

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว
เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง
Properties of fuel pellets made from eucalyptus bark,
rice straw, corn residues and cassava rhizome

ณัฐพงษ์ ปรากฏการ¹, สุภัทร หนูแย้ม¹, ธนรัช มุขพันธ์¹, พรรษา ลิปลับ¹, สาวิตรี คำหอม¹ และ วีรชัย อัจหาญ^{1*}

¹ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: Arjharh@g.sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0-4422-5007 และ 0-4422-5045, เบอร์โทรสาร 0-4422-5046

บทคัดย่อ

การนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์โดยตรงนั้นสามารถทำได้ยาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ มีความชื้นสูงและมีความหนาแน่นต่ำ การอัดแท่งจึงเป็นกระบวนการแปรรูปที่สำคัญกระบวนการหนึ่งสำหรับการเตรียมเชื้อเพลิง และจำเป็นต้องมีการศึกษา คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแต่ละชนิด โดยเฉพาะคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา การขนส่ง และการผลิตพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 5 ชนิด มีค่าต่างกัน โดยมีค่าความชื้น 9.53-11.90 เปอร์เซ็นต์ ความยาว 19.00-26.33 มิลลิเมตร ความหนาแน่นอนุภาค 1,038-1,120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏ 552.00-682.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความทนทาน 93.25-98.12 เปอร์เซ็นต์ มุมกอง 30.61-36.26 องศา และค่าความต้องการพื้นที่ 0.89-0.96 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

คำหลัก: เชื้อเพลิงอัดแท่ง เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง

Abstract

The use of biomass, especially agricultural residues, as fuel is difficult because their properties are not suitable e.g. irregular size, high moisture content and low density. Pelletizing is an important process in feedstock preparation; however, the pellet properties are dependent on types of biomass, especially properties related to their storability, transportation and energy production capacity. The present study aims to investigate pellet properties of five different biomasses i.e. eucalyptus bark, rice straw, corn residues and cassava rhizome. The results showed that pellet properties of all the tested biomass were more or less the same: 9.53-11.90% moisture content, 19.00-26.33 mm length, 1,038-1,120 kg/m³ particle density, 552-682 kg/m³ bulk density 93.25-98.12% pellet durability, 30.61-36.26° angle of repose and 0.89-0.96 m³/ton space demand.

Keywords: fuel pellets, eucalyptus bark, rice straw, corncob, corn stalk and cassava rhizome

1. บทนำ

ประเทศไทยมีแหล่งชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 3,000 เมกะวัตต์ แต่ในทางปฏิบัติแหล่ง

เชื้อเพลิงชีวมวลกระจัดกระจายอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตร และไร่ นา สวนเกษตร ทำให้ศักยภาพเชิงพาณิชย์ของการใช้



เชื้อเพลิงชีวมวลมีอยู่ไม่ถึง 1,000 เมกะวัตต์ ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือ ในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม [1] พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ามันดิบ 7,200 ตัน (ktoe) ประมาณ 2,400 เมกะวัตต์ซึ่งจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (ปี 2551-2565) ที่วางเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลให้ได้ 5,608 เมกะวัตต์ และผลิตเป็นความร้อนทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เทียบเท่ามันดิบ 7,433 พันตันมันดิบภายในปี 2565 [2]

อย่างไรก็ดีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ทำได้ยากเนื่องจากสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลมักมีสภาพไม่พร้อมใช้งาน คือ มีความชื้นสูงและความหนาแน่นต่ำ จำเป็นต้องมีการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลให้เหมาะสมสามารถใช้งานได้ การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีคุณภาพ ลดต้นทุนการเก็บรักษาและขนส่ง โดยที่คุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีความสำคัญ ในประเด็นอื่นๆ โดยมีการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้

M.R. Wu, D.L. Schott และ G. Iodewijks (2011) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ Wood pellet, Wood chip และ Torrefied pellet พบว่า คุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของวัสดุชีวมวลมีความสำคัญสำหรับการเลือกใช้เครื่องจักรและการเก็บรักษา [3] รวมถึงการขนส่ง

G.A.Holt, T.L.Blodgett และ F.S.Nakayama ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ วัสดุอัดแท่งจากของเหลือทิ้งในกระบวนการบำบัด Cotton gin พบว่า มีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วง 17.9 ถึง 20.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าต่ำสุดเท่ากับ 4.88 เปอร์เซ็นต์ และตารางที่ 1 แสดงค่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิง

