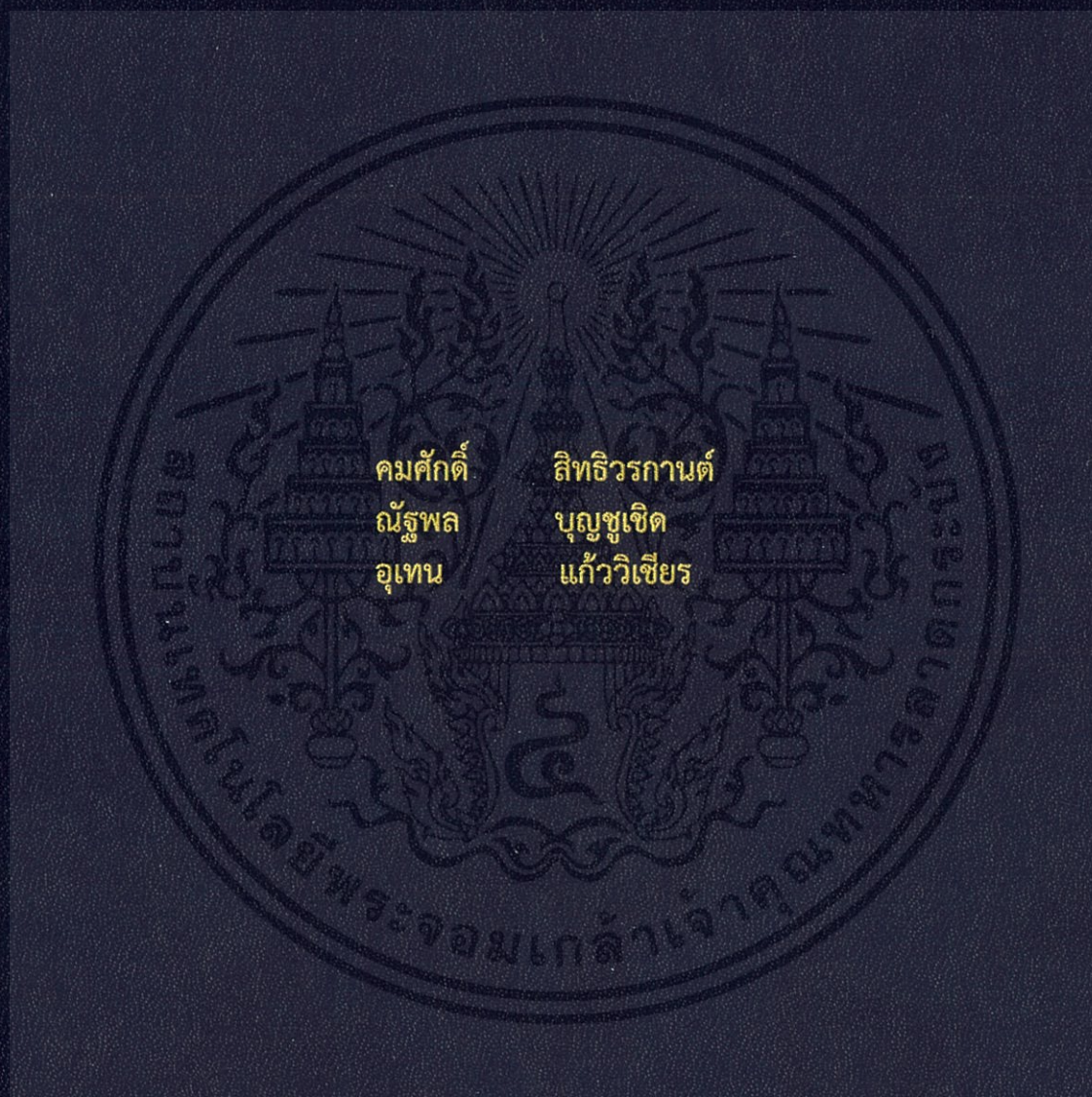


ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบ
Design and development of pellet fertilizer prototype
compressing machine



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบ
Design and development of pellet fertilizer prototype
compressing machine



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and development of pellet fertilizer prototype
compressing machine



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบ
Design and development of pellet fertilizer prototype
compressing machine

นักศึกษาผู้จัดทำ นายคมศักดิ์ สิทธิวรกานต์ รหัสนักศึกษา 56010127
นายณัฐพล บุญชูเชิด รหัสนักศึกษา 56010414
นายอุเทน แก้ววิเชียร รหัสนักศึกษา 56011471

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2559

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--|
| ผศ.ดร.ธีรพงศ์ พลโพธิ์ |  |

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบ

| | | | | |
|------------------|-------------|--------------|--------------|----------|
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายคมศักดิ์ | สิทธิวรกานต์ | รหัสนักศึกษา | 56010127 |
| | นายณัฐพล | บุญชูเชิด | รหัสนักศึกษา | 56010414 |
| | นายอุเทน | แก้ววิเชียร | รหัสนักศึกษา | 56011471 |

| | | |
|----------------------|----------------|----------|
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.ธีรพงศ์ | ผลโพธิ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผศ.ดร.ประสันต์ | ชุมใจหาญ |
| ปีการศึกษา | 2559 | |

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบขนาดมอเตอร์ 3 แรงม้า โดยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยต้นแบบนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้ 1. ชุดแป้นอัด 2. ชุดลูกกลิ้ง 3. ชุดส่งกำลัง และ 4. ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เปิดเครื่องให้เครื่องหมุนได้ถึงความเร็วรอบที่ตั้งไว้จากนั้นปุ๋ยเข้าทางช่องป้อนเมื่อปุ๋ยเข้าไปแล้วปุ๋ยจะถูกอัดโดยที่ชุดส่งกำลังจะส่งกำลังไปหมุนชุดแป้นอัดเพื่อให้ลูกกลิ้งทำการอัดปุ๋ยให้เป็นเม็ดออกมาทางรูแป้นอัดที่ทำการเจาะไว้ โดยทำการทดลองทั้งหมดที่ 3 ความเร็วรอบ เพื่อหาค่ากำลังการผลิตและประสิทธิภาพของเครื่อง โดยมีผลการทดลอง ดังนี้ที่ความเร็วรอบ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย ให้กำลังการผลิตที่ 18.48 , 20.44 , 25.97 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับและ ที่ความเร็วรอบ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยมีประสิทธิภาพ 79 , 81 และ 83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Thesis Title Design and development of pellet fertilizer prototype
compressing machine

Authors Komsak Sittiworakant 56010127
Nattapon Boonchucherd 56010414
Uthen Kaewwichian 56011471

Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Teerapong PolPho
Asst. Prof. Dr. Prasan Choompjaihan

Year 2016

Abstract

This project had the objective for the study and design of pellet fertilizer prototype compressing machine with a motor at 3 horsepower. The prototype has important components for example a ring die, roller, the transmission, and fertilizer. The principle of working is putting fertilizer into the machine at the required round speed. After that, fertilizer will be compressed by the transmission what will send the power to rotate at ring die in order to compress fertilizer to become pellet fertilizer that it is sent out from the hole. All experiments have 3 different round speeds in order to find the manufacturing capacity and the efficiency of the machine. These experiments have round speed at 750, 850 and 950 rpm. The machine product manufacturing capacities at 18.48, 20.44 and 25.97 kg/hr, and round speed at 750, 850 and 950 rpm. The machine has efficiencies at 79, 81 and 83 percent respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมถึงผู้ให้ความช่วยเหลือทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ การตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ ทุกขั้นตอนทั้งในเรื่อง การออกแบบ การนำเสนอ การทดสอบเครื่อง รวมถึงการจัดทำรูปเล่ม เพื่อให้การเขียนปริญญาบัตรฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและชมรมยานยนต์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ยืมเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้และต้องขอขอบพระคุณบริษัทพาร์ทริช พีริซิชั่น จำกัด ที่สนับสนุนในการขึ้นรูปชิ้นงาน

