



การศึกษาขนาดอนุภาคของลำต้นมันสำปะหลังที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด

Study of Effect of Particle Size of Cassava Stems on Fuel Pellet Production

กัณฑ์ณ เปรมประยูร¹, ชนินทร์ อุปัทม์^{1,3,4,*}, สิงห์ธัญ ชารี², คุณนิตี ดวงผึ้ง^{3,4,5}, สุรเชษฐ์ บำรุงศิริ²

Kantapon Premprayoon¹, Chanin Oupathum^{2,3,4,*}, Singrun Charee², Khunnithi Doungpueng^{3,4,5}, Surachet Bumrungkeeree²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น 40000

¹Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Khon Kaen 40000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา, พระนครศรีอยุธยา 13000

²Department of Agricultural Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Hantra District, PhraNakhon Si Ayutthaya 13000

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, กรุงเทพมหานคร 10400

³Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400

⁴ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตร และวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002

⁴Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Khon Kean 40002

⁵โปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น 40000

⁵Department of Farm Mechanics, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Khon Kaen 40000

*Corresponding author: Tel.: +66-8-8058-9398, E-mail: chanin9398@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านเครื่องสับย่อยรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm พร้อมศึกษาสมบัติหลังการสับและการอัดเม็ด พบว่า ความสามารถและเปอร์เซ็นต์การสับย่อยสูงสุดเท่ากับ 43.85 kg h⁻¹ และ 64.79% ตามลำดับ เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 6 mm หลังการสับย่อย ได้ผลความหนาแน่นรวมสูงสุดเท่ากับ 139.28 kg m⁻³ เมื่อใช้ขนาดตะแกรง 3 mm มุมกองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดรูตะแกรงคัดขนาด และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.70° เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 6 mm ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคและค่าโมดูลัสความละเอียดสูงสุดเท่ากับ 2.45 mm และ 4.65 mm ตามลำดับ จากการทดสอบเครื่องอัดเม็ดชีวมวล พบว่า ความสามารถการอัดสูงสุดเท่ากับ 61.49 kg h⁻¹ ในกรณีอนุภาคที่ผ่านรูตะแกรงขนาด 5 mm เปอร์เซ็นต์การขึ้นรูปสูงสุดเท่ากับ 98.05% เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 4 mm หลังการอัดเม็ด มุมกองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดรูตะแกรงคัดขนาด ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 29.21° เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 6 mm ผลการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ขนาดเท่ากัน พบว่า น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 0.96 g เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 4 mm ความหนาแน่นจริงของเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 1,323.76 kg m⁻³ เมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 6 mm ความหนาแน่นรวมสูงสุดเท่ากับ 689.87 kg m⁻³ และความคงทนที่ผ่านมาตรฐานคือเมื่อใช้ตะแกรงคัดขนาด 3 และ 4 mm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.39 และ 98.25% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ลำต้นมันสำปะหลัง, เชื้อเพลิงอัดเม็ด, ขนาดอนุภาค, สมบัติทางกายภาพ

Abstract

The present study aimed to analyze the effect of particle size of cassava stems, processed through screening sieves of 3, 4, 5, and 6 mm, on their physical properties after chopping and pelleting. The performance evaluation of the cassava stems hammer mill demonstrated a throughput capacity of 43.85 kg h⁻¹ and a shredding efficiency of 64.79% when using a 6-mm sieve. Both parameters showed an increasing trend with larger sieve apertures. The

Received: August 03, 2022

Revised: September 12, 2024

Accepted April 25, 2025

Available online: June 26, 2025

highest bulk density of 139.28 kg m^{-3} was recorded with a 3-mm sieve, which decreased as the size of the sieve increased. Additionally, the angle of repose increased with the sieve size, peaking at 50.70° when using a 6-mm sieve. The particle size and modulus of fineness were maximized at 2.45 mm and 4.65 mm, respectively, for the 6-mm sieve. In the biomass pellet production phase, the pelletizing machine achieved a maximum compression capacity of 61.49 kg h^{-1} with a 5-mm sieve. The highest pellet formation efficiency was 98.05% when using a 4-mm sieve. The angle of repose of the pellets was highest at 29.21° when using a 6-mm sieve. Pellet dimensions were consistent across all sizes. The maximum pellet weight was 0.96 g when using a 4-mm sieve, while the actual fuel density was $1323.76 \text{ kg m}^{-3}$ when using a 6-mm sieve. All pellet densities conformed to industry standards, while the durability values of pellets produced with 3-mm and 4-mm sieves were 98.39% and 98.25%, respectively, meeting the required quality standards.

Keywords: Cassava Stems, Biomass Pellet, Particle Size, Physical Properties

1 บทนำ

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นพลังงานได้โดยในบรรดาพลังงานทางเลือก "พลังงานชีวมวล" ถือว่ามีความสำคัญ การใช้พลังงานความร้อนคิดเป็นร้อยละ 61 ไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 23 และ 16 ตามลำดับ โดยพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวลนั้นได้ 3,372.93 เมกะวัตต์ต่อปี รองลงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ 2,962.45 เมกะวัตต์ต่อปี และพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นได้ 7,152 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี รองลงมาเป็นพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพได้ 634 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบปี ซึ่งเห็นได้ว่า การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนมากที่สุดโดยได้จากชีวมวลเป็นหลัก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมาก เช่น ใบอ้อย ชานอ้อย ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง แกลบ ฟาง ข้าว ชังข้าวโพด และเศษไม้ เป็นต้น โดยวัสดุเหลือใช้เหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้นอกจากนี้ ทางรัฐบาลได้มีการส่งเสริมและรณรงค์ให้ภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมหันมาให้ความสำคัญของพลังงานชีวมวล โดยส่งเสริมให้มีอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าในระดับครัวเรือน และกระตุ้นการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังอันดับ 2 ของโลกรองจากไนจีเรีย ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 9.44 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 29 ล้านตัน มีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 3.07 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)

