



การผลิตปุ๋ยจากกากหม้อกรองโดยใช้เครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบโดยใช้น้ำเป็นตัวประสาน

Fertilizer Pellet Production from Filter Cake and Water as a Binder Employing a Flat-die Pelletizer

ชินธันท์ อารีประเสริฐ<sup>1\*</sup>, แสนรค์ แก้วมรกต<sup>2</sup>, วรดา สุวรรณวัฒน์<sup>2</sup>, นภนต์ รุ่งเรืองวัฒนโชติ<sup>2</sup>, จีรัฐติกุล กล้าหาญ<sup>1,3</sup>, ชูตระกูล ศิริไพบูลย์<sup>1,4</sup>, กริธา สมเกียรติกุล<sup>1,5</sup>, ธัญญะ เกียรติวัฒน์<sup>1</sup>

Chinnathan Areprasert<sup>1\*</sup>, Saenruk Kaewmorakot<sup>2</sup>, Worada Suwanwattana<sup>2</sup>, Napon Rungrueangwattanachot<sup>2</sup>, Jeerattikul Klahan<sup>1,3</sup>, Chootrakul Siripaiboon<sup>1,4</sup>, Kreetha Somkeattikul<sup>1,5</sup>, Thanya Kiatiwat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

<sup>2</sup>ภาควิชาไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>Department of Electromechanic Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

<sup>3</sup>ภาควิชาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Suphanburi Campus, Suphanburi 72130

<sup>4</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพมหานคร 10160

<sup>4</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Bangkok 10160

<sup>5</sup>ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์, นนทบุรี 11120

<sup>5</sup>Department of Automotive Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management, Nonthaburi 11120

\*Corresponding author: Tel: +66-2797-0999, Fax: +66-2579-2775, E-mail: [achinatun@gmail.com](mailto:achinatun@gmail.com)

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ผสมกับกากหม้อกรองสำหรับการผลิตปุ๋ยอัดแห้งโดยใช้เครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Product yield) และความแข็งแรงของแท่งปุ๋ย เพื่อให้ได้ปุ๋ยแห้งที่มีคุณภาพสามารถขนย้ายและใช้งานได้อย่างสะดวก จึงได้ทำอัตราส่วนผสมของน้ำที่เหมาะสมคือ 10%, 20% และ 30% โดยมวล และอัดแท่งปุ๋ยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาดคือ 4 และ 6 mm หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบความแข็งแรงของปุ๋ยแห้งด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) โดยทดสอบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่ได้ด้วยความยาวที่ต่างกันคือ 23, 25 และ 30 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 10% โดยมวล 18 25 และ 30 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 20% โดยมวล และ 19, 23 และ 27 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 30% โดยมวล ผลการทดลองพบว่า จากกระบวนการอัดแท่งปุ๋ย อัตราส่วนของน้ำที่เหมาะสมคือ 10% ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งปุ๋ย 6 mm และความยาว 23 mm เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ในสัดส่วนที่สูงสุดถึง 30% และเมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงพบว่าสามารถรับแรงได้สูง (21.5 kg) โดยมีความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยอยู่ที่ 1351 kg m<sup>-3</sup>

คำสำคัญ: กากหม้อกรอง, ปุ๋ยแห้ง, เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ

## Abstract

This research aimed to study the effect of amount of water mixing in fertilizer pellet production from filter cake using flat-die pelletizer on product yield and mechanical strength of the fertilizer pellet. To achieve good physical quality and improve transportability of fertilizer, different amount of water were added during pellet making process, including 10%, 20% and 30% of total weight. Two types of die, i.e., two and six mm diameter, have been tested. After pellet production, the product distribution was calculated. After the products were naturally dried, they were subjected to a hardness test by a universal testing machine (UTM) at the different lengths (23, 25 and 30 mm for water mixing of 10 wt.%, 18 25 and 30 mm for water mixing of 20 wt.%, and 19,

23 and 27 mm for water mixing of 30 wt.%). Results showed that additional water of 10% at the diameter of 6 mm was a proper ratio to give the highest yield (30% of perfect pieces) and highest strength (21.5 kg force) and density (1351 kg m<sup>-3</sup>) at the pellet length of 23 mm.