สุดท้ายนี้ต้องกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่เป็นผู้ที่อยู่ทั้งเบื้องหน้าและเบื้องหลังของความสำเร็จในครั้งนี้ ก็คือ บิดา มารดา ตลอดจนญาติผู้ใหญ่ อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดู ให้คำแนะนำ และ ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่รวมทั้งยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ ขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญภาพ | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 หลักการทำงานเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 4 |
| 2.1.1 แบบปั้นเม็ด | 4 |
| 2.1.2 แบบอัดเม็ด | 6 |
| 2.2 การออกแบบเพลลา | 8 |
| 2.2.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบเพลลา | 8 |
| 2.2.2 การหาขนาดของเพลลาชนิดอยู่นิ่ง | 8 |
| 2.2.3 การหาขนาดของเพลลา | 10 |
| 2.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า | 10 |
| 2.4 การเลือกใช้โซ่ส่งกำลัง | 11 |
| 2.5 การเลือกใช้แบริ่ง | 14 |
| 2.6 การหาความชื้นของวัสดุเกษตรและอาหาร | 15 |
| 2.7 การหาแรงที่ใช้ในการอัดปุ๋ย โดยเครื่อง Texture profile analysis | 16 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 หลักการออกแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 18 |
| 3.1 โครงสร้างเครื่อง | 18 |
| 3.2 แป้นอัด | 19 |
| 3.3 ชุดลูกกลิ้งอัด | 20 |
| 3.4 ชุดส่งกำลังและอัตราทด | 21 |
| 3.5 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง | 22 |
| 3.5.1 คำนวณหาอัตราทดกำลังของมอเตอร์ | 22 |
| 3.5.2 คำนวณค่านวมหาแรงบิด | 23 |
| 3.5.3 คำนวณหากำลังของมอเตอร์ที่ใช้จริง | 24 |
| 3.5.4 คำนวณหาความชื้นปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง | 25 |
| 3.5.5 คำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ย | 26 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 27 |
| 4.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 27 |
| 4.2 ขั้นตอนการทดสอบ | 27 |
| 4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 27 |
| 4.2.2 วิธีการทดสอบ | 31 |
| 4.3 ผลการทดลองและอภิปราย | 31 |
| 4.3.1 การทดลองหาความสามารถของเครื่องในการอัดปุ๋ย | 31 |
| 4.3.2 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องในการอัดปุ๋ย | 32 |
| 4.3.3 การทดลองความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ย | 35 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 36 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 36 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 36 |
| บรรณานุกรม | 37 |
| ภาคผนวก ก | 38 |
| ภาคผนวก ข | 44 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน | 2 |
| 3.1 ตารางแสดงผลการคำนวณความชื้นของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง | 26 |
| ก-1 ตารางมาตรฐานโซ้ British Standard (BS) | 38 |
| ก-2 เวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ย 10 กิโลกรัม ในแต่ละความเร็วรอบ | 39 |
| ก-3 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที | 39 |
| ก-4 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 850 รอบต่อนาที | 40 |
| ก-5 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที | 40 |
| ก-6 แสดงความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที | 41 |
| ก-7 แสดงความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 850 รอบต่อนาที | 42 |
| ก-8 แสดงความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที | 43 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|--|----|
| 2.1 | งานปั้นเม็ดยุ้ย | 5 |
| 2.2 | เม็ดยุ้ยที่ได้จากการปั้น | 5 |
| 2.3 | เครื่องอัดปุ๋ยแบบบดเนื้อ | 6 |
| 2.4 | เม็ดยุ้ยที่ได้จากการอัด | 6 |
| 2.5 | เครื่องอัดปุ๋ยแบบวงแหวน | 7 |
| 2.6 | แสดงหลักการทำงานของเครื่อง | 7 |
| 2.7 | ความเค้นที่เกิดในแนวแกน | 8 |
| 2.8 | การเกิดความเค้นดัดบนเพลลา | 9 |
| 2.9 | ความเค้นเฉือนที่เกิดบนเพลลา | 9 |
| 2.10 | แสดงภาพโซ่ลูกกลิ้งแบบชุดหลายเส้น | 11 |
| 2.11 | แสดงภาพโซ่ฟันขณะจับลงในล้อโซ่ | 12 |
| 2.12 | แสดงขนาดรูปร่างของล้อโซ่และขนาดโซ่ | 13 |
| 2.13 | แบร์ริงลูกกลิ้งกลม | 14 |
| 2.14 | กราฟแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง | 16 |
| 2.15 | กราฟแรงกับเวลาของผลการทดสอบ | 16 |
| 2.16 | กราฟแสดงแรงกับเวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ย | 17 |
| 2.17 | ทดสอบการอัดปุ๋ย | 17 |
| 3.1 | โครงสร้างเครื่อง | 18 |
| 3.2 | แสดงภาพด้านหน้าของแป้นอัด | 19 |
| 3.3 | แสดงภาพด้านข้างของแป้นอัด | 19 |
| 3.4 | แสดงภาพของแป้นอัดมุมมอง Isometric | 19 |
| 3.5 | แสดงภาพรูปที่เจาะเป็นเตเปอร์ | 19 |
| 3.6 | แสดงภาพด้านหน้าของชุดลูกกลิ้ง | 20 |
| 3.7 | แสดงภาพด้านข้างของชุดลูกกลิ้ง | 20 |
| 3.8 | แสดงภาพด้านข้างของชุดลูกกลิ้ง | 21 |
| 3.9 | แสดงภาพชุดส่งกำลังส่งกำลังไปยังแป้นอัด | 21 |
| 3.10 | แสดงอัตราการผลิตกำลัง | 22 |
| 3.11 | แสดงผลการทดสอบการกดปุ๋ยจากเครื่อง Texture analysis | 24 |
| 4.1 | ภาพปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ | 27 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|--|----|
| 4.2 | เครื่องชั่งน้ำหนัก | 28 |
| 4.3 | นาฬิกาจับเวลา | 28 |
| 4.4 | อินเวอร์เตอร์ | 28 |
| 4.5 | เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 29 |
| 4.6 | เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ | 29 |
| 4.7 | เวอร์เนียคาลิปเปอร์ | 30 |
| 4.8 | เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ | 30 |
| 4.9 | มอเตอร์ | 30 |
| 4.10 | แสดงเวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ยกับความเร็วรอบของมอเตอร์ | 32 |
| 4.11 | แสดงน้ำหนักปุ๋ยที่อัดออกมาที่ความเร็ว 750 รอบต่อนาที | 33 |
| 4.12 | แสดงน้ำหนักปุ๋ยที่อัดออกมาที่ความเร็ว 850 รอบต่อนาที | 34 |
| 4.13 | แสดงน้ำหนักปุ๋ยที่อัดออกมาที่ความเร็ว 950 รอบต่อนาที | 34 |
| 4.14 | แสดงค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแต่ละความเร็วรอบ | 35 |
| ข-1 | ภาพแสดงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 44 |
| ข-2 | ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 44 |
| ข-3 | ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 45 |
| ข-4 | ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย | 45 |
| ข-5 | ภาพแสดงแป้นอัดเม็ดปุ๋ย | 46 |
| ข-6 | ภาพแสดงขนาดของแป้นอัดเม็ดปุ๋ย | 46 |
| ข-7 | ภาพแสดงขนาดของแป้นอัดเม็ดปุ๋ย | 47 |
| ข-8 | ภาพแสดงลูกกลิ้งอัดปุ๋ย | 47 |
| ข-9 | ภาพแสดงขนาดของลูกกลิ้ง | 48 |
| ข-10 | ภาพแสดงขนาดของลูกกลิ้ง | 48 |
| ข-11 | ภาพแสดงชุดส่งกำลัง | 49 |
| ข-12 | ภาพแสดงขนาดของชุดส่งกำลัง | 49 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่เต็มไปด้วยพื้นที่เพาะปลูกมากมายทำให้ภาคการเกษตรนั้นมีบทบาทความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรและการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยประเภทของเกษตรกรรมที่นิยมเพาะปลูกกันมากได้แก่ นาข้าว พืชไร่ สวนผัก และ สวนผลไม้ เป็นต้น และซึ่งการจะทำการเกษตรที่กล่าวมาข้างต้นให้ได้ผลผลิตที่ดีและมีปริมาณที่มากนั้นจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเช่นกันซึ่งในอดีตปุ๋ยที่เกษตรกรส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นปุ๋ยเคมีซึ่งมีราคาแพงและส่งผลกระทบต่อดินเมื่อใช้เป็นระยะเวลาอันยาวนานทำให้ปัจจุบันเกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้นเพราะว่าราคาถูกและไม่ส่งผลกระทบต่อดินรวมทั้งปัจจุบันยังสามารถนำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้ได้ง่ายยิ่งขึ้นกว่าเมื่อก่อนมากเพราะได้มีการคิดค้นเครื่องมือทางการเกษตรขึ้นเป็นจำนวนมาก ที่มา สำนักสำรวจดิน [1]

ปัจจุบันภาคการเกษตรของไทยได้นำเครื่องจักรเข้ามาใช้งานมากขึ้นเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและลดต้นทุนในด้านแรงงานคนซึ่งการนำเครื่องจักรเข้ามามีบทบาทในภาคการเกษตรทำให้ภาคการเกษตรของไทยได้มีการยกระดับขีดความสามารถในการผลิตให้ดียิ่งขึ้นและจากการที่เครื่องจักรกลทางการเกษตรเข้ามามีบทบาททางการเกษตรมากขึ้นและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปีจึงทำให้เกิดการคิดค้นออกแบบและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็น เครื่องเตรียมดิน เครื่องปลูก เครื่องเก็บเกี่ยว เป็นต้นเพื่อที่เกษตรกรจะได้มีเครื่องจักรกลเกษตรที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพไว้ใช้งาน

ดังนั้นทางกลุ่มโครงการจึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและยังเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตปุ๋ยเม็ดให้ได้จำนวนต่อวันมากขึ้นอีกด้วยรวมถึงเพื่อลดต้นทุนในด้านแรงงานคนรวมถึงยังช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรลงเพื่อไม่ให้ดินที่ใช้ในการเกษตรเสื่อมคุณภาพจากการใช้ปุ๋ยเคมี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