จากการศึกษาข้อมูลหลังการเก็บเกี่ยวลำต้นมันสำปะหลัง บางส่วนจะรวบรวมลำต้นที่สมบูรณ์ไปทำท่อนพันธุ์ในการปลูกครั้งต่อไป และอีกส่วนของลำต้นที่ไม่สมบูรณ์จะจัดกระจายตามร่องในแปลงเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกษตรกรทำการเผา และไถกลบเพื่อเตรียมแปลงปลูกใหม่อีกครั้งทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงไปเปล่าประโยชน์ จากการศึกษาข้อมูลพบว่า โดยเฉลี่ยทั้งประเทศ

ลำต้นมันสำปะหลังจะถูกใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ โดยเป็นต้นพันธุ์และปุ๋ยบำรุงดินประมาณ 54% และคงเหลือจากการใช้ประโยชน์ 46% คิดเป็น 388 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2557) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการนำไปอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงอย่างจริงจัง อีกทั้งกระบวนการอัดเม็ดยังมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตหลายอย่าง เช่น ขนาดอนุภาค ความชื้น ความเร็วรอบการอัด อัตราการป้อน ตัวประสาน มีผลต่อความคงทน และความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง (Whittaker and Shield, 2017) ซึ่งการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคมีผลต่อการอัดเม็ด (Harun and Afzal, 2016)

ดังนั้นการศึกษานำลำต้นมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาขนาดอนุภาคและสมบัติทางประการก่อนนำมาอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิง เพื่อได้สมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาการนำไปใช้งานเพื่อให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีการผลิตพลังงาน ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์ ลดปัญหาการเผาตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ตลอดจนส่งเสริมการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคตของภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือนต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การทดสอบเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลัง

การเตรียมวัสดุก่อนการสับย่อยเริ่มจาก เก็บรวบรวมลำต้นมันสำปะหลังจากไร่ สุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาอบหาค่าความชื้น (ASAE, 1993) ได้ค่าความชื้นเฉลี่ย 60% w.b. นำลำต้นมันสำปะหลังที่เตรียมไว้จัดตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 kg จำนวน 24 ตัวอย่าง เพื่อนำมาทดสอบหาความสามารถในการสับย่อย และเปอร์เซ็นต์การสับย่อย โดยใช้เครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลังแบบชุดใบมีดจานสับ 4 ใบมีด พร้อมย่อยในชุดเดียวกัน (Figure 1) ซึ่งมีตะแกรงเหล็กกรูกลมคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm ตะแกรงดังกล่าวสามารถถอดเปลี่ยนเพื่อทำการศึกษาค้นคว้าได้ ซึ่งจากการทดสอบเครื่องสับย่อยเบื้องต้น พบว่า ความเร็วรอบของเครื่องสับย่อย 1,000 rpm (4.45 m s^{-1}) อัตราการป้อน 120 kg h^{-1} ซึ่งเป็นความเร็วรอบ และอัตราการป้อนที่เหมาะสม ซึ่งได้นำมา

ดำเนินการทดสอบ เดินเครื่องทำการปรับความเร็วรอบการสับตามที่ทำทดสอบ จับเวลา เริ่มป้อนวัสดุลำต้นมันสำปะหลังอย่างสม่ำเสมอ 1 kg ภายในเวลา 30 s เข้าเครื่องสับย่อย สุ่มวัสดุออกจากตัวเครื่องสับย่อยนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมจับเวลากระทำ 3 ซ้ำ หาความสามารถในการทำงานของเครื่อง เก็บตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังที่ได้จากการสับย่อย นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสับย่อย



Figure 1 Size reducing cassava stems chopping machine.

ปัจจัยที่ศึกษา คือขนาดตะแกรงคัดขนาดรู 3 4 5 และ 6 mm ตามลำดับ (Figure 2) ซึ่งเป็นช่วงของขนาดตะแกรงที่ได้รับการศึกษาในกระบวนการอัดเม็ดชีวมวล

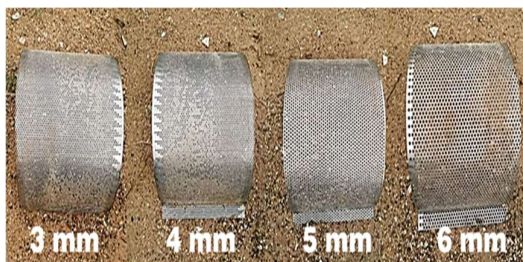


Figure 2 Half circle screen of different sizes.

ปัจจัยควบคุม ความเร็วรอบในการสับย่อย 1,000 rpm (4.45 m s^{-1}) และอัตราการป้อนที่ 120 kg h^{-1} กระทำโดยป้อนท่อนมันสำปะหลังครั้ง 2 kg อย่างสม่ำเสมอภายในเวลา 60 s ลำต้นมันสำปะหลังความชื้น 60% w.b.

