทิพย์ศรีราช. 2555. การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากกากปาล์มน้ำมันผสมผงถ่านหิน เพื่อใช้ในการหลอมอลูมิเนียมรีไซเคิล. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

อัญชลี อุตตะมะเวทิน. 2558. การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย. วิทยานิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Jitjumroonchokchai, P. 2013. Study on Rice Straw to be Bio-fuel Pellets. RMUTP Research Journal Special Issue Energy and Environment. 72-80.