1.2.2 เพื่อทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ปู่ที่ใช้เป็นปู่อินทรีย์
- 1.3.2 อัตราการป้อนของปู่
- 1.3.3 ความชื้นของปู่ 11.42 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการทำโครงการนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอัดเม็ดปู่เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอัดเม็ดปู่จากนั้นทำการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับระบบกลไกในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปู่แบบต่างๆหลังจากทำการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและระบบกลไกในการทำงานเชิงลึกแล้วจึงทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆของการสร้างเครื่องอัดเม็ดปู่เพื่อนำทฤษฎีนั้นมารองรับในการออกแบบสร้างเครื่องอัดเม็ดปู่

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

| ขั้นตอนดำเนินงาน | ปี/เดือน | | | | | | | |
|---|-----------|------|------|------|----------|------|------|-------|
| | พ.ศ. 2559 | | | | พ.ศ.2560 | | | |
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1.ศึกษาข้อมูลการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปู่แบบต่างๆ | ←→ | | | | | | | |
| 2.ออกแบบและสร้างเครื่องอัดปู่ | | ←→ | | | | | | |
| 3.ทดสอบความสามารถของเครื่องอัดเม็ดปู่และแก้ไข | | | | ←→ | | | | |
| 4.ทดลองและเก็บข้อมูล | | | | ←→ | | | | |
| 5.วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง | | | | | | ←→ | | |
| 6.เขียนรูปเล่มรายงาน | | | | | | | ←→ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องอัดปุ๋ยแบบเม็ดที่มีกำลังผลิตต่อชั่วโมงสูง
- 1.5.2 เม็ดปุ๋ยที่ผลิตได้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน
- 1.5.3 ลดค่าใช้จ่ายให้กับเกษตรกร



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษา Design and development of pellet fertilizer prototyping machine นั้นมีลักษณะที่คล้ายกับเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบ Ring Die Pellet Mill แต่จะแตกต่างกันที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมุนเพื่ออัดปุ๋ยนั้นซึ่งได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง, วิธีการขึ้นรูปเม็ดปุ๋ย, หลักการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยและเอกสารที่เกี่ยวข้องไว้แล้ว

2.1 หลักการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

จากการศึกษาการขึ้นรูปเม็ดปุ๋ยโดยใช้เครื่องจักรสามารถแบ่งออกมาได้ 2 แบบดังนี้

2.1.1 แบบปั้นเม็ด

หลักการปั้นเม็ดปุ๋ยด้วยงานจะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกที่ดึงดูดวัตถุที่มีมวลหรือน้ำหนักให้วิ่งเข้าหาศูนย์กลางของโลกหรือกล่าวง่าย ๆ ได้ว่า ล่วงจากบนลงล่าง ดังนั้นหากเราปล่อยผงปุ๋ยจากส่วนบนของจานปั้นเม็ด ผงปุ๋ยก็จะร่วงหรือลิ่งลงมาตามผิวของจานปั้นในระหว่างที่ผงปุ๋ยลิ่งลงมาหากผงปุ๋ย มีความชื้นที่เหมาะสม ผงปุ๋ยจะค่อยๆ เกาะตัวกัน เป็นก้อนค่อยๆ โตขึ้น จนเป็นเม็ดปุ๋ยและเพื่อให้เกิดเป็นขบวนการปั้นเม็ดปุ๋ยต่อเนื่องจึงใช้วิธีหมุนจานและปล่อย ผงปุ๋ยลงบนผิวจาน ขณะที่จานกำลังหมุนผงปุ๋ยก็จะลิ่งบนผิวจานระหว่างนั้นจะสเปรย์น้ำลงไปทั่วๆจนผงปุ๋ยได้ความชื้น และเริ่มเกาะตัวเป็นเม็ด โดยแสดงดังรูปที่ 2.1 จุดที่น้ำลิ่งเกิดจานจะแบ่งพื้นที่เป็น 2 วง ผงปุ๋ยจะถูกโปรยลงวงในและจะ สเปรย์น้ำในวงในนี้ด้วย ดังนั้นการก่อตัวเกิดเม็ดปุ๋ยจะเกิดขึ้นที่วงด้านในนี้ ส่วนพื้นที่วงนอก จะถูกใช้สำหรับเก็บงานปั้นผิวเม็ดปุ๋ยให้กลมเนียน โดยจะใช้แรงงานคนที่ถือพลั่วตัก คอยตักเม็ดปุ๋ยที่ดูว่าได้ขนาดที่เหมาะสมออกจากวงด้านในแล้วเทเม็ดปุ๋ยนั้นลงที่วงนอกของจานเพื่อให้เม็ดปุ๋ยนั้นลิ่งบนผิวจาน จึงทำให้เม็ดปุ๋ยกลมเนียนดังรูปที่ 2.2 และเมื่อเห็นว่าเม็ดปุ๋ยสวยงามดีแล้ว จะใช้แรงงานคนอีกครั้ง เพื่อตักเม็ดปุ๋ยออกจากจานจึงเสร็จขบวนการปั้นเม็ดปุ๋ย หรือหากไม่ใช้แรงงานคนตักออก ก็จะใช้วิธีปล่อย ให้เม็ดปุ๋ยล้นขอบจานด้านล่างและร่วงออกจากจานเอง ที่มา เครื่องปั้นเม็ดปุ๋ย [2]

ข้อดีของระบบงานปั้นเม็ด

1.เม็ดปุ๋ยกลมเนียน

ข้อเสียของระบบงานปั้นเม็ด

1.การเกิดเป็นเม็ดปุ๋ย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่

1.1 ผงปุ๋ยที่จะนำมาปั้นด้วยระบบงานจะต้องมีความละเอียด จึงจะสามารถเกาะตัวกันได้ดี หากใหญ่หรือหยาบการกลิ้งตัวจะเกิดขึ้นยาก จึงเป็นเม็ดได้ยาก

1.2 ปุ๋ยจะต้องมีน้ำหนักที่ดี ทั้งนี้เพราะการปั้นด้วยงานจะอาศัยแรงดึงดูดของโลกหากปุ๋ยมีมวลหรือน้ำหนักน้อย จะไม่เกิดการกลิ้งตัว อาจเป็นเพียงสไลด์ไปบนผิวงาน

1.3 ความชื้นที่สเปรย์ให้กับผงปุ๋ยจะต้องสม่ำเสมอและทั่วถึง ต้องไม่เปียกและเฉพาะที่ นอกจากนั้นจะมีช่วงความพอเหมาะอยู่ช่วงเดียวเท่านั้น จึงเป็นการยากอย่างยิ่งสำหรับ มือใหม่

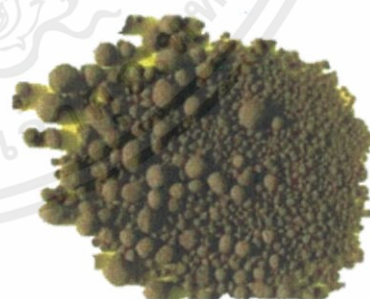
1.4 การตั้งมุมเอียงของงานปั้น เอียงมาก หรือน้อย ไม่มีมาตรฐานกำหนดวัด ผู้ที่จะบอกได้ว่าจะให้เอียงมากหรือน้อยคือคนที่ถือพลั่วตักดินหรือ คนที่จับหัวฉีดสเปรย์น้ำเท่านั้น ความลาดเอียงของงานยังขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของการหมุนของงานอีกด้วย

สรุป ถ้าจะปั้นปุ๋ยอินทรีย์ให้ได้ค่า ความเป็นอินทรีย์ ตามมาตรฐานเป็นไปได้ยาก

2.ควบคุมขนาดเม็ดปุ๋ยได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดเม็ดเกิดจากการกลิ้งตัวของผงปุ๋ย ยิ่งกลิ้งมาก เม็ดก็จะยิ่งโต ดังนั้นความแตกต่างของขนาดเม็ดปุ๋ยย่อมเกิดขึ้นอย่างแน่นอนด้วยเหตุผลคือ ปุ๋ยที่อยู่ห่างจุดศูนย์กลางมากเท่าใดเม็ดก็จะโตกว่าปุ๋ยที่อยู่กลางงานเพราะระยะทางกลิ้งที่ขอบงาน ย่อมมากกว่าที่ศูนย์กลางของงาน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 งานปั้นเม็ดปุ๋ย



รูปที่ 2.2 เม็ดปุ๋ยที่ได้จากการปั้น

2.1.2 แบบอัดเม็ด

1. แบบเครื่องบดเนื้อสัตว์ (MINCER)

หลักการทำงานเมื่อเตี้ยหมูที่มีลักษณะเป็นเกลียวหมุนอยู่ในกระบอกสี่เหลี่ยมจะถูกลีวตันส่งออกไปทางรูหน้าแปลนทำให้ผงปุ๋ยถูกอัดแน่น และไหลผ่านรูที่หน้าแปลนเป็นเส้นดังรูปที่ 2.3 ปุ๋ยที่ถูกอัดออกมาจะถูกนำไปตากแห้งและจะหักเป็นท่อนๆดังรูป2.4