ค่าชี้ผลการศึกษา

1) ความสามารถของเครื่องสับย่อย หาได้จากสมการที่ 1

$$C_p = \frac{W_c}{t} \quad (1)$$

เมื่อ

C_p แทน ความสามารถในการสับย่อย, kg h^{-1}
 W_c แทน น้ำหนักวัสดุลำต้นมันสำปะหลังที่สับย่อยได้, kg
 T แทน เวลาที่ใช้ในการสับย่อย, hr
 2) เปอร์เซนต์การสับย่อย

เปอร์เซนต์การสับย่อยลำต้นมันสำปะหลัง ทดสอบโดยชั่งน้ำหนักวัสดุลำต้นมันสำปะหลังก่อนเข้าเครื่องสับย่อย และนำลำต้นมันเข้าเครื่องสับย่อยจนหมด หลังจากนั้นนำลำต้นมันสำปะหลังสับย่อยที่ผ่านตะแกรงคัดขนาดได้มาชั่งน้ำหนัก และหาน้ำหนักวัสดุที่ไม่ผ่านตะแกรงคัดขนาด มาคำนวณเปอร์เซนต์การสับย่อยได้จากสมการที่ 2

$$W_c = \frac{W_m - W_s}{W_m} \quad (2)$$

เมื่อ

W_c แทน เปอร์เซนต์การสับย่อย, %
 W_s แทน น้ำหนักวัสดุที่ค้างตะแกรง, kg
 W_m แทน น้ำหนักวัสดุที่สับย่อยทั้งหมด, kg

2.2 การศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของลำต้นมันสำปะหลังหลังจากการสับย่อย

หลังจากการสับย่อยลำต้นมันสำปะหลังแล้ว นำลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยนำไปลดความชื้นโดยการตากแดดลดความชื้นเป็นเวลา 9 hr (Figure 3) ซึ่งภายหลังการตรวจความชื้นด้วยการอบหาความชื้น (ASAE, 2006) พบว่ามีความชื้นลดลงเหลือเฉลี่ย 10% w.b. การตากแห้งจะทำให้ปริมาณความชื้นของชีวมวลใกล้เคียงกันทั้งหมดทำให้ง่ายต่อการควบคุมความชื้นของชีวมวล



Figure 3 Reduction of moisture content by sun drying.

หลังจากที่ลำต้นมันสำปะหลังถูกลดความชื้นหลังจากการสับย่อย ได้ทำการศึกษาสมบัติบางประการของลำต้นมันสำปะหลังหลังจากการสับย่อยก่อน เพื่อให้เข้าใจถึงคุณลักษณะของลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งสมบัติบางประการ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ความหนาแน่นรวม มุมกอง ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค และค่าโมดูลัสความละเอียด ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

การหาสัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน โดยวางลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยบนพื้นของอุปกรณ์ทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตโดยยกพื้นขึ้นจนสังเกตเห็นวัสดุเริ่มไหลจากสภาวะหยุดนิ่ง (Figure 4) จึงบันทึกค่ามุมที่อ่านได้ทำการทดสอบกับพื้นรองรับที่เป็นวัสดุต่างกัน ได้แก่ แผ่นไม้ แผ่น

เหล็ก แผ่นพลาสติก และแผ่นสังกะสี เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของแต่ละวัสดุมาเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง เช่น การออกแบบชุดลำเลียง ไซโล ช่องป้อนวัสดุ เป็นต้น (Lubwama, Yiga, and Muhairwe, 2020) (Baryeh, 2002) ทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง และแต่ละขนาดอนุภาคของลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านตะแกรงคัดขนาดของเครื่องสับย่อย 3 4 5 และ 6 mm จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของวัสดุ จากสมการที่ 3



Figure 4 Static coefficient of friction determination.

$$\mu = \tan \alpha \quad (3)$$

เมื่อ

μ แทน สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

α แทน มุมการไหลวัสดุ, °

- ความหนาแน่นรวม

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นรวมของลำต้นมันสำปะหลังทำได้โดยนำลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยบรรจุในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่ชัดจนเต็มภาชนะแล้วปาดผิวให้เรียบ และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม จากสมการที่ 4 จำนวนตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังในการศึกษาจำนวน 20 ตัวอย่าง

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

เมื่อ

ρ แทน ความหนาแน่นรวมของวัสดุ kg m^{-3}

m แทน น้ำหนักของวัสดุ, kg

v แทน ปริมาตรของภาชนะบรรจุ m^3

- มุมกอง

โดยทำการบรรจุลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยแต่ละขนาดใส่ในกรวย แล้วเทปล่อยลงกึ่งกลางของภาชนะทรงกระบอก จากนั้นวัดความสูงของกองวัสดุ และเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานกอง ภายหลังจากอยู่ในสภาพสมดุล (P.S.Lam, S. Sokhansanj, 2014) โดยคำนวณหามุมกองจากสมการที่ 5 ใช้ตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังที่สับย่อย 20 ตัวอย่างของรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm

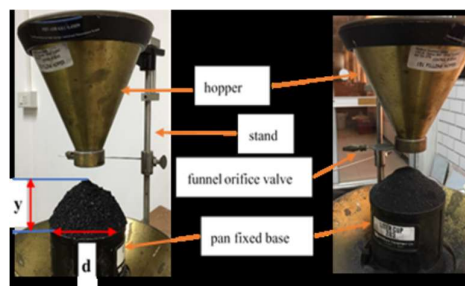


Figure 5 Seedburo filling hopper and stand for angle of repose (fixed base) measurement.

$$\text{AOR} = \tan^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) \quad (5)$$

เมื่อ

AOR แทน มุมกองวัสดุ (°)

h แทน ความสูงของวัสดุโดยวัดจากปลายกระบอกขึ้นมา, cm

r แทน รัศมีของกระบอกตวงวัดปริมาตร, cm

- ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค และค่าโมดูลัสความละเอียด

โมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่แสดงถึงความละเอียดของมวลรวมว่ามีมากน้อยเพียงใด สามารถหาได้จากการวิเคราะห์มวลรวมด้วยตะแกรงมาตรฐาน โดยนำค่าร้อยละสะสมของน้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐาน แต่ละตะแกรงมารวมกันแล้วหารด้วย 100 ทดสอบโดยการนำลำต้นมันสำปะหลังที่ได้จากเครื่องสับย่อยมาใส่ตะแกรงร่อนแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า 5 นาทีแล้วนำไปเทเปอร์เซ็นต์ผ่านรูตะแกรงเพื่อหาขนาดของวัสดุก่อนนำมาทดสอบ (Figure 6) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคหาได้จากสมการที่ (6)



Figure 6 Analysis of cassava stems after size reduction.

$$D = 0.0041(2)^{F.M.} \quad (6)$$

เมื่อ

F.M. แทน ค่าโมดูลัสความละเอียด

D แทน ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค, mm

2.3 ทดสอบการทำงานของเครื่องอัดเม็ดวัสดุลำต้นมันสำปะหลัง

วิธีดำเนินการทดสอบ ใช้ความเร็วรอบในการอัด 150 rpm นำผงลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับย่อยผ่านรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm เริ่มป้อนอนุภาคลำต้นมันสำปะหลังที่

ผ่านการสับย่อยเข้าเครื่องอัดเม็ดซีววมวล (Figure 7) สุ่มแล้วจับเวลาเมื่อเม็ดเชื้อเพลิงออกจากเครื่องอัดอย่างต่อเนื่องแล้วหยุดเวลา จากนั้นนำเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ชั่งน้ำหนักหาความสามารถเครื่องอัดเม็ดซีววมวล เก็บตัวอย่างที่ได้จากการอัดเม็ดเชื้อเพลิงนำไปชั่งน้ำหนักและคัดแยกผงเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การขึ้นรูปตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ นำไปคำนวณตามสมการที่ 7 และ 8



Figure 7 Pelleting machine.

- ปัจจัยที่ศึกษา
- ทดสอบขนาดลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm ตามลำดับ
- ปัจจัยควบคุม
- ความเร็วรอบในการอัด 150 rpm อัตราการป้อนที่ 60 kg h⁻¹ และความชื้น 10% w.b.
- ค่าชี้ผลการศึกษา
- ความสามารถของเครื่องอัดเม็ดซีววมวล

$$C_p = \frac{W_o}{t} \quad (7)$$

เมื่อ

C_p แทน ความสามารถ, kg h⁻¹
 W_o แทน น้ำหนักวัสดุที่อัดได้, kg
 t เวลาที่ใช้ในการอัด, kg
 %การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ด

$$B_f = \frac{W_p}{W_p + W_d} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ

B_f แทน เปอร์เซ็นต์การขึ้นรูป, %
 W_p แทน น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิง, kg
 W_d แทน น้ำหนักฝุ่นผง, kg

2.4 การศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุลำต้นมันสำปะหลังหลังการอัดเม็ดเชื้อเพลิง

- มุมกองลำต้นมันสำปะหลังอัดเม็ด
- การหาขนาดของมุมกอง โดยทำการบรรจุเม็ดเชื้อเพลิงลำต้นมันสำปะหลังจากการสับย่อยด้วยตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ

6 mm ใส่ในกรวยแล้วเทปล่อยลงกึ่งกลางของภาชนะทรงกระบอก จากนั้นวัดความสูงของกองวัสดุ และเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานกอง ภายหลังจากอยู่ในสภาพสมดุล โดยคำนวณหามุมกองจากสมการ 3 ใช้ตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังที่สับย่อย 20 ตัวอย่าง ของแต่ละขนาด

- การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

ทดสอบโดยวางเม็ดเชื้อเพลิงลำต้นมันสำปะหลังที่มีอนุภาคผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm บนพื้นของอุปกรณ์ทดสอบ ยกพื้นขึ้นจนสังเกตเห็นวัสดุเริ่มไหลจากสภาวะหยุดนิ่ง จึงบันทึกค่ามุมที่อ่านได้ (Figure 8) ทำการทดสอบกับพื้นรองรับที่เป็นวัสดุต่างกัน ได้แก่ แผ่นไม้ แผ่นเหล็ก แผ่นพลาสติก และแผ่นสังกะสี จำนวนอย่างละ 20 ตัวอย่าง



Figure 8 Static coefficient determination of pellets.

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- สำหรับการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักโดยทำการเลือกสุ่มเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใกล้เคียงกันมา 100 เม็ด เริ่มจากวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและวัดความยาวด้วยไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัล (Figure 9)



Figure 9 Measurement of dimension of pellets of cassava stems.

- ความหนาแน่นจริงเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การหาความหนาแน่นจริงของเม็ดเชื้อเพลิงจากลำต้นมันสำปะหลัง ทำได้โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวเม็ดเชื้อเพลิง แล้วคำนวณหาปริมาตร จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของแต่ละตัวอย่าง แล้วไปคำนวณหาความหนาแน่นจริง จำนวนตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงในการศึกษาจำนวน 100 ตัวอย่าง ของแต่ละอนุภาคที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm มีหน่วยเป็น kg m⁻³

- การทดสอบหาความหนาแน่นรวม

ทำได้โดยปล่อยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกรวยด้านบนลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่ชัดจนเต็มภาชนะแล้วปาดผิวให้เรียบ และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จำนวนตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังในการศึกษาจำนวน 20 ตัวอย่าง ของแต่ละอนุภาคที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm มีหน่วยเป็น kg m^{-3}