Keywords: Filter cake, Fertilizer pellet, Flat die machine

## 1 บทนำ

ปัจจุบันสิ่งที่สำคัญที่สุดในการทำเกษตรกรรมคือวิธีที่ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ และปริมาณมากที่สุด ซึ่งการทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีนั้น มีหลากหลายวิธีด้วยกัน โดยหนึ่งในนั้นคือการเลือกใช้ปุ๋ยที่มีคุณภาพและมีสารอาหารที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ในประเทศไทยนั้น มีโรงงานน้ำตาลอยู่หลายแห่ง เนื่องจากประเทศไทย เป็นประเทศที่ส่งออกน้ำตาล เป็นลำดับต้นๆ ของโลก (Chetthamrongchai et al., 2001) ในการผลิตน้ำตาลนั้น โรงงานจะใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก และจะได้ของเสียออกมา ระหว่างกระบวนการผลิตหลากหลายชนิด เช่น กากน้ำตาล กากอ้อย และกากหม้อกรอง เป็นต้น ในการวิจัยนี้กากหม้อกรองถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง เนื่องจากกากหม้อกรองจำนวนมากที่ได้ออกมาจากกระบวนการผลิตน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่ตีไฟง่าย จึงทำให้โรงงานส่วนใหญ่ต้องการกำจัด อย่างไรก็ตามกากหม้อกรองมีสารอาหารที่พืชต้องการเพียงพอ แต่ไม่สามารถขนย้ายและใช้งานได้อย่างสะดวกเนื่องจากมีลักษณะเป็นผง ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้จึงมีการวิจัยเพื่อหาส่วนผสมของน้ำซึ่งใช้เป็นตัวประสานในการผลิตปุ๋ยแห้งจากกากหม้อกรอง ด้วยเครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบ

ข้อดีของเครื่องอัดแนวราบคือ มีรูปทรงเรียบง่ายน้ำหนักเบา และขนาดเล็ก ทำให้ง่ายต่อการถอดชิ้นส่วนทำความสะอาด การเปลี่ยนแม่พิมพ์ที่มีขนาดต่างกันสามารถทำได้ง่ายจึงทำให้ประหยัดเวลา นอกจากนี้ยังสามารถหาอะไหล่และชิ้นส่วนต่างๆ ได้ง่าย และมีราคาถูกถ้าเทียบกับเครื่องอัดประเภทอื่น ในขณะที่ดำเนินการสามารถมองเห็นกระบวนการอัดแห้งได้จึงสามารถตรวจสอบการทำงานได้ง่ายและรวดเร็ว

งานวิจัยนี้ทำการทดลองผลิตปุ๋ยแห้งโดยนำกากหม้อกรองผสมกับน้ำในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน และศึกษาผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ปุ๋ยแห้งที่ได้ หลังจากนั้นทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในเชิงความแข็งแรงด้วย Universal Testing Machine (UTM) กับผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวแตกต่างกัน

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการอัดเม็ด

กากหม้อกรอง (Filter cake) ที่นำมาใช้ ได้มาจากโรงงานน้ำตาลเอราวัณ จังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ที่ได้จากกระบวนการทำใส่น้ำอ้อย เมื่อสิ่งสกปรกที่ปนมากับน้ำอ้อยผสมกับสารเร่งตกตะกอนจะเกิดเป็นตะกอนตกลงมา หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกรองตะกอนออกจากน้ำอ้อย ตะกอนที่ผ่าน

การแยกนี้จะถูกนำไปทิ้งไว้เพื่อหาทางนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป องค์ประกอบทางเคมีทั่วไปของกากหม้อกรองเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานแสดงใน Table 1

Table 1 Chemical properties of filter cake.

| Chemical properties | Filter cake** | Standard of organic fertilizer***     |
|---------------------|---------------|---------------------------------------|
| pH                  | 7.7           | 5.5-8.5                               |
| C/N ratio           | 24:1          | 20:1                                  |
| OM* (%)             | 22.3          | ≥ 30                                  |
| N (%)               | 2.0           | ≥1                                    |
| P (%)               | 1.1           | ≥0.5 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) |
| K (%)               | 0.3           | ≥0.5 (K <sub>2</sub> O)               |