ข้อดีของเครื่องอัดแบบบดเนื้อสัตว์

1. ผงปุ๋ยกากใหญ่ ๆ สามารถอัดเป็นเม็ดได้

ข้อเสียของเครื่องอัดแบบบดเนื้อสัตว์

1. เม็ดปุ๋ยเป็นท่อนๆคล้ายอาหารสัตว์
2. เม็ดปุ๋ยแห้ง แข็งมาก เป็นท่อนๆ ละลายน้ำยาก ใส่เครื่องพ่นปุ๋ยไม่ได้
3. แรงอัดสูง ดังนั้นเครื่องที่จะได้ผลดี จะต้องใช้มอเตอร์กำลังสูงมากๆ
4. การสึกหรอที่แกนเกลียวเตี้ยหมูสูง ลูกปืนแกนเกลียวเสียหายเป็นประจำ
5. หน้าแปลนสึกเร็ว ต้องเปลี่ยนหน้าแปลนบ่อย
6. อัตราการผลิตต่ำมากไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดปุ๋ยแบบบดเนื้อ



รูปที่ 2.4 เม็ดปุ๋ยที่ได้จากการอัด

2. แบบแป้นอัดแบน (Flat die pellet mill)

หลักการการทำงาน เมื่อเริ่มต้นการทำงานวัสดุจะถูกป้อนเข้าสู่ถังสำหรับใส่ปุ๋ย ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกรวมวัสดุจะตกลงมาอยู่ที่แผ่นแป้นอัด ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนวัสดุจะถูกอัดผ่านรูออกมาและจะถูกใบมีดที่ติดตั้งไว้ตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะถูกปล่อยให้ตกลงมาด้านล่าง เครื่องอัดเม็ดแบบแป้นอัดแบนจะให้อัตราการผลิตที่ต่ำเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือน

3. แบบแป้นอัดวงแหวน (Ring Die Pellet Mill)

หลักการการทำงานดังรูป 2.6 เมื่อเริ่มการทำงานวัสดุจะถูกลำเลียงโดยเกลียวลำเลียงมายังห้องอัดเม็ด โดยแป้นอัดวงแหวนจะทำงานในแนวตั้ง แป้นอัดวงแหวนจะถูกหมุนวัสดุที่อยู่ในห้องอัดจะถูกอัดโดยลูกกลิ้งและอัดออกมาด้านข้างตามรูของแป้นอัดดังรูป 2.5 จากนั้นจะถูกตัดด้วยใบมีดที่ติดตั้งไว้กับเครื่อง ทำให้ขนาดของเม็ดใกล้เคียงกัน

ข้อดีของเครื่องอัดแบบวงแหวน

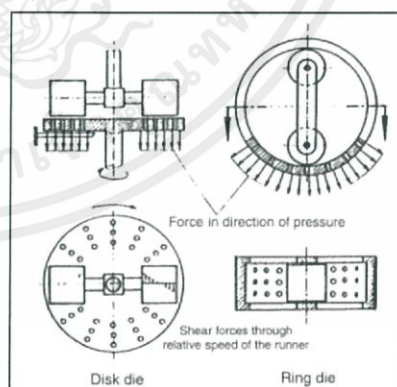
1. ผงปุ๋ยกากใหญ่ ๆ สามารถอัดเป็นเม็ดได้

ข้อเสียของเครื่องอัดแบบวงแหวน

1. เม็ดปุ๋ยแข็ง แข็งมาก เป็นท่อนๆ ละลายนํ้ายาก ใส่เครื่องพ่นปุ๋ยไม่ได้
2. การสึกหรอของลูกกลิ้งและกระบอกเสียหายง่าย
3. อุปกรณ์แยกชิ้นเป็นตัวๆ ไม่มีขบวนการที่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.5 เครื่องอัดปุ๋ยแบบวงแหวน



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการการทำงานของเครื่อง

2.2 การออกแบบเพลลา

2.2.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การออกแบบเพลลา มีจุดประสงค์หลักคือ ต้องการออกแบบให้ได้ขนาดของเพลลาที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยมีขนาดไม่โตหรือเล็กเกินไปและสามารถรับภาระต่างๆ ได้อย่างปลอดภัยข้อพิจารณาในการออกแบบเพลลา มีดังนี้

- 1) ความทนทานต่อการบิด
- 2) ความทนทานต่อการแอ่นงอ
- 3) ความเร็วรอบใช้งานที่เหมาะสม (เทียบกับความเร็วรอบวิกฤต)
- 4) ความสามารถด้านความแข็งแรงของวัสดุที่นำมาทำเพลลาส่งกำลัง

2.2.2 การหาขนาดของเพลลาชนิดอยู่นิ่ง

เพลลาชนิดอยู่นิ่ง เป็นเพลลาที่ใช้ในการรองรับการหมุนหรือรองรับการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนต่างๆ ที่นำมาประกอบอยู่บนเพลลา เช่น เพลลาของล้อชนิดต่างๆ ที่ล้อหมุนไปบนเพลลาที่มาจรัสชัย [3]

1) ความเค้นตามแนวแกนแสดงดังรูปที่ 2.7 คือชิ้นงานอยู่ภายใต้การดัด (Bending) พร้อมกับ แรงดึงและแรงอัดตามแนวแกนเสมอ แรงดึงหรือแรงอัดจะทำให้เกิดความเค้นตามแนวแกน (Direct Stress) ซึ่งเป็น ความเค้นดึงหรือความเค้นอัดในทิศทางตามความยาวของแกน



รูปที่ 2.7 ความเค้นที่เกิดในแนวแกน

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาตามหลักเกณฑ์ของ ASME – Code

เพลลาตัน

$$\text{สูตร } \sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi D^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ

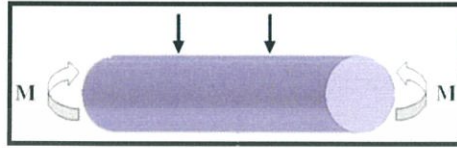
σ_a = ความเค้นตามแนวแกน (N/m²)

α = ตัวประกอบของการแอ่นงอ (rad)

F = แรงกดตามแนวแกน (N/m²)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของเพลลา (m)

2) ความเค้น (Bending Moment) ก็จะทำให้เกิดความเค้นดึงหรือความเค้นอัดในทิศทางตามความยาวของคานเช่นเดียวกัน ดังนั้นความเค้นที่เกิดจากแรงตามแนวแกน และความเค้นดัดนี้รวมกันได้โดยตรงเลย เนื่องจากกระทำในแนวเดียวกันแสดงดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดความเค้นดัดบนเพลลา

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาตามหลักเกณฑ์ของ ASME – Code

เพลลาตัน สูตร $\sigma_b = \frac{32BM}{\pi D^3}$ (2.2)

เมื่อ σ_b = ความเค้นดัด (N/m^2)
 BM = โมเมนต์ดัด (Nm)
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา (m)

3) ความเค้นเฉือนหรือความเค้นบิดเป็นความเค้นที่เกิดจากแรงภายใน กระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่หน้าตัด โดยตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัดนั้นจะมีความเค้นแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความเค้นเฉือนที่เกิดบนเพลลา

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาตามหลักเกณฑ์ของ ASME – Code

เพลลาตัน สูตร $\tau = \frac{16T}{\pi D^3}$ (2.3)

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือนหรือความเค้นบิด (N/m^2)
 T = โมเมนต์บิด (Nm)
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา (m)

2.2.3 การหาขนาดของเพลลา

ชนิดหมุนได้ เมื่อชิ้นส่วนได้รับแรงกระทำและเกิดการหมุนไปพร้อม กัน จะทำให้ชิ้นส่วนได้รับความเค้น ผสม ระหว่างความเค้นดัด อันเนื่องมาจากแรงกระทำและความเค้นบิดอันเนื่องมาจากแรงหมุนของ ชิ้นส่วน ดังนั้นการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาต้องคำนึงถึงทั้งความเค้นดัดและความเค้นเฉือนที่วัสดุเพลลาสามารถทนทานได้ แสดงดังสูตรที่ 2.4

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \sqrt{(C_t T)^2 + (C_m M)^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ

d^3 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา (m)

τ = ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลลา (N/m^2)

T = แรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเพลลา (Nm)

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด (ตัวแปรไร้มิติ)

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ตัวแปรไร้มิติ)

2.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

ใช้หาขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ในโครงการซึ่งสามารถหาค่ากำลังที่ต้องการได้จากสมการที่ 2.5 ดังนี้ ทีมา ชูชาติ [4]

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (2.5)$$

$$T = Fr \quad (2.6)$$

โดยที่

P = กำลังมอเตอร์ (Watt)

T = แรงบิด (Nm)

n = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

โดยที่

r = รัศมีของวัสดุที่ใช้ในการดัด (m)

F = แรงดัด(N)

2.4 การเลือกใช้โซ่ส่งกำลัง

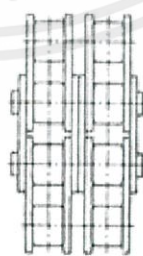
โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิด (หมุน) สูงมากโดยที่ให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้ เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและ ที่รอง เพลาจะรับภาระน้อยมาก ไม่มีการให้สิ้นไกลในขณะส่งกำลัง ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น (Sliding Friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังจะมีใช้งานในที่รับภาระตึงมาก ๆ ในที่รับ อุณหภูมิสูง , โรงงานเคมี, ใต้น้ำมัน, ความชื้น เป็น ที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ที่มา ทรงชัย [5]