- ความคงทนเชื้อเพลิงอัดเม็ด

สำหรับการหาความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการขนส่ง การเคลื่อนย้ายจะมีเม็ดชีวมวลบางส่วนแตกและบางส่วนสึกกร่อน (Tabil and Sokhansani, 1996) ซึ่งค่าความคงทนคุณภาพที่ดีต้องไม่น้อยกว่า 80% ระดับปานกลาง 70-80% และระดับต่ำสุดน้อยกว่า 70% (colley et al., 2006) จะทำการนำตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงที่เตรียมไว้แต่ละขนาด ชั่งน้ำหนักก่อนเข้าเครื่องทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 35 rpm ใช้เวลา 5 min ในการทดสอบ (Figure 10) เสร็จแล้วนำตัวอย่างออกจากเครื่องทดสอบร่อนแยกเม็ดเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ด้วยตะแกรง 3 mm แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาหาความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยคำนวณจากสมการที่ 9

$$D_u = 100 \times \frac{WPW}{IW} \quad (9)$$

เมื่อ

D_u แทน ความคงทน, %

WPW แทน น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนร่อน, g

IW แทน น้ำหนักตัวอย่างที่ร่อนแล้วก่อนบรรจุ

ลงในกล่องทดสอบ, g



Figure 10 Durability index unit testing.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลังที่อัตราการป้อน 120 kg h^{-1} และความเร็วรอบ 1000 rpm พบว่าความสามารถเฉลี่ยของวัสดุที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ

6 mm ได้ค่าเท่ากับ 8.48 25.17 29.18 และ 43.85 kg h^{-1} ตามลำดับ (Figure 11) และ%การสับย่อยเฉลี่ยได้ค่าเท่ากับ 14.90 36.63 40.52 และ 64.80% ตามลำดับ (Figure 11) จะเห็นได้ว่า ความสามารถ และ%การสับย่อยเฉลี่ยของวัสดุที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 mm น้อยที่สุดเนื่องจาก การสับย่อยด้วยตะแกรงขนาดเล็ก ต้องใช้พลังงานมากกว่าและใช้เวลานานกว่าในการบดให้ละเอียดพอผ่านตะแกรงได้ ส่งผลให้ต้องใช้เวลาลับช้า จึงลดอัตราการผลิตจริงลง อีกทั้งลำต้นมันสำปะหลังมีความชื้นสูง (60% w.b.) และมีเส้นใยเหนียว ทำให้เกิดการอุดตันรูตะแกรง โดยเฉพาะตะแกรงที่มีรูขนาดเล็ก ซึ่งต่างจากตะแกรงขนาดใหญ่ ที่วัสดุสามารถผ่านรูตะแกรงได้ง่ายขึ้น

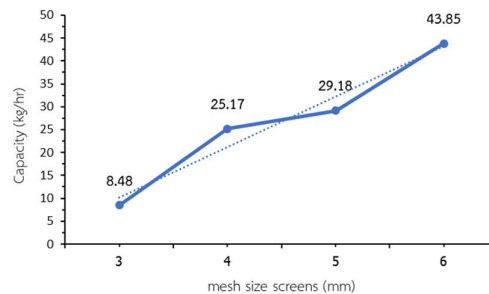


Figure 11 Relationship between mesh size of screens and working capacity.

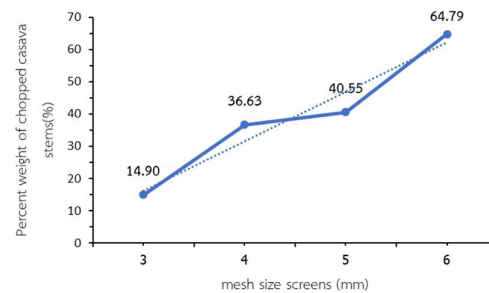


Figure 12 Relationship between mesh size of screens and percent weight of reducing size.

- ผลสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

สัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติพบว่า แผ่นไม้จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติเฉลี่ยมากที่สุด ตามมาด้วยแผ่นเหล็ก แผ่นสังกะสี และแผ่นพลาสติก ซึ่งสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติจะมีค่าแปรผันตามกับมุมการไหลวัสดุ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติมาก มุมการไหลก็จะมากตามด้วย (Baryeh, 2002) (Figure 13)

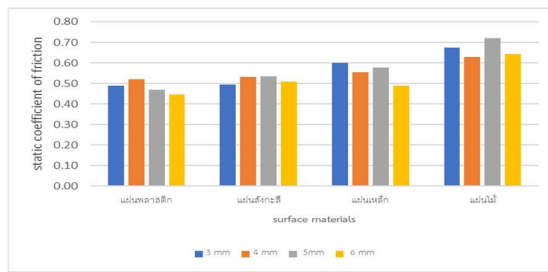


Figure 13 Relationship between mesh size screens and static coefficient of friction.

- ผลความหนาแน่นรวมลำต้นมันสำปะหลังสับย่อย

จากผลการศึกษาความหนาแน่นรวมลำต้นมันสำปะหลังสับย่อย พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm ตามลำดับ (Haruna and Afzalb,2016) เนื่องจากอนุภาคใหญ่ขึ้นทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสน้อยลงจึงทำให้มีความหนาแน่นรวมน้อยลงด้วย (Figure 14)

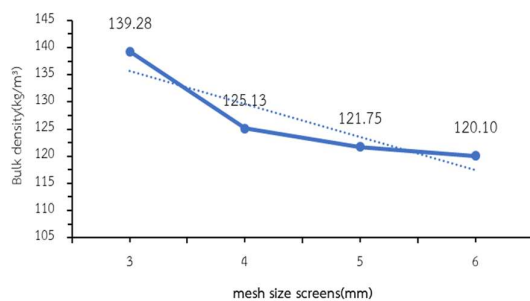


Figure 14 Relationship between mesh size of screens and bulk density.