\* Organic matter

\*\* (Prado et al., 2013)

\*\*\* (Land Development Department, 2005)

### 2.2 เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ

เครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat die) เป็นเครื่องอัดที่ใช้โดยทั่วไปในการอัดวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหรือมีขนาดเล็ก และวัตถุดิบที่มีลักษณะอ่อนนุ่มให้เป็นแท่ง โดยมีส่วนประกอบหลักคือ หัวอัดและลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะหมุนอยู่ด้านบนหัวอัดสามารถปรับความเร็วได้ (Stelte et al., 2012) เครื่องอัดแท่งที่ใช้ (Figure 1) ซึ่งมีกำลัง 5.5 kW โดยหัวอัดและลูกกลิ้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 และ 90 mm ตามลำดับ



Figure 1 Flat die machine used in this study.

### 2.3 การผลิตปุ๋ยอัดแท่ง

การทดลองนี้เลือกใช้หัวอัดแนวราบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 mm โดยจะบรรจุวัตถุดิบครั้งละ 1.5 kg จากขนาดรู (ลักษณะเป็นทรงกระบอก) ของหัวอัด สามารถหาค่าอัตราส่วนแรงกด ( $\text{Compression ratio} = L/d$ , เมื่อ L คือความยาวของรูอัด และ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง) (Yancey et al., 2013) ได้ 5.5 และ 3.5 สำหรับรูอัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 mm ตามลำดับ

วัตถุดิบตั้งต้นหรือกากหม้อกรองนั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงดังนั้นความชื้นตั้งต้นของวัตถุดิบจึงไม่มีความแตกต่างกัน การทดลองผสมวัตถุดิบกับน้ำ (Figure 2) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยใช้อัตราส่วนของน้ำ 10% 20% และ 30% (โดยมวล) ของน้ำหนักของวัตถุดิบทั้งหมด เช่น การทดลองผสมน้ำ 30% โดยมวล จะใช้กากหม้อกรอง 1050 g (70%) ผสมกับน้ำ 450 g (30%) ผสมให้เข้ากัน และนำไปผ่านกระบวนการอัด หลังจากนั้นนำผลผลิตที่ได้ไปทำให้แห้งโดยการพึ่งแดด เพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีความชื้นที่เหมาะสมต่อการใช้งานซึ่งควรมีค่าต่ำกว่า 30% (Nikiema et al., 2013) จากการตรวจวัดความชื้นหลังจากการพึ่งแดดพบว่า ผลผลิตที่ได้มีความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 3 ถึง 3.5% โดยน้ำหนัก



Figure 2 Mixture of filter cake and water.

### 2.4 การทดสอบด้วย Universal testing machine (UTM)

การทดสอบด้วยเครื่อง UTM ดำเนินการโดยใส่ปุ๋ยแท่งที่มีขนาดใกล้เคียงกันในแต่ละเงื่อนไข (ผสมน้ำ 10% 20% และ 30% และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 mm) โดยทดสอบทั้งหมด 3 ขนาด ดังนี้ 23 25 และ 30 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 10% โดยมวล 18 25 และ 30 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 20% โดยมวล และ 19 23 และ 27 mm สำหรับอัตราส่วนผสมน้ำที่ 30% โดยมวล (ความยาวที่ได้เป็นความยาวของแท่งปุ๋ยที่ออกจากเครื่องอัดโดยไม่มีการตัดแปลง จึงทำให้ความยาวของปุ๋ยที่นำมาทดสอบในแต่ละเงื่อนไขต่างกัน) ขนาด

ละ 10 แท่ง ทดสอบครั้งละ 1 แท่ง หลังจากใส่ปุ๋ยแท่งเข้าไปในเครื่องแล้ว ทำการเพิ่มแรงอัดไปเรื่อยๆ อย่างช้าๆ จนปุ๋ยแท่งเริ่มแตกหัก (Figure 3) จึงหยุดและบันทึกค่าที่ได้