ชนิดของโซ่

ตามประเภทการใช้งานของโซ่ จะนาโซ่มาใช้ส่งกำลัง , ลาเสียง, โซ่ขับ, โซ่ยกและส่งน้ำหนักลงข้างล่าง ส่งถ่ายแรงและโมเมนต์บิด โซ่จึง แบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

1. โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุช

โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุชจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้าง โซ่ด้านนอกและด้านในที่ ยึดด้วยบุชและโบลต์ เข้าด้วยกันแสดงดังรูป 2.10 โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้ งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็งร้อย (หมุนได้) อยู่ในบุช ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอของด้านข้างของเฟืองโซ่ในขณะที่ลื้อเฟืองขับ โซ่ และมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานให้รับโมเมนต์หมุนมาก ๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้งและ โซ่บุชแบบชุดหลายเส้น โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที (m/s) ในการส่งกำลัง ใน รถยนต์ในเครื่องมือกลและโซ่ลาเสียง โดยปกติโซ่บุชจะทนการสึกหรอมากกว่าโซ่โบลต์ บุชจะหมุนได้ ส่วนโบลต์จะยึดแน่นกับแผ่นปิดนอก



โซ่ลูกกลิ้ง แบบ 2 เส้น

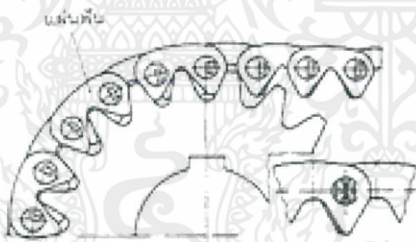
รูปที่ 2.10 แสดงภาพโซ่ลูกกลิ้งแบบชุดหลายเส้น

2. โซโบลต์

จะมีรูปร่างของแผ่นปิดข้างทั้งโซ่ด้านในและด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างโซ่หลายแผ่นติดกัน จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงที่โซ่ต้องรับ เมื่อ เปรียบเทียบกับโซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูซแล้ว โซโบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างโซ่ มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนาโซโบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำ

3. โซ่ฟัน

จะมีรูปร่างฟันแต่ละข้อชัดเจน ฟันของโซ่จะจับลงในร่องฟันของล้อโซ่พอดี โซ่ฟันที่ใช้ งานรับกำลังงานสูง ๆ แผ่นฟันที่ข้อต่อจะไม่ยึดด้วยโบลต์แสดงดังรูป 2.11 แต่จะยึดด้วยข้อต่อลูกกลิ้งที่มีความเสียดทาน น้อยและทนต่อการสึกหรอได้ดี โซ่ฟันใช้รับกำลังงานได้สูง และเกือบจะไม่มีเสียงดังในขณะที่มีความเร็วโซ่ถึง 40 เมตรต่อวินาที (m/s)



รูปที่ 2.11 แสดงภาพโซ่ฟันขณะจับลงในล้อโซ่

สำหรับล้อโซ่ที่ใช้กับโซ่ฟันจะต้องมีจำนวนฟันอย่างน้อยที่สุด 17 ฟัน มิฉะนั้นจะเกิดสัดส่วน การจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขึ้นได้ และถ้าใช้งานรับภาระกระแทก แล้วโซ่ฟันจะยึดและมีผลให้เกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสมอีกเช่นกัน โซ่จะเกิดการสึกหรอรวดเร็ว หากล้อโซ่มี จำนวนฟันต่ำกว่า 12 ฟัน

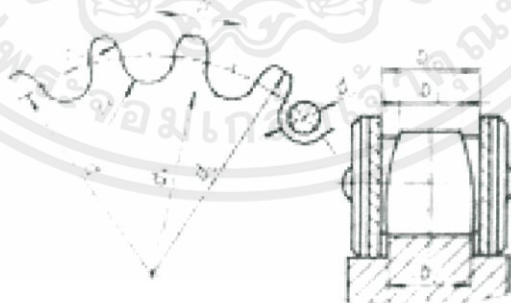
โซ่ลำเลียง ตามมาตรฐาน DIN 8165, 8175 และ DIN 8176 แสดงดังตารางภาคผนวก ก เป็นโซ่แบบข้อต่อชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ นาวาขึ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยจะ ออกแบบ รูปร่างแผ่นปิดด้านข้างให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เพื่อให้ สามารถนาวาผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างที่ต้องการได้ โซ่ลำเลียงส่วนใหญ่จะนำมาใช้งานให้รับภาระไม่มาก นึกและมีความเร็วโซ่ต่ำ

ข้อดี : สามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อโซ่ให้มีขนาดเล็กมาก ๆ และยังเดินได้เงียบอีกด้วย

ข้อเสีย : จะเกิดการยืดตัวยาวออกหากใช้งานรับภาระมากเกินไป ซึ่งจะทำให้โซ่จับฟันล้อโซ่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถ ให้เบนไปด้านข้างได้น้อย ด้วยเหตุนี้ล้อโซ่จะต้องประกอบให้ได้ตำแหน่งที่เที่ยงตรงกับแนววิ่งของโซ่ มิฉะนั้นจะเกิดการสึกหรอของโซ่สูง

โซ่ห่วงกลม แบ่งตามมาตรฐานได้เป็นโซ่ชนิดสั้น (DIN 766) ชนิดกึ่งยาว (DIN 764) และชนิดยาว (DIN 762) แสดงดังตารางภาคผนวก ก มักนำมาใช้งาน เป็น โซ่รับภาระลำเลียงแบบต่อเนื่องในงานเหมืองแร่และงานสร้าง รถยนต์ โซ่เหล่านี้ทำจากเหล็กกล้า ที่ปลายห่วงโซ่แต่ละห่วงจะนิยมเชื่อมต่อกันด้วยไฟฟ้าแสดงดังรูป 2.11

ล้อโซ่ (Sprockets) ตามปกติล้อโซ่จะทำจากเหล็กหล่อ, เหล็กกล้าหล่อ หรือเหล็กกล้า



รูปที่ 2.12 แสดงขนาดรูปร่างของล้อโซ่และขนาดโซ่

2.5 การเลือกใช้แบริ่ง

โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling bearings) หมายถึง แบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้ กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบริ่ง (Antifriction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (Ball bearing) แสดงดังรูป 2.13 หรือตลับลูกปืน ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วย ลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่งที่มา บรรจงศรี [6]



รูปที่ 2.13 แบริ่งลูกกลิ้งกลม

โดยทั่วไปแล้วแบริ่งจะแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ คือ บอลแบริ่งซึ่งมีลูกกลิ้ง (Rolling) เป็นรูปทรงกลม และโรลเลอร์แบริ่ง (Roller bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (Straight roller) หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียว (Tapered roller) ก็ได้โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้จะรับ แรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมี และแรงรุนได้ ยกเว้นโรลเลอร์แบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบริ่งทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่างๆ แบริ่งลูกกลิ้งกลมทั่วไปมักจะต้องรับแรงในแนวรัศมี และแรงในแนวแกนไปพร้อมๆ กันความสามารถในการรับแรงที่ดูจากแคตตาล็อกมักจะบอก ความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมี

2.6 การหาความชื้นของวัสดุเกษตรและอาหาร

การหาความชื้น ของวัสดุเกษตรและอาหารแบ่งได้ออกเป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลชื้นของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.7

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \quad (2.7)$$

เมื่อ $\%MC_{wb}$ คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก M_w คือมวลของน้ำในอาหาร และ M_s คือมวลแห้งของอาหาร

ในทางตรงกันข้าม เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลแห้งของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.8

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (2.8)$$

ทั้งนี้เราสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้งได้ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10

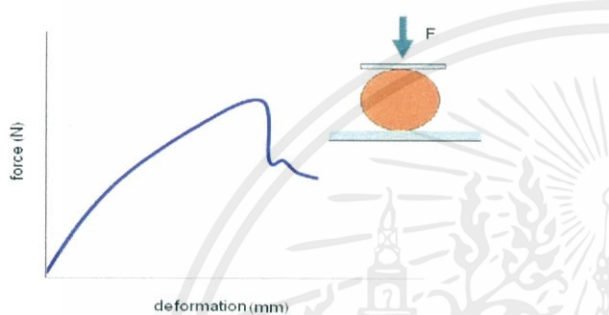
$$\%MC_{wb} = \frac{\%MC_{db}}{100 + \%MC_{db}} \times 100 \quad (2.9)$$

$$\%MC_{db} = \frac{\%MC_{wb}}{100 - \%MC_{wb}} \times 100 \quad (2.10)$$

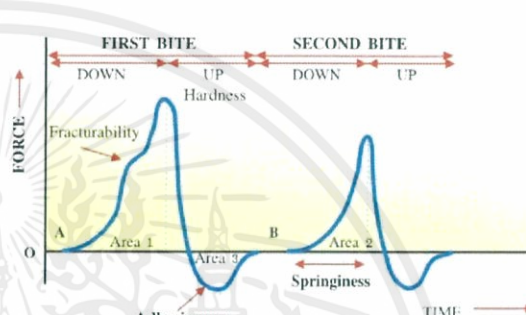
แนวโน้มในการใช้ความชื้นมาตรฐานเพื่อการอ้างอิงในงานวิจัย มักจะใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งมากกว่ามาตรฐานเปียก เนื่องจากการอ้างอิงโดยใช้มาตรฐานเปียกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากมีมวลชื้นของวัสดุ ($M_w + M_s$) เข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณ อย่างไรก็ตามในการอ้างอิงทั่วไปการใช้ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกน่าจะสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย กว่าความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นของอาหารสามารถหาได้ 2 วิธีคือ วิธทางตรงและวิธีทางอ้อม วิธีทางตรงนั้นจะใช้คู่อุปในการหาความชื้นอาจเป็นตูอบไล่ความชื้นธรรมดาหรือเป็นตูอบสุญญากาศก็ได้ ทีมา สมชาติ[7]