- ผลมูกองลำต้นมันสำปะหลังสับย่อย

ผลการหามูกองลำต้นมันสำปะหลังสับย่อยรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm เท่ากับ 41.25 44.29 45.80 และ 50.70 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดตะแกรงคัดขนาด (Figure 15) เนื่องจากวัสดุขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นทำให้วัสดุมีความสามารถในการยึดเกาะได้ดีกว่าวัสดุที่มีอนุภาคเล็กซึ่งมีลักษณะผิวเรียบลื่นจึงทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันต่ำ และผลนี้สอดคล้องกับสมการที่ 3 เพราะอนุภาคขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัส และแรงเสียดทานสถิตมากกว่า ทำให้ต้องยกพื้นผิวให้เอียงมากกว่าจึงจะเริ่มไหลได้

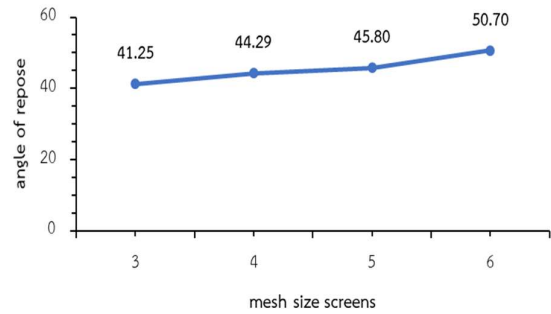


Figure 15 Relationship between mesh size of screens and angle of repose.

- ผลขนาดเฉลี่ยของอนุภาค และค่าโมดูลัสความละเอียด

จากผลการศึกษาค่าโมดูลัสความละเอียด พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm เนื่องจากวัสดุมีอนุภาคขนาดเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสความละเอียดก็จะเพิ่มขึ้นตาม และจากผลการศึกษาขนาดเฉลี่ยของอนุภาค พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm เนื่องจากวัสดุมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นขนาดเฉลี่ยของอนุภาคก็จะเพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกัน Table 1

Table 1 Geometric mean diameters and fineness modulus of cassava stems.

Mesh size of screens (mm)	F.M.	Geometric mean diameter (mm)
3	3.67	1.32
4	4.13	1.83
5	4.23	1.96
6	4.56	2.45

3.2 ผลการทดสอบเครื่องอัดเม็ดชีวมวล

จากผลการศึกษาความสามารถการอัดเม็ดลำต้นมันสำปะหลัง พบว่าที่รูตะแกรงคัดขนาด 5 mm มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 61.49 kg h⁻¹ เนื่องจากอนุภาคขนาด 5 mm มีความสมดุลระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดอนุภาค ทำให้เครื่องอัดเม็ดสามารถป้อนและอัดได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดการอุดตัน อีกทั้งอนุภาคขนาด 5 mm ไม่เล็กเกินไปจนเพิ่มแรงเสียดทานในเครื่อง และไม่ใหญ่เกินไปจนบดอัดยาก ทำให้ประหยัดพลังงานและเวลาในการผลิต จึงเป็นขนาดที่เหมาะสมกับเครื่องอัด และค่าน้อยสุดเท่ากับ 22.30 kg h⁻¹ ที่รูตะแกรงคัดขนาด 6 mm มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไป (Figure 16) และเปอร์เซ็นต์การขึ้นรูปที่รูตะแกรง 4 mm มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 98.89% และค่าน้อยสุดเท่ากับ 83.96% มีขนาดเล็กทำให้สามารถอัดได้ดีขึ้น (Figure 17) เนื่องจาก อนุภาคขนาด 4 mm มีพื้นที่ผิวสัมผัสเพียงพอสำหรับการจับตัวกันระหว่างการอัดเม็ด ทำให้เกิดการยึดเกาะของอนุภาคได้ดี โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน และอนุภาคขนาด 4

mm มีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นผงต่ำ (ฝุ่นค้างเพียง 1.95%) ทำให้ได้เม็ดเชื้อเพลิงสมบูรณ์เกือบทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการปริมาณการผลิตสูงให้เลือกตะแกรง 5 mm และหากต้องการคุณภาพเม็ดและประสิทธิภาพการขึ้นรูปให้เลือกตะแกรง 4 mm

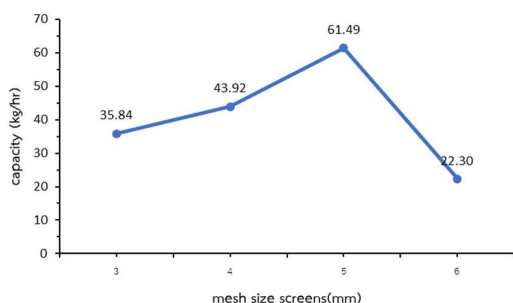


Figure 16 Relationship between mesh size of screens and capacity of the pellets machine.

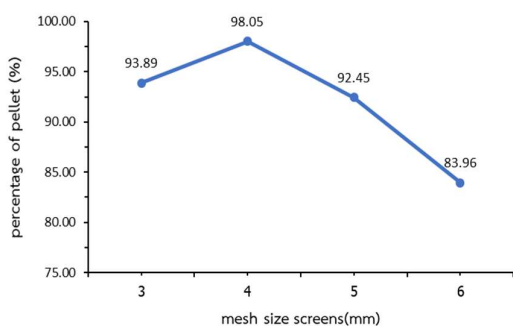


Figure 17 Relationship between mesh size of screens and percentage of pellet formation.