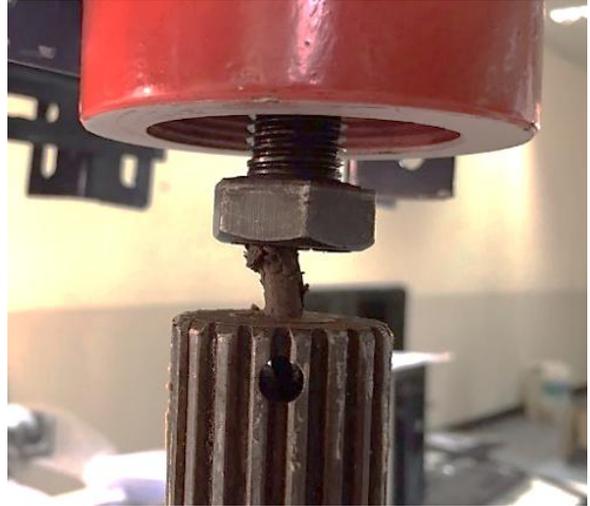


Figure 3 Breakage of fertilizer pellet during UTM testing.

## 3 ผลและวิจารณ์

### 3.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละส่วนผสม (Figure 4) มีความแตกต่างกันเนื่องจากอัตราส่วนของน้ำที่ผสมต่างกัน โดยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยแท่งที่ได้มีความนุ่มและอาจเกิดการแตกหักได้ในขณะที่อัดแท่งได้ง่าย การเคลื่อนย้ายอาจทำให้ปุ๋ยแท่งที่มีลักษณะนุ่มเกินไปเกิดการปัญหาได้เช่นกัน อาทิเช่น ขณะขนส่งไปในกระบวนการตากแห้ง ปริมาณน้ำที่มากเกินไปส่งผลให้วัตถุดิบมีลักษณะเป็นโคลนเกาะติดอยู่ภายในเครื่องอัด ซึ่งอาจส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง อย่างไรก็ตามในขณะดำเนินการอัดแท่งปุ๋ยพบว่า หากไม่มีการผสมน้ำหรือผสมน้ำน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดความร้อนในกระบวนการอัดได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมน้ำมีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยแท่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้แต่ควรอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

### 3.2 สมดุลมวลของกระบวนการผลิต

หลังจากดำเนินการอัดแท่งปุ๋ยจากกากหม้อกรองแล้ว ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้จะถูกเก็บและชั่งน้ำหนักก่อนการนำไปตากแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ (Perfect pieces) ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รูป (Broken pieces) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นฝุ่นเหลือจากกระบวนการ (Dust) และวัสดุที่เสียจากกระบวนการ (Loss) เช่น ตกหล่นและหลงเหลืออยู่ภายในเครื่องจักรหลังเสร็จสิ้นกระบวนการทดลอง

จากการทดลองจะได้ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รูป (Broken pieces) ฝุ่นที่เหลือจากกระบวนการ (Dust) และวัสดุที่เสียจากกระบวนการ (Loss) มีค่าสูงมากในทุกๆ การทดลอง (Table 2)

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองเป็นกะ (Batch) คือทำการทดลองทีละครั้งและไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดวัสดุเหลือภายในเครื่องอัดในปริมาณมาก



Figure 4 Appearance of the products (from top to bottom: 30%, 20%, and 10% water mixing by mass).

จากการพิจารณาสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ (Perfect pieces) พบว่า อัตราส่วนการผสมน้ำที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สมบูรณ์มากที่สุดคือ 10% และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm (Table 2) โดยมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รูป (Broken pieces) ต่ำที่สุด สำหรับการผสมน้ำ 10% และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm พบว่า ให้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ต่ำ (Perfect pieces) (Table