2.7 การหาแรงที่ใช้ในการอัดบู่ โดยเครื่อง Texture profile analysis

Texture profile analysis เป็นการทดสอบโดยใช้หัวทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของวัสดุ เป็นการให้แรงกด (compression test) ลงบนตัวอย่างอาหาร ขนาดมาตรฐาน 2 ครั้ง เป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร การทดสอบ ด้วยวิธี texture profile analysis ประยุกต์ใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิดอาหารที่อยู่ในสภาวะที่พร้อมรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัตว์ (meat) และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น แยม ไส้กรอก เนยแข็งฝัก ผลไม้ เต้าหู้ เยลลี่ เพราะคุณภาพที่ได้สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ที่มา Panmanas [8]



รูปที่ 2.14 กราฟแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง



รูปที่ 2.15 กราฟแรงกับเวลาของผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจะได้กราฟระหว่าง แรง (force, N) กับเวลา จากรูปที่ 2.15 หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) จากรูปที่ 2.14 ที่ได้จากการทดสอบ เรียกว่า กราฟ TPA สามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายเนื้อสัมผัสของอาหารได้หลากหลาย ดังนี้

1. Fracturability แรงที่จุดยอดแรกซึ่งทำให้ตัวอย่างหรืออาหารแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 1 (เดิมเรียกว่า brittleness) มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น นิวตัน (N)

2. Hardness แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น นิวตัน (N)

3. Cohesiveness เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1) จากสมการที่ 2.11

$$\text{Cohesiveness} = \text{Area 2} / \text{Area 1} \quad (2.11)$$

4. Gumminess พลังงานที่ทำให้อาหารกึ่งของแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็งน้อย (hardness) แต่พลังงานยึดเกาะกันภายใน (cohesiveness) สูง แตกออกจนสามารถกลืนได้ หาได้จากสมการที่ 2.12

$$\text{Gumminess} = \text{hardness} \times \text{cohesiveness} \quad (2.12)$$

5. Springiness เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก (เดิมเรียกว่า elasticity) ค่านี้สามารถอธิบายได้หลายแบบ ที่นิยมคืออธิบายในรูปของอัตราส่วนของระยะเวลา หรือระยะทางที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดถึงแรงสูงสุดครั้งที่สอง ต่อค่าดังกล่าวของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดครั้งแรก สำหรับการอธิบายแบบดั้งเดิม ค่านี้จะหมายถึงระยะเวลาหรือระยะทางที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองเท่านั้น แต่การอธิบายในลักษณะนี้จะทำให้การเปรียบเทียบสามารถทำได้กับตัวอย่างที่มีความสูงเริ่มต้นเท่ากัน

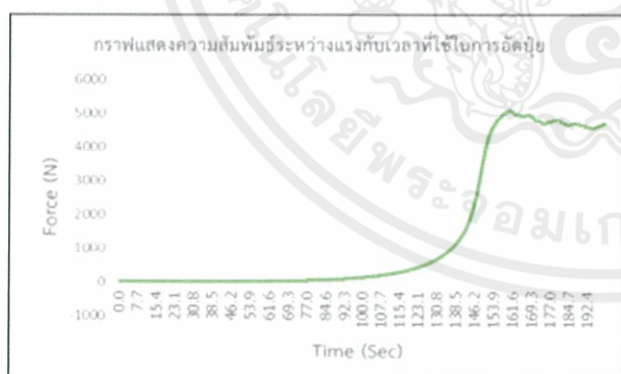
6. Chewiness พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร หาจากสมการ 2.13 และ 2.14

$$\text{Chewiness} = \text{gumminess} \times \text{springiness} \quad (2.13)$$

$$\text{Chewiness} = \text{hardness} \times \text{cohesiveness} \times \text{springiness} \quad (2.14)$$

7. Adhesiveness งานที่จำเป็นในการดึงหัววัด หรือหัวกด หรือฟันออกจากตัวอย่าง หรืออาหาร ในกราฟ TPA คือพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่มีค่าเป็นลบของช่วงการกด หรือการเคี้ยวที่ 1 (Area 3) มีหน่วยเป็นแรงคูณด้วยเวลา เช่น N.s บางทีเรียก stickiness

จากข้อมูลเครื่อง Texture profile analysis ที่กล่าวมาข้างต้นโดยทางกลุ่มโครงการได้ทำการทดสอบการอัดของปุ๋ยแสดงดังรูปที่ 2.17 เพื่อหาแรงที่จะใช้ในการอัด เพื่อที่จะนำเอาค่าของแรงที่ใช้ในการอัดมาคำนวณหาค่าพลังของมอเตอร์ โดยแรงที่ได้จากการอัดปุ๋ยผ่านรูทั้ง 11 รูแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงแรงกับเวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ย



รูปที่ 2.17 ทดสอบการอัดปุ๋ย

บทที่ 3

หลักการออกแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โครงสร้างเครื่อง แป้นอัด ชุดลูกกลิ้งอัด และ ชุดส่งกำลังและอัตราทดกำลังเป็นต้น โดยหลักการทำงานของเครื่องจะทำการอัดปุ๋ยโดย มอเตอร์จะส่งกำลังมาที่ชุดส่งกำลังและจะผ่านอัตราทดเพื่อเพิ่มแรงบิดของชุดส่งกำลัง จากนั้นชุดส่งกำลังก็จะหมุนตามมอเตอร์ส่งผลให้แป้นอัดที่ยึดอยู่กับชุดส่งกำลังก็จะหมุนตาม เมื่อแป้นอัดเกิดการหมุนจะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้ปุ๋ยถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางพาไปและถูกลูกกลิ้งบีบอัด ปุ๋ยที่ถูกอัดจะออกมาตามรูของแป้นอัดและขนาดของเม็ดปุ๋ยจะเท่ากับรูของแป้นอัด

3.1 โครงสร้างเครื่อง

โครงเครื่องทำมาจากเหล็กกล่องขนาด ความกว้าง 52 มิลลิเมตร ความยาวยาว 25 มิลลิเมตร และหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยมีมิติ ความกว้าง 500 มิลลิเมตร ความยาว 500 มิลลิเมตร และ ความสูงของเครื่อง 450 มิลลิเมตร โดยโครงเครื่องมีตัวยึดลูกปืนขนาด 51 มิลลิเมตร 2 ตัว เพื่อเอาไว้ยึดชุดส่งกำลังไว้กับโครงของเครื่อง แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



ก. แสดงภาพด้านข้าง

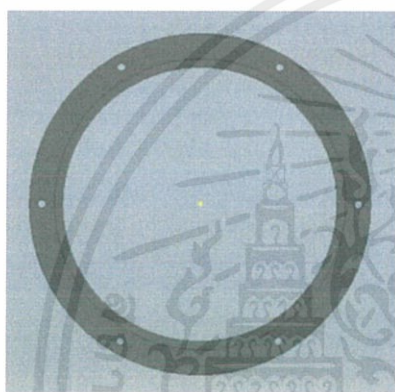


ข. แสดงภาพด้านหน้า

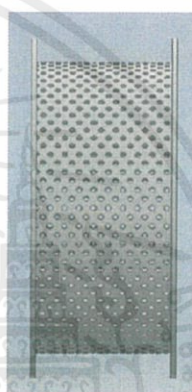
รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่อง ก. แสดงภาพด้านข้าง และ ข. แสดงภาพด้านหน้า

3.2 แป้นอัด (Ring Die)

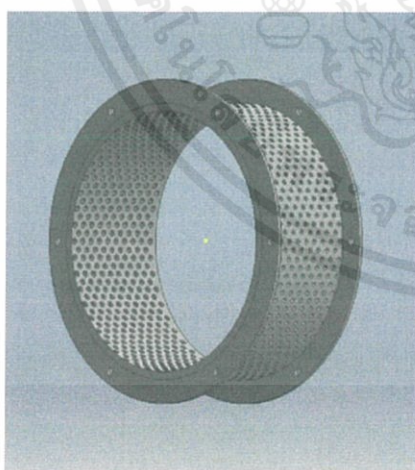
แป้นอัดทำมาจากท่อเหล็กสตีรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ความหนาของท่อเหล็ก 10 มิลลิเมตร และมีความยาว 170 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 950 รู โดยรอบตั้งรูปที่ 3.4 และเจาะรูที่บรูเก่าทำเตเปอร์ภายในแป้นอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาวขนาด 5 มิลลิเมตรแสดงตั้งรูปที่ 3.5 และทำตัวยึดแป้นอัดกับชุดส่งกำลังมีลักษณะคล้ายวงแหวน คลอบอยู่ทั้งสองด้านของแป้นอัด ทำจากเหล็กหนา 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 410 มิลลิเมตร เจาะรูรอบวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 8 รู เพื่อเอาไว้ยึดกับชุดส่งกำลัง แสดงไว้ตั้งรูปที่ 3.2