3.3 ผลการศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุลำต้นมันสำปะหลังหลังการอัดเม็ด

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของลำต้นมันสำปะหลังอัดเม็ด (Figure 18) เมื่อวางบนวัสดุรองรับ พบว่าแผ่นพลาสติกมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมากที่สุดที่ตะแกรงคัดขนาด 4 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.60 และน้อยสุดที่ตะแกรงคัดขนาด 3 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.53 แผ่นสังกะสีมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมากที่สุดที่ตะแกรงคัดขนาด 5 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.59 และน้อยสุดที่ตะแกรงคัดขนาด 3 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.54 แผ่นเหล็กมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมากที่สุดที่ตะแกรงคัดขนาด 6 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.57 และน้อยสุดที่ตะแกรงคัดขนาด 4 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.59 และแผ่นไม้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมากที่สุดที่ ตะแกรงคัดขนาด 5 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.59 และน้อยสุดที่ตะแกรงคัดขนาด 4 mm เฉลี่ยเท่ากับ 0.56

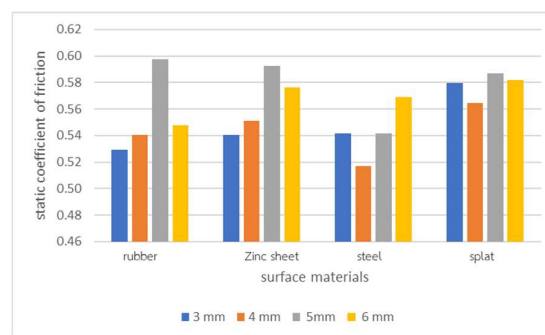


Figure 18 Relationship between mesh size of screens and static coefficient of friction.

- ผลมุมกองเม็ดเชื้อเพลิง

ผลการหามุมกองลำต้นมันสำปะหลังอัดเม็ด (Figure 19) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามรูตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm แต่ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากวัสดุขนาดเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน และที่รูตะแกรงคัดขนาด 6 mm การขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงไม่ค่อยดี จึงทำให้ความสามารถในการยัดเกาะมากกว่าขนาด 5 4 และ 3 mm ตามลำดับ

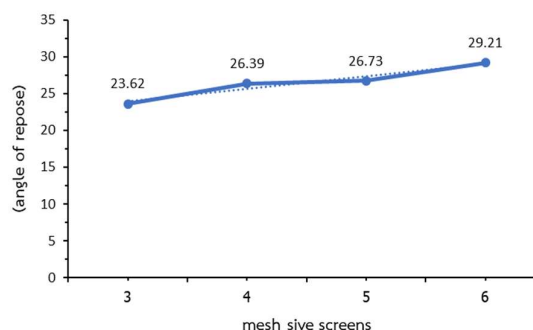


Figure 19 Relationship between mesh size of screens and angle of repose of pellets.

- ผลการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ผลการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อทราบถึงรูปร่างลักษณะเม็ดเชื้อเพลิงตามมาตรฐานเม็ดเชื้อเพลิง ดังแสดง Table 2

Table 2 Pellet dimension and weight results.

Mesh Size Screens (mm)	Diameter (mm)	Length (mm)	Weight of Pellet (g)
3	6.05	25.37	0.94
4	6.04	25.59	0.96
5	6.02	25.21	0.82
6	5.99	25.37	0.84

จากผลการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่เลือกสุ่มเท่ากัน พบว่าขนาดเม็ดเชื้อเพลิงที่

สมบูรณ์ เป็นไปตามมาตรฐานเม็ดเชื้อเพลิงทุกขนาด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2560)

- ผลความหนาแน่นจริงเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากผลการศึกษาความหนาแน่นจริงเชื้อเพลิงอัดเม็ด พบว่า รุตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1274.05 1274.57 1273.75 และ 1323.76 kg m⁻³ ตามลำดับ และพบว่าที่รุตะแกรงคัดขนาด 6 mm นั้นมีค่าเท่ากับ 1323.76 kg m⁻³ (Figure 20) ซึ่งใหญ่จึงทำให้ลูกกลิ้งบดอัดหลายรอบกว่าออกมาเป็นเม็ดทำให้มีค่าความหนาแน่นสูงแต่ก็ส่งผลกระทบต่อความสามารถของเครื่องตำลง

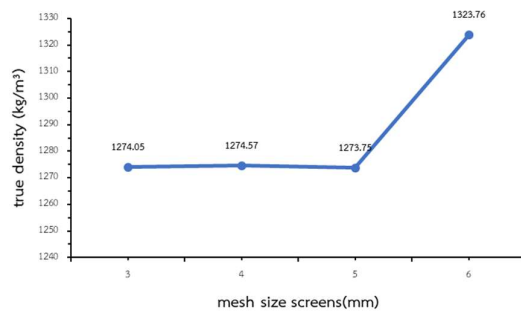


Figure 20 Relationship between true density and mesh size of screens.

- ผลความหนาแน่นรวมลำต้นมันสำปะหลังอัดเม็ด

จากผลการศึกษาความหนาแน่นรวมเชื้อเพลิงอัดเม็ด ตามรุตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 689.87 652.21 664.79 และ 651.27 kg m⁻³ ตามลำดับ พบว่าที่รุตะแกรงคัดขนาด 3 mm มีความหนาแน่นรวมมากที่สุด และขนาดอื่น ๆ นั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน Table 3 ซึ่งผ่านคุณลักษณะเชื้อเพลิงที่ต้องการตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งอัดเม็ด

Table 3 Pellet bulk density results.

Mesh Size Screens	Cylindrical Container (cm ³)	Weight (kg)	Bulk Density (kg m ⁻³)
3	1000	0.69	689.87
4	1000	0.66	652.21
5	1000	0.66	664.79
6	1000	0.65	651.27

- ผลความคงทนเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากผลการศึกษาความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm เท่ากับ 98.39 98.25 93.53 และ 90.86% ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลง (Figure 20) เนื่องจากที่รุตะแกรงคัดขนาด 3 และ 4 mm นั้นมีการขึ้นรูปเหมาะสมได้มากกว่ารุตะแกรงคัดขนาด 5 และ 6 mm ความคงทนเม็ดเชื้อเพลิงจึงมากตามด้วย

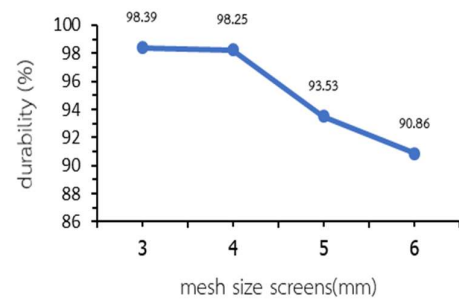


Figure 20 Relationship between durability and mesh size of screens.