2) ซึ่งแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในส่วนผสมเดียวกันที่ 6 mm โดยสิ้นเชิง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่น้อยและขนาดรูอัดที่เล็ก ทำให้ไม่สามารถผลิตปุ๋ยแท่งที่ดีได้ดังสังเกตได้จากสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รูป (Broken pieces) สูงกว่าเกือบเท่าตัว (13%, Table 2) และมีความเป็นไปได้ว่าสัดส่วนน้ำที่น้อย (10%) และรูอัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (4 mm) ทำให้ไม่สามารถอัดปุ๋ยเป็นแท่งที่ดีได้ดังสังเกตได้จากสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นฝุ่น (Dust) มีสูงถึง 30% (Table 2)

Table 2 Mass balance of the pellet making process.

| Water mixing (wt. %) | Type of products | Product distribution (wt. %) |      |
|----------------------|------------------|------------------------------|------|
|                      |                  | 4 mm                         | 6 mm |
| 10                   | Perfect pieces   | 10                           | 30   |
|                      | Broken pieces    | 13                           | 7    |
|                      | Dust             | 30                           | 18   |
|                      | Loss             | 47                           | 45   |
| 20                   | Perfect pieces   | 20                           | 25.3 |
|                      | Broken pieces    | 22                           | 8.7  |
|                      | Dust             | 12                           | 18   |
|                      | Loss             | 46                           | 48   |
| 30                   | Perfect pieces   | 5                            | 10   |
|                      | Broken pieces    | 31                           | 12   |
|                      | Dust             | 22                           | 48   |
|                      | Loss             | 42                           | 30   |

อัตราส่วนการผสมน้ำที่ให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์สูงลำดับต่อมาคือ 20% โดยพบความแตกต่างกันระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งปุ๋ยคือ แท่งปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่ (6 mm) จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสมบูรณ์มากกว่าการอัดปุ๋ยที่มีขนาดเล็ก (4 mm) ซึ่งสอดคล้องกับส่วนผสมน้ำที่ 10% และ 30% นั่นเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่แตกหักได้ยากกว่าขนาดเล็กโดยสามารถสังเกตได้จากสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รูป (Broken pieces) มีค่าน้อยมากที่สุดที่ 8.7% เทียบกับ 22% และ 12% เทียบกับ 31% (Table 2) สำหรับอัตราส่วนการผสมน้ำที่ 20% และ 30% ตามลำดับ ในส่วนของการผสมน้ำที่ 30% ให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ คือได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ (Perfect pieces) ต่ำ

### 3.3 Universal Testing Machine (UTM)

จากผลการทดสอบความแข็งแรงของแท่งปุ๋ยด้วยเครื่อง UTM ค่าที่ได้จากตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละเงื่อนไขแสดงเป็นค่าแรงเฉลี่ย (Average force, kg) (Figure 5) จะเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งปุ๋ยมีความสำคัญอย่างมากกับการทนต่อแรงกดของปุ๋ยแท่ง เส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่กว่าย่อมมีความแข็งแรงมากกว่าดังแสดงในผลการทดลองคือ ปุ๋ยแท่งขนาด 6 mm สามารถรับแรงได้ในช่วง 14 ถึง 22 kg มากกว่าปุ๋ยแท่งขนาด 4

mm ซึ่งรับแรงได้ที่ 3 ถึง 10 kg ในทุกเงื่อนไข (Figure 5) สำหรับแ่งปุ๋ยที่ 4 mm เมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมน้ำจาก 10% เป็น 30% พบว่าสามารถรับแรงได้น้อยลงตามลำดับ

การผสมน้ำที่ 10% ทำให้แ่งปุ๋ยสามารถรับแรงเฉลี่ยได้สูงสุด (21.5 kg) ที่ความยาว 23 mm และพบว่าการผสมน้ำที่ 10% และ 30% ให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อทดสอบที่ความยาวมากขึ้นจะทำให้ทนต่อแรงกดน้อยลง เช่น สำหรับการผสมน้ำ 10% ที่ขนาด 4 mm พบว่าความสามารถรับแรงกดได้น้อยลงถึง 34% เมื่อเพิ่มความยาวจาก 23 เป็น 30 mm จากการทดลองยังพบว่าปุ๋ยที่ผลิตที่อัตราส่วนการผสมน้ำ 20% สามารถรับแรงใกล้เคียงกัน (ระหว่าง 20 ถึง 20.8 kg) โดยไม่ขึ้นกับความยาวของผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกต่างกับการผสมน้ำที่อัตราส่วนอื่น