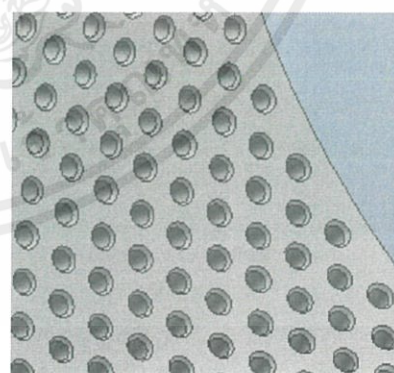
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านหน้าของแป้นอัด



รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของแป้นอัด



รูปที่ 3.4 แสดงภาพของแป้นอัดมุมมอง Isometric



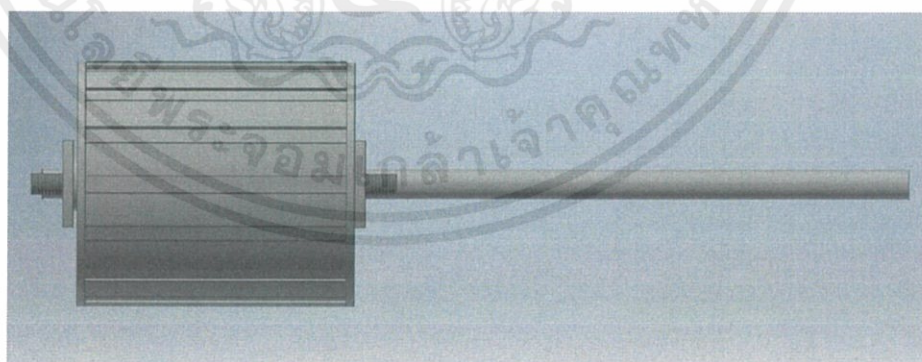
รูปที่ 3.5 แสดงภาพรูที่เจาะเป็นเตเปอร์

3.3 ชุดลูกกลิ้งอัด (Roller)

ลูกกลิ้งอัดมีจำนวน 2 ลูก ทำมาจากเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร มีความยาว 160 มิลลิเมตร ภายในลูกกลิ้งจะมีเพลลาอยู่ภายในเพื่อที่จะให้ลูกกลิ้งสามารถหมุนได้ เเพลลาภายในจะถูกยึดไว้ด้วยหน้าแปลนที่ใส่ลูกปืนไว้ ลูกกลิ้งทั้งสองจะถูกยึดไว้กับตัวล้อคลูกกลิ้ง โดยตัวล้อคลูกกลิ้งได้เจาะรูไว้ เป็นเป็นลักษณะวงรีเพื่อที่จะสามารถเลื่อนปรับระยะความห่างของลูกกลิ้งได้แสดงดังรูปที่ 3.6 และลูกกลิ้งทั้งสองก็จะถูกยึดติดไว้กับเพลลาแกนกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา 17 มิลลิเมตร มีความยาว 720 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.7



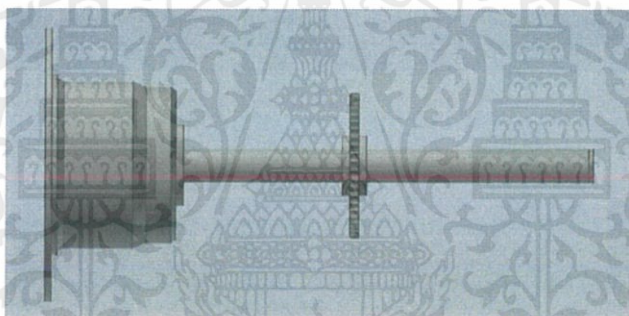
รูปที่ 3.6 แสดงภาพด้านหน้าของชุดลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.7 แสดงภาพด้านข้างของชุดลูกกลิ้ง

3.4 ชุดส่งกำลังและอัตราทด (Transmission)

ชุดส่งกำลังจะประกอบด้วย เพลาส่งกำลัง ตัวยึดเพลาส่งกำลังกับแป้นอัด และเฟืองทดรอบ เพลาส่งกำลังทำมาจากเหล็กเพลากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร มีความยาว 450 มิลลิเมตร ภายในเพลาส่งกำลังจะมีลูกปืนไว้ทั้งด้านหน้าและหลัง เนื่องจากเพลากลางของลูกกลิ้งจะสอดผ่านเพลาส่งกำลัง แสดงดังรูปที่ 3.8 ตัวยึดเพลาส่งกำลังกับแป้นอัด ทำมาจากเหล็กแผ่นนำมาตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 410 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 8 รู เพื่อเอาไว้อยึดกับแป้นอัด และนำมาเชื่อมติดกับกระทะล้อผ่าครึ่งขนาด 10 นิ้ว โดยตัวยึดเพลาส่งกำลังกับแป้นอัดจะถูกยึดไว้กับเพลาส่งกำลังด้วยหน้าแปลน เฟืองทดรอบมีจำนวนฟัน 52 ซี่ และจะถูกยึดไว้กับเพลาส่งกำลังด้วยหน้าแปลน ชุดส่งกำลังจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าโดยมีอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ส่งกำลังมาจะผ่านการทดรอบจากเฟืองทดรอบทำให้ได้แรงบิดเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงจะส่งกำลังไปยังแป้นอัด แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงภาพด้านข้างของชุดลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.9 แสดงภาพชุดส่งกำลังส่งกำลังไปยังแป้นอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

3.5.1 คำนวณหาอัตราทดกำลังของมอเตอร์

ในการหาอัตราทดของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยนั้นได้ทำการทอรอบของมอเตอร์กับเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย เพื่อที่จะเพิ่มกำลังบิดของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย โดยที่มอเตอร์ใช้เฟืองขับขนาด 15 ฟัน และที่แป้นอัดใช้เฟืองขับขนาด 52 ฟัน โดยใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณหาอัตราทด

$$i = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.1)$$

โดยที่ n_1 คือ จำนวนฟันของเฟืองขับ

n_2 คือ จำนวนฟันของเฟืองตาม

จากสูตร แทนค่า

$$i = \frac{52}{15} = 3.46$$

จากการคำนวณหาจะมีอัตราทด คือ

$$1 : 3.46 \text{ แสดงดังรูปที่ 3.10}$$



รูปที่ 3.10 แสดงอัตราทดกำลัง 1 : 3.46

3.5.2 คำนวณหาแรงบิด

ในการหาแรงบิดของมอเตอร์ หาได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{จากสมการ} \quad \tau = P/\omega \quad (3.2)$$

โดย P = กำลังของมอเตอร์ (watt)

ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียน/วินาที)

ในการทดลองจะใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า(380 V) 3 เฟส และอัตราทดของมอเตอร์กับแป้นอัดที่ 3.46:1 โดยจะต้องหาความเร็วเชิงมุมเพลลาและหาแรงบิดที่ใช้กับมอเตอร์

วิธีคำนวณ เปลี่ยนหน่วยจากแรงม้า(HP) เป็นกิโลวัตต์(kw)

$$\text{โดย} \quad 1 \text{ HP} = 746 \text{ watt} \quad (3.3)$$

$$\text{มอเตอร์ขนาด 3HP} = \frac{2235.7 \text{ watt}}{1 \text{ HP}} \times 3\text{HP}$$

$$= 2237.1 \text{ watt}$$

ในการทดลองมอเตอร์ที่ใช้ทดลองมีความเร็วรอบสูงสุดที่ 1450 รอบต่อนาที ต้องเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงมุม

$$\text{โดย} \quad 1 \text{ นาที} = 60 \text{ วินาที} \quad (3.4)$$

$$1 \text{ รอบ} = 2\pi \text{ เรเดียน} \quad (3.5)$$

ดังนั้น

$$\text{ความเร็วเชิงมุม} = \frac{1450 \text{ รอบ}}{60 \text{ วินาที}} \times 2\pi \frac{\text{เรเดียน}}{\text{รอบ}} \quad (3.6)$$

$$= 151.843 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

จะได้

$$T_{\text{ไม่ผ่านอัตราทด}} = \frac{2237.1}{151.843} \quad (3.7)$$

$$= 14.73 \text{ N.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ทดรอบโดยใช้เฟือง อัตราทด} &= 3.466 : 1 \\
 \text{ความเร็วเชิงมุม} &= 151.843/3.466 \\
 &= 43.808 \text{ รอบ/วินาที} \\
 T_{\text{ผ่านอัตราทด}} &= \frac{2237.1}{43.808} \\
 &= 51.05 \text{ N.m}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