Material	Ash Content (kg/m ³)	High Heating Value (MJ/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	Cl
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส [10]	8.94	17.78	38.57	3.86	0.51	0.31	47.81	0.98%
ฟางข้าว [11]	4.76	17.84	49.46	6.24	0.50	0.17	43.63	0.10%
เปลือกซังข้าวโพด [12]	1.51	19.61	52.68	4.68	1.38	0.29	39.46	6,017 ppm
ต้นข้าวโพด [12]	7.71	16.32	44.30	4.62	0.85	0.11	42.83	8750 ppm
เหง้ามันสำปะหลัง [13]	8.43	14.73	46.12	7.55	1.13	0.03	54.83	0.32%

สูงสุด 9.75 เปอร์เซ็นต์ วัสดุอัดแท่งนี้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งในเชิงการค้าได้ [4]

K.Theerarattananoon และ คณะได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ วัสดุอัดแท่ง จาก Sorghum stalk, corn stover, wheat straw และ big bluestem พบว่า การเพิ่มขึ้นของความชื้นส่งผลให้ความหนาแน่นของวัสดุอัดแท่งลดลง [5]

กฤษกร รับสมบัติ คณะ(2555) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุชีวมวลพบว่า การเพิ่มความหนาแน่นเปลือกไม้โดยการอัดเม็ด 6 เท่าตัว ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 6 เท่าตัว [6]

V.Karkania, E.Fanara, A.Zabaniotou (2012) ได้รวบรวมข้อมูลชีวมวลอัดแท่งเพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับตลาดชีวมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในประเทศกรีซ พบว่า เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีค่าความร้อนต่อปริมาตรต่ำ ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งและเก็บรักษาสูงหากนำมาใช้ประโยชน์โดยไม่ทำการแปรรูป และการใช้ชีวมวลอัดแท่งในอุตสาหกรรมไม่ใช่สิ่งแปลกใหม่ แต่เป็นการลดปริมาณการใช้ถ่านหินและลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก [7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพ 5 ชนิด คือ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเก็บรักษา ขนส่ง และผลิตพลังงาน รวมถึงเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งในปัจจุบันเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพต่อไป

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการศึกษานี้มี 5 ชนิด คือ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีสมบัติแสดงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแสดงไว้ในตารางที่ 1

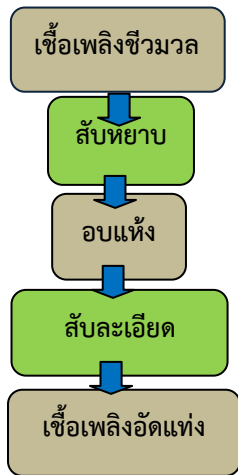
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

2.2 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง ที่ผลิตจากต้นแบบโรงงานแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1

เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 (ก) กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง [6]



รูปที่ 1 (ข) ต้นแบบโรงงานแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 1 (ค) ต้นแบบโรงงานแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 2 (ก) เปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่ง



รูปที่ 2 (ข) ฟางข้าวอัดแท่ง



รูปที่ 2 (ค) เปลือกซังข้าวโพดอัดแท่ง



รูปที่ 2 (ง) ต้นข้าวโพดอัดแท่ง



รูปที่ 2 (จ) เหง้ามันสำปะหลังอัดแท่ง

รูปที่ 2 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.3 วิธีการ

นำตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลใน 2.1 ไปผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งโดยกระบวนการ 2.2 และนำตัวอย่างไปหาคุณสมบัติสำหรับการบริหารจัดการ การเก็บรักษา และขนส่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

2.3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามมาตรฐาน ASTM E871-82

2.3.2 ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ความหนาแน่นของอนุภาคและความหนาแน่นปรากฏ

- 1) ความหนาแน่นของอนุภาค (Particle Density) หาจาก การสุ่มตัวอย่างของวัสดุ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว คิดเป็นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของอนุภาค มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density) หาได้จากน้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยปริมาตร ที่วัสดุโดยใช้ภาชนะทรงกระบอกขนาด 1 ลิตร มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3.3 มุมกอง (Angle of repose) ในบทความนี้เป็น ค่า Static angle of repose ทำการทดลองโดยการปล่อยให้วัสดุ ไหลผ่าน กรวยที่มีขนาดรูออก 10.6 เซนติเมตร ลงสู่พื้นราบที่ความสูง 23 เซนติเมตร วัดความสูงและรัศมีของกอง ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นทำการคำนวณหาค่ามุมกอง [3] ตามสมการ (1)