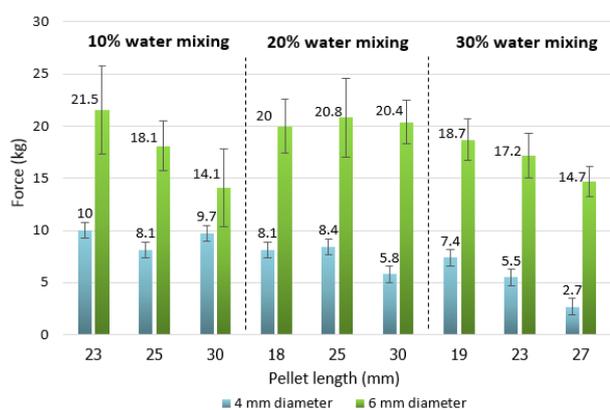


Figure 5 Average force tested on the various sizes and conditions of fertilizer pellet before breaking.

### 3.4 ความหนาแน่นของปุ๋ยอัดแ่ง

การคำนวณหาความหนาแน่นของปุ๋ยอัดแ่ง (Single particle density) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักของปุ๋ยหนึ่งชิ้นต่อปริมาตร (ทรงกระบอก) ของปุ๋ยชิ้นนั้น จาก Figure 6 ความหนาแน่นของปุ๋ยอัดแ่งมีค่าสูงสุดที่ส่วนผสมน้ำ 10% และขนาด 4 mm ที่ความยาว 23 mm อยู่ที่ประมาณ 1600 kg m<sup>-3</sup> โดยความหนาแน่นของปุ๋ยแ่งมีค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนเมื่อเทียบกับขนาด 6 mm เมื่อแ่งปุ๋ยมีขนาดยาวขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งสามารถพบได้ในส่วนผสมของน้ำที่ 10% และ 20% และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองแบบ โดยภาพรวมของความหนาแน่นของปุ๋ยที่ผลิตจากการผสมน้ำ 10% ของน้ำหนักทั้งหมดของวัตถุดิบตั้งต้นจะอยู่ที่ 1200 ถึง 1600 kg m<sup>-3</sup>

เมื่อพิจารณาที่การผสมน้ำ 20% พบว่าแ่งปุ๋ยที่ได้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าแ่งปุ๋ยที่ผลิตโดยใช้ส่วนผสมน้ำ 10% แต่มากกว่าปุ๋ยที่ผลิตจากส่วนผสมน้ำ 30% อย่างไรก็ตามสำหรับการผสมน้ำที่ 20% และ 30% พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปุ๋ยแ่ง (4 mm และ 6 mm) มีผลกระทบต่อความหนาแน่นน้อย จึงให้ค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ความยาวที่ต่างกันของปุ๋ยที่ผลิตโดยการผสมน้ำในสัดส่วน 20% นี้มีผลต่อความ

หนาแน่นน้อยมาก โดยในภาพรวมปุ๋ยในเงื่อนไขนี้มีความหนาแน่นอยู่ที่ 1200 ถึง 1400 kg m<sup>-3</sup>

สำหรับการผสมน้ำที่ 30% ค่าความหนาแน่นของปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกันมากซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ผสมเข้าไปมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของปุ๋ยมากกว่าเงื่อนไขในด้านขนาดของปุ๋ย หากผสมน้ำในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความหนาแน่นของปุ๋ยลดลง ความหนาแน่นของปุ๋ยที่ผลิตโดยการผสมน้ำ 30% จะอยู่ที่ประมาณ 1000 ถึง 1100 kg m<sup>-3</sup>

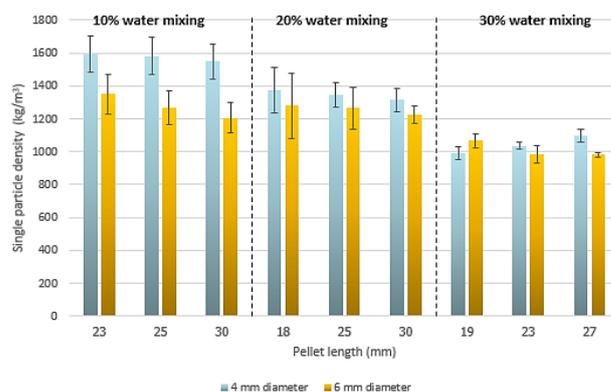


Figure 6 Single particle density of fertilizer pellet at various size and conditions.

ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของแ่งปุ๋ย ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นสอดคล้องกับผลการทดสอบ UTM ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่ผสมน้ำ 10% และมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ 6 และ 23 mm ตามลำดับคือ เมื่อเทียบที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน มีความหนาแน่นสูงสุด (1351 kg m<sup>-3</sup>) และสามารถรับแรงได้สูงสุด (21.5 kg) เช่นเดียวกัน ในกรณีที่ผสมน้ำ 10% ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นลดลงเมื่อเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ในส่วนของปุ๋ยที่ผสมน้ำที่ 20% และ 30% เมื่อความยาวเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถรับแรงได้น้อยลงถึงแม้ว่าจะมีความหนาแน่นใกล้เคียงเดิมนอกจากนั้นยังพบว่าค่าความหนาแน่นของปุ๋ยที่มีส่วนผสมของน้ำ 20% มีค่าค่อนข้างคงที่เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับแรงเฉลี่ยที่ปุ๋ยชนิดนี้สามารถรับได้ในความยาวที่ต่างกัน

## 4 สรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะนำวัตถุดิบที่ไม่เป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดคือการนำกากหม้อกรองมาผลิตเป็นปุ๋ยแ่งเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและการใช้งานต่อไป การทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมด้วยการผสมน้ำที่ 10%, 20% และ 30% ของวัตถุดิบโดยมวล และทำการอัดแ่งปุ๋ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาดคือ 4 และ 6 mm และทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยที่ผลิตที่ส่วนผสมของน้ำ 10% ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ให้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์มากที่สุดถึง 30% สามารถรับแรงได้สูงที่

ประมาณ 21.5 kg สำหรับความยาวของปุ๋ยแห้งที่ 23 mm โดยมี  
ความหนาแน่นอยู่ที่  $1351 \text{ kg m}^{-3}$  ตามลำดับ

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานน้ำตาลเอราวัณที่ได้อนุญาตให้ได้อุ่นเคราะห์กากหม้อ  
กรองเพื่อใช้ในการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ ดร. มะลิวัลย์ ฤทธิยธ  
นาสันดี สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ  
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุญาตให้ได้อุ่นเคราะห์  
เครื่องอัดแห้งปุ๋ยแบบหัวอัดแนวราบสำหรับดำเนินการทดลอง

## 6 เอกสารอ้างอิง

- Chetthamrongchai, P., Auansakul, A., Supawan, D. 2001.  
Assessing the transportation problems of the sugar  
cane industry in Thailand. Transport and  
Communications Bulletin for Asia and the Pacific  
70, 31-39.
- Nikiema, J., Cofie, O., Impraim, R., Adamtey, N. 2013.  
Processing of fecal sludge to fertilizer pellets using  
a low-cost technology in Ghana. Environment and  
Pollution 2, 70-87.
- Prado, R.d.M., Caione, G., Campos, C.N.S. 2013. Filter  
cake and vinasse as fertilizers contributing to  
conservation agriculture. Applied and  
Environmental Soil Science 2013, 1-8.
- Stelte, W., Sanadi, A.R., Shang, L., Holm, J.K.,  
Ahrenfeldt, J., Henriksen, U.B. 2012. Recent  
developments in biomass pelletization—A review.  
BioResources 7, 4451-4490.
- Yancey, N.A., Tumuluru, J.S., Wright, C.T. 2013. Drying,  
grinding and pelletization studies on raw and  
formulated biomass feedstock's for bioenergy  
applications. Journal of Biobased Materials and  
Bioenergy 7, 549-558.