4 สรุป

จากการศึกษาขนาดลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 3 4 5 และ 6 mm ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ผลการทดสอบเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลัง พบว่า ตะแกรงคัดขนาด 6 mm ให้ความสามารถในการสับย่อยสูงสุดที่ 43.85 kg h⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์การสับย่อยสูงสุดที่ 64.80% ผลการศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมลำต้นมันสำปะหลัง ได้ค่าความหนาแน่นรวมของวัสดุหลังการสับย่อยสูงสุดที่ 139.28 kg m⁻³ เมื่อใช้ตะแกรงขนาด 3 mm และขนาดเฉลี่ยของอนุภาคและค่าโมดูลัสความละเอียดเพิ่มขึ้นตามขนาดตะแกรง โดยมีค่าสูงสุดที่ 2.45 mm และ 4.65 mm ตามลำดับ สำหรับตะแกรงขนาด 6 mm

ผลการศึกษาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากลำต้นมันสำปะหลัง ได้ค่าความสามารถในการอัดเม็ดสูงสุดที่ 61.49 kg h⁻¹ เมื่อใช้ตะแกรงขนาด 5 mm และ%การขึ้นรูปของเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 98.05% สำหรับตะแกรงขนาด 4 mm คุณลักษณะของเม็ดเชื้อเพลิงพบว่า เม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 6 mm และความยาวเฉลี่ย 25 mm ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ความหนาแน่นจริงของเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 1,323.76 kg m⁻³ สำหรับตะแกรงขนาด 6 mm ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 689.87 kg m⁻³ สำหรับตะแกรงขนาด 3 mm และความคงทนของเม็ดเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 98.39% และ 98.25% สำหรับตะแกรงขนาด 3 และ 4 mm ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ลำต้นมันสำปะหลังที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยพิจารณาจากการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด เทียบจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งอัดเม็ด และพิจารณาจากสมรรถนะเครื่องสับย่อย และเครื่องอัดเม็ดชีวมวลพบว่า ขนาดรุตะแกรงคัดขนาด 3 และ 4 mm ซึ่งเป็นขนาดที่ผ่านมาตรฐานทุกค่าที่ศึกษา (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2560) โดยตะแกรงคัดขนาด 4 mm เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด เนื่องจากให้สมดุลระหว่างประสิทธิภาพการสับย่อย การอัดเม็ด

และสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงที่ตรงตามมาตรฐาน ดังนั้น การเลือกขนาดตะแกรงควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก หากเน้นปริมาณการผลิตให้เลือกตะแกรงขนาด 5 mm แต่หากเน้นคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงให้เลือกตะแกรงขนาด 4 mm ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับขนาดอนุภาคของลำต้นมันสำปะหลังมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมพลังงานชีวมวลต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น โปรแกรมช่างกลเกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเกี่ยวเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2563. www.dede.go.th เข้าถึงได้ จาก: 5 มิถุนายน 2564
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิต พลังงานทดแทนชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล. แหล่งข้อมูล: www.dede.go.th. เข้าถึงเมื่อ: 21 เมษายน 2564.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). 2560. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (มอก. 2772-2560). แหล่งข้อมูล: <https://www.tisi.go.th>. เข้าถึงเมื่อ: 5 ตุลาคม 2564.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2557. โครงการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานทดแทนใน ภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจการค้า. แหล่งข้อมูล: URL: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15424FinalReport.pdf>. เข้าถึงเมื่อ: 4 ตุลาคม 2564.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. มันสำปะหลังโรงงาน. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th>. เข้าถึงเมื่อ: 2 เมษายน 2564.
- สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต. แหล่งข้อมูล: http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15106_รายงานฉบับสุดท้าย.pdf. เข้าถึงเมื่อ: 20 เมษายน 2564.
- ASAE Standards, 52 nd Ed. 2006. s 358, 2 1: 1 measurement forages.st joseph, MI: AABE
- Colley, Z., Fasina, O. O., Bransby, D. Y. Y. L., Lee, Y. Y. 2006. Moisture effect on the physical characteristics

- of switchgrass pellets. Transactions of the ASABE 49(6), 1845-1851.
- Baryeh, E. A. 2002. Physical properties of millet. Journal of food engineering 51(1), 39-46.
- Lam, P. S., Sokhansanj, S. 2014. Engineering properties of biomass. Engineering and science of biomass feedstock production and provision, 17-35.
- Shastri, Y., Hansen, A. C., Rodríguez, L. F., Ting, K. C. 2014. Systems informatics and analysis. Engineering and Science of Biomass Feedstock Production and Provision, 195-232.
- Lubwama, M., Yiga, V. A., Muhairwe, F., Kihedu, J. 2020. Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources. Renewable energy 148, 1002-1016.
- Noorfidza Y Haruna, Muhammad T Afzalb. 2016. Effect of Particle Size on Mechanical Properties of Pellets Made from Biomass Blends. Procedia Engineering 148, 93-99.
- Whittaker, C., Shield, I. 2017 Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 71, 1-11.
- Tabil Jr, L., Sokhansanj, S. 1996. Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. Applied Engineering in Agriculture 12(3), 345-350.