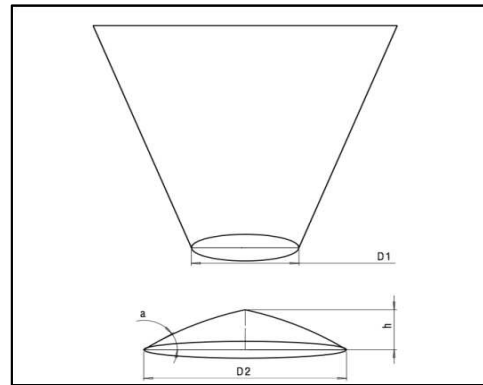
$$a = \tan^{-1} \left[\frac{2h}{(C/\pi) - D1} \right] \quad (1)$$

$$; C/\pi = D2$$

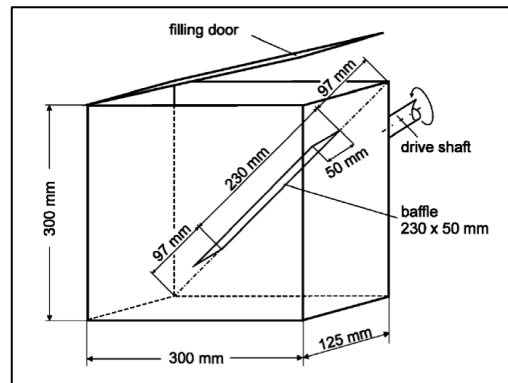
2.3.4 ความทนทานของวัสดุอัดแท่ง (Pellet Durability) คือ การทดสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ซึ่งมีผลกระทบต่อ การเก็บรักษา การขนส่ง รวมไปถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของวัสดุ ทดสอบโดยการใส่วัสดุจำนวน 500 กรัม ลงในกล่องสแตนเลสสี่เหลี่ยมที่มีขนาด (300 x 300 x 125) มิลลิเมตร ด้านในมีใบกวนขนาด 230 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร มีแกนหมุนด้านข้าง ดังแสดงรูปที่ 4 หมุนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตามมาตรฐาน ASAE

S269.4 ต่อจากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3.15 มิลลิเมตร (มาตรฐาน ISO 3310.2)

2.3.5 ความต้องการพื้นที่ (Space demand) คือ ปริมาตรพื้นที่บรรจุเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และนำคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 5 ชนิดเทียบกับมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไม้ในปัจจุบัน



รูปที่ 3 Angle of repose [3]



ตารางที่ 2 แสดงค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Moisture Content (%)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	13.00	11.90	11.30	0.67
ฟางข้าว	12.90	11.87	11.00	0.96
เปลือกซังข้าวโพด	10.00	9.53	9.20	0.42
ต้นข้าวโพด	10.10	9.83	9.70	0.23
เหง้ามันสำปะหลัง	10.70	10.17	9.60	0.55

3. ผลการศึกษา

ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกซังข้าวโพด และต้นข้าวโพด มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ÖNORM M 7135 [8] และ Residential/Commercial Densified Fuel Standard [9] ซึ่งกำหนดค่าความชื้นให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว และ เหง้ามันสำปะหลัง มีค่าต่ำ

กว่ามาตรฐานประมาณ 0.17 – 1.90 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากระดับความชื้นในเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นหลังจากแปรรูปเชื้อเพลิงจนได้ความชื้นตามต้องการแล้ว ควรเก็บรักษาไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถควบคุมความชื้นได้ เพื่อคงคุณภาพตามมาตรฐาน

ค่าความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด มีค่าความยาวเฉลี่ย 19.00 ± 2.00 ถึง 26.33 ± 4.13 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งมีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดให้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร) [8] ในขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นของอนุภาคของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 4 มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานเช่นเดียวกัน ยกเว้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าอยู่ในมาตรฐาน [8] เท่ากับ 1,120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นปรากฏของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด แสดงในตารางที่ 5 อยู่ในมาตรฐาน Residential/Commercial Densified Fuel Standard ระดับ PFI Premium [Residential /Commercial Densified Fuel Standard จำแนกระดับเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ PFI Premium (ระดับครัวเรือน) PFI Standard (ระดับอุตสาหกรรมทั่วไป) และ PFI Utility (ระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่)] เท่ากับ 608.70 - 736.85 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [9] ยกเว้น เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากในกระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง ต้องควบคุมความชื้นวัสดุก่อนอัดแท่งให้มีความเหมาะสม เพราะความชื้นมีผลกระทบต่อโดยตรงกับลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง [5] กล่าวคือถ้าวัสดุก่อนอัดแท่งมีความชื้นสูงเกินไปลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีความหนาแน่นต่ำ หักง่าย จึงหักก่อนถึงไบมัดตัด ความยาวจึงไม่สม่ำเสมอ แต่หากมีความชื้นต่ำเกินไป เชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีความหนาแน่นสูง ไม่หักง่าย สามารถตัดได้ตามความยาวที่ต้องการ แต่ต้องใช้พลังงานในการอัดแท่งสูง ดังนั้น ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องมีการทดสอบหาความชื้นที่เหมาะสมสำหรับอัดแท่ง ของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ขนาดความหนาแน่น และใช้พลังงานน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงค่าความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Particle Length (mm)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	42.00	24.40	14.00	7.70
ฟางข้าว	37.00	26.33	21.00	4.13
เปลือกซังข้าวโพด	46.00	25.80	13.00	7.90
ต้นข้าวโพด	21.00	19.00	17.00	2.00
เหง้ามันสำปะหลัง	37.00	25.53	16.00	6.58

ตารางที่ 4 แสดงค่าความหนาแน่นของอนุภาคของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Particle Density (kg/m ³)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	1,246.07	1,122.26	965.88	73.64
ฟางข้าว	1,263.33	1,101.14	965.21	83.65
เปลือกซังข้าวโพด	1,217.59	1,104.29	789.31	109.73
ต้นข้าวโพด	1,288.41	1,110.97	692.74	139.67
เหง้ามันสำปะหลัง	1,219.94	1,038.62	882.93	84.16

ตารางที่ 5 แสดงค่าความหนาแน่นปรากฏของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Bulk Density (kg/m ³)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	658.99	642.06	614.08	24.41
ฟางข้าว	658.52	649.62	639.34	9.66
เปลือกซังข้าวโพด	689.19	682.28	670.45	10.29
ต้นข้าวโพด	697.55	662.13	627.36	35.10
เหง้ามันสำปะหลัง	567.18	552.58	537.04	15.09

ตารางที่ 6 แสดงค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Durability Test (%)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	93.50	93.25	93.00	0.35
ฟางข้าว	97.10	96.71	96.31	0.56
เปลือกซังข้าวโพด	97.28	97.07	96.86	0.30
ต้นข้าวโพด	98.47	98.12	97.77	0.49
เหง้ามันสำปะหลัง	97.25	97.21	97.17	0.06

ค่าความทนทานของวัสดุอัดแท่งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 6 มีค่าอยู่ในมาตรฐาน Residential/Commercial Densified Fuel Standard ระดับ PFI Premium ที่กำหนดไว้เท่ากับหรือมากกว่า 96.5 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นวัสดุอัดแท่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เนื่องจากมีค่าความชื้นสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้มีค่า

ความทนทานต่ำ เพราะค่าความชื้นมีความผกผันกับค่าความทนทาน [5]

ค่ามุมกองของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 7 เป็นคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหล การพังทลายของกองวัสดุ และการแบ่งแยกชั้นของวัสดุ [5] ค่ามุมกองของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ใช้สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบระบบขนส่งลำเลียง และสร้างโรงเรือนเก็บรักษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ค่าความต้องการพื้นที่ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 8 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.89-0.96 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ค่าความต้องการพื้นที่ใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการขนส่งและการเตรียมพื้นที่เก็บรักษา

ตารางที่ 7 แสดงค่ามุมกองของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Angle of repose (°)			
	Max	Average	Min	S.D.
เปลือกไม้อูคาลิปตัส	36.42	33.63	30.04	2.71
ฟางข้าว	33.77	32.43	30.91	1.44
เปลือกซังข้าวโพด	31.82	30.61	28.56	1.79
ต้นข้าวโพด	32.87	30.61	28.56	2.17
เหง้ำมันสำปะหลัง	39.22	36.26	34.18	2.64

ตารางที่ 8 แสดงค่าความต้องการพื้นที่ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Space demand (m ³ /ton)
เปลือกไม้อูคาลิปตัส	0.94
ฟางข้าว	0.91
เปลือกซังข้าวโพด	0.89
ต้นข้าวโพด	0.90
เหง้ำมันสำปะหลัง	0.96

4. สรุปผลการศึกษา

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้อูคาลิปตัส ฟางข้าว เปลือกซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และเหง้ำมันสำปะหลัง แสดงค่าโดยสรุปในตารางที่ 9 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยคุณสมบัติส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตาม

มาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย [8] และมาตรฐานของประเทศอเมริกา [9] หากต้องการให้เป็นไปตามมาตรฐาน จำเป็นต้องมีการพัฒนาสัดส่วนชีวมวลขึ้นเพื่อปรับสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์ แต่อย่างไรก็ดี การปรับสมบัตินั้นทำได้ยาก เนื่องจากสมบัติข้างต้นเป็นสมบัติเฉพาะที่มีอยู่ในชีวมวล ดังนั้นการนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งไปใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงมาตรฐานที่โรงงานอุตสาหกรรมยอมรับทั้งนี้ในประเทศไทย ยังไม่มีมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นจำเป็นต้องทำการพัฒนามาตรฐานเป็นอันดับแรก ใดๆก็ดี เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ที่ทำการศึกษานี้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานต่างประเทศสามารถนำไปใช้ในการผลิตความร้อนในหม้อต้มไอน้ำ หรือระบบความร้อน Utility ต่างๆได้

ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ นั้นสามารถเพิ่มเติมด้านการศึกษาด้านเทคนิค สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพทางด้านกายภาพ ให้ได้มาตรฐานด้วยกระบวนการแปรรูปภายในโรงงาน โดยใช้ทักษะและความเชี่ยวชาญของผู้ควบคุมกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ แต่อย่างไรก็ดีควรมีการศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ความละเอียดก่อนอัดแท่ง (Fine, % at the mill gate) เปอร์เซ็นต์ความยาวมากกว่า 38 มิลลิเมตร abrasion และ pressing aids ซึ่งค่าคุณสมบัติเหล่านี้ใช้สำหรับเทียบกับมาตรฐานต่าง ๆ ได้อย่างครอบคลุม นอกจากนี้ควรมีการศึกษาถึงทุนทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนทางสังคม และต้นทุนทางสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปด้วยเพื่อให้เกิดการพัฒนาด้านเชื้อเพลิงอย่างยั่งยืน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ) กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ตารางที่ 9 สรุปคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Material	Moisture Content (%)	Particle Length (mm)	Particle Density (kg/m ³)	Bulk Density (kg/m ³)	Durability Test (%)	Angle of repose (°)	Space demand (m ³ /ton)
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	11.90±0.67	24.40± 7.70	1,122.26±73.64	642.06±24.41	93.25±0.35	33.63±2.71	0.94
ฟางข้าว	11.87±0.96	26.33± 4.13	1,101.14±83.65	649.62±9.66	96.71±0.56	32.43±1.44	0.91
เปลือกซังข้าวโพด	9.53±0.42	25.80±7.90	1,104.29±109.73	682.28±10.29	97.07±0.30	30.61±1.79	0.89
ต้นข้าวโพด	9.83±0.23	19.00±2.00	1,110.97±139.67	662.13±35.10	98.12±0.49	30.61±2.17	0.90
เหง้ำมันสำปะหลัง	10.17±0.55	25.53±6.58	1,038.62± 84.16	552.58±15.09	97.21±0.06	36.26±2.64	0.96

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, พลังงานชีวมวล, ออนไลน์: www.efc.or.th.
- [2] กระทรวงพลังงาน.แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ.2551 - 2565) ออนไลน์: www.efc.or.th.
<http://www.dede.go.th>
- [3] M.R. Wu , D.L. Schott, G. Lodewijks.(2011). Physical properties of solid biomass. Biomass and bioenergy ,vol.35 . pp. 2093-2105.
- [4] G.A. Holt, T.L. Blodgett, F.S. Nakayama. (2006). Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cottongin by-products produced by select processing treatments. Industrial Crops and Products, vol. 24 .pp.204–213.
- [5] K. Theerarattananoon,F.Xu, J. Wilson, R. Ballard, L. Mckinney, S. Staggenborg, P. Vadlani,Z.J. Pei, D. Wang. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw,and big bluestem. Industrial Crops and Products,vol 33,pp. 325–332.
- [6] กฤษกร รัชสมบัติ ธนธัช มุขพันธ์ สุภัทร หนูแย้ม และ วีรชัย อัจฉริยะ .การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยการเพิ่มความหนาแน่นของเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13; 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่. 2555.
- [7] V. Karkania, E. Fanara, A. Zabaniotou. Review of sustainable biomass pellets production –A study for agricultural residues pellets’ market in Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16 .pp.1426–1436.
- [8] Österre ichisches Normungsinstitut .2000. ÖNORM M 7135.Compressed wood or compressed bark in natural state pellets and briquettes, requirements and test specifications. Vienna, Austria.
- [9] Pellet Fuels Institute .2011.Pellet Fuels Institute (PFI) Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel. [Online] <http://pelletheat.org>.
- [10] วีรชัย อัจฉริยะและคณะ.2554.โครงการเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม.รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.หน้า 4-8.
- [11] วีรชัย อัจฉริยะและคณะ.2552.การผลิตพลังงานจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน.รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.หน้า 4-17.
- [12] วีรชัย อัจฉริยะและคณะ.2555.โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน.รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ .หน้า 2-18 และ 2-19.
- [13] วีรชัย อัจฉริยะและคณะ.2551.การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน.รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.หน้า 4-37.