3.5.3 คำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์ที่ใช้จริง

จากการทดลองเพื่อหาแรงที่ใช้ในการกดปุ่มที่ได้จากเครื่องรุ่น Texture analysis จะเป็นการจำลองแรงที่ต้องใช้ในการกดปุ่มจำนวน 11 รู ซึ่งจะสอดคล้องกับลูกกลิ้งที่ต้องกดลงบนแป้นอัดเต็มพื้นผิวสัมผัสจะต้องกดลง 10 รูตามแนวความยาว เมื่อทดลองจะได้แรงในการกดสูงที่สุดที่สามารถทำให้ปุ่มออกมาจากรูจำนวน 11 รูได้คือ 5066.027 นิวตันระยะทางในการกด 31.97 มิลลิเมตร ใช้เวลา 159.855 วินาที แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงผลการทดสอบการกดเม็ดปุ่มจากเครื่อง Texture analysis

แรงที่ใช้ในการกดจำนวนรู 11 รูได้ นำมาคำนวณหาแรงบิดที่มอเตอร์ต้องใช้จริงที่จะใช้กดปุ่ม จากสมการหาแรงบิด $T=FR$ เราจะหาแรงบิดจากจุดกึ่งกลางแป้นอัดถึงจุดหมุนของลูกกลิ้งจะได้ความยาวคือ $R-r$ และลูกกลิ้งที่ใช้จะมีอยู่ 2 ลูก แสดงในรูปภาพที่ เมื่อนำมาทำเป็นสมการจะได้

$$\text{แรงบิดของมอเตอร์ที่ต้องใช้} \quad T = 2F(R-r) \tag{3.9}$$

| | | | |
|--------|---|---|--|
| โดย | T | = | แรงบิด (N.m) |
| | F | = | แรงที่ใช้กด (N) |
| | R | = | รัศมีของแป้นอัด (m) |
| | r | = | รัศมีของลูกกลิ้ง (m) |
| แทนค่า | T | = | $2 \times 5066.027(165-70) \times 10^{-3}$ |
| | T | = | 962.54 N.m |

จะต้องใช้แรงบิดขนาด 962.54 N.m ลูกกลิ้งทั้ง 2 ข้างถึงจะอัดออกเต็มหน้า ขนาดมอเตอร์ 3 แรงม้า ผ่านอัตราทด 3.466:1 จะให้แรงบิด = 51.05 N.m

ดังนั้นหากต้องการแรงบิด 962.54 N.m และผ่านอัตราทด 3.466:1 ต้องใช้มอเตอร์ขนาด

$$\begin{aligned} \text{เทียบอัตราส่วนจะได้} \quad \text{แรงม้า} &= \frac{962.54 \times 3}{51.05} \\ &= 56.56 \text{ แรงม้า} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น จะต้องใช้มอเตอร์ขนาดประมาณ 57 แรงม้า เพื่อที่จะทำให้เครื่องอัดปุ๋ยอัดออกเต็มหน้าผิวสัมผัสเต็มทุกจุดและทำงานอย่างราบรื่นโดยไม่เกิดการน็อคของเครื่อง

3.5.4 คำนวณหาความชื้นปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ความชื้นของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองหาได้จากการทดลองโดยการนำปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองไปอบแห้ง เพื่อหาความชื้นของปุ๋ย จะได้ออกมาเป็นความชื้นฐานเปียกและความชื้นฐานแห้ง

$$\text{ความชื้นฐานเปียก} = \left[\frac{M_i - M_f}{M_i} \right] \times 100 \quad (3.10)$$

$$\text{ความชื้นฐานแห้ง} = \left[\frac{M_i - M_f}{M_f} \right] \times 100 \quad (3.11)$$

โดย M_i = น้ำหนักของปุ๋ยก่อนอบ

M_f = น้ำหนักของปุ๋ยหลังอบ

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการคำนวณความชื้นของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

| กระป๋องที่ | น้ำหนักของ กระป๋องและปุ๋ย ก่อนอบ | น้ำหนักของ กระป๋องและปุ๋ย หลังอบครั้งที่1 | น้ำหนักของ กระป๋องและปุ๋ย หลังอบครั้งที่2 | ความชื้นของ ปุ๋ยฐานเปียก (%) | ความชื้น ของปุ๋ยฐาน แห้ง(%) |
|------------|--|---|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 25.6011 | 22.8318 | 22.8291 | 10.827 | 12.142 |
| 2 | 25.1535 | 22.6840 | 22.6811 | 9.829 | 10.900 |
| 3 | 24.8023 | 22.3001 | 22.2995 | 10.090 | 11.223 |
| เฉลี่ย | 25.1856 | 22.6053 | 22.6032 | 10.2187 | 11.4217 |

จากการคำนวณหาความชื้นของปุ๋ยฐานเปียกและฐานแห้งจากสมการที่ 3.10 และ 3.11 จะได้ความชื้นของปุ๋ยฐานเปียกเฉลี่ย 10.2187เปอร์เซ็นต์ และ ความชื้นปุ๋ยฐานแห้งเฉลี่ย 11.4217 เปอร์เซ็นต์

3.5.5 คำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ย

เม็ดปุ๋ยที่ได้จากการอัดโดยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยสามารถคำนวณหาความหนาแน่น ได้จากสมการที่ 3.12 และ 3.13

$$\text{จาก } D = \frac{M}{V} \quad (3.12)$$

$$V = \pi r^2 h \quad (3.13)$$

โดย

- D = ความหนาแน่น (g/cm³)
- M = น้ำหนักของเม็ดปุ๋ย (g)
- V = ปริมาตรของเม็ดปุ๋ย (cm³)
- h = ความยาวของเม็ดปุ๋ย (cm)
- r = รัศมีของเม็ดปุ๋ย (cm)

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในการทำการทดสอบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการอัดปุ๋ยเป็นเม็ดสำเร็จและเพื่อหาปริมาณการเม็ดปุ๋ยที่อัดได้ต่อชั่วโมง

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

- 1) เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย
- 2) เพื่อหาความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ที่ความเร็ว 750 850 และ 950 รอบต่อนาที

4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

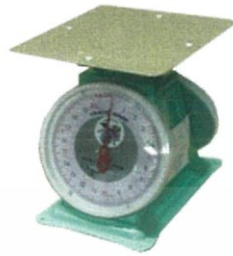
4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 10 กิโลกรัม มีส่วนประกอบของปุ๋ยดังนี้ ชีวู๋ เปลือกหอย วัชพืช เชื้อจุลินทรีย์ ดินขุยไส้เดือน เป็นต้น ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

2. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัม ยี่ห้อ ตราไก่ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. นาฬิกาจับเวลาจากโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ ไอโฟน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 นาฬิกาจับเวลา

4. อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบยี่ห้อ IMARI รุ่น AF-S00 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่ได้สร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

6. เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ยี่ห้อรุ่น DT-6234B ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ขนาด 150 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Metrology ดังรูปที่ 4.7



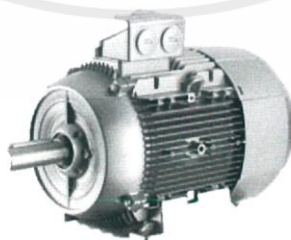
รูปที่ 4.7 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

8. เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์รุ่น EK-Series ขนาด 600 กรัม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

9. มอเตอร์ ยี่ห้อ Siemens ขนาด 3 แรงม้า มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 380 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

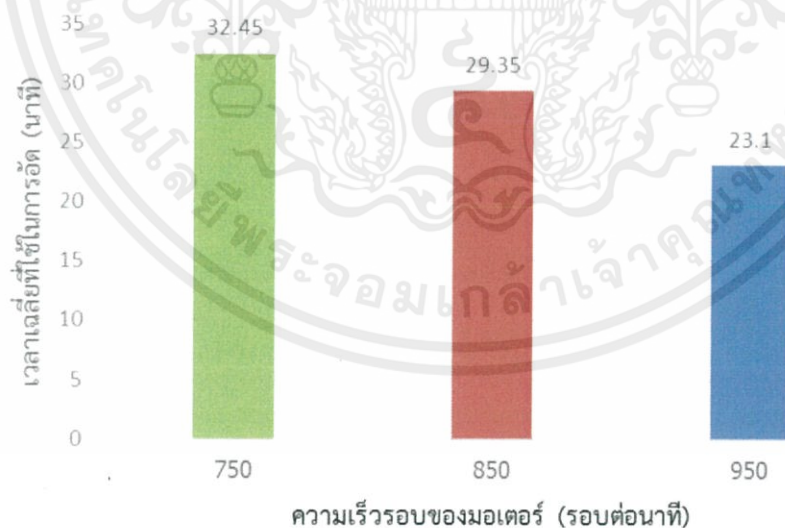
4.2.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมปุ๋ย 10 กิโลกรัมในการทดสอบความสามารถของเครื่องและจับเวลา
- 2) เตรียมปุ๋ย 2 กิโลกรัมในการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่อง
- 3) ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที
- 4) เปิดเครื่องและใส่ปุ๋ยลงไปในช่วงใส่ปุ๋ย
- 5) จับเวลาจนกว่าปุ๋ยที่ใช้ทดสอบจะหมด
- 6) ชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ได้หลังการทดสอบ
- 7) บันทึกผลที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

4.3 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.3.1 การทดลองหาความสามารถของเครื่องในการอัดปุ๋ย

ผลการทดลองหาความสามารถในการอัดปุ๋ย 10 กิโลกรัมของเครื่องที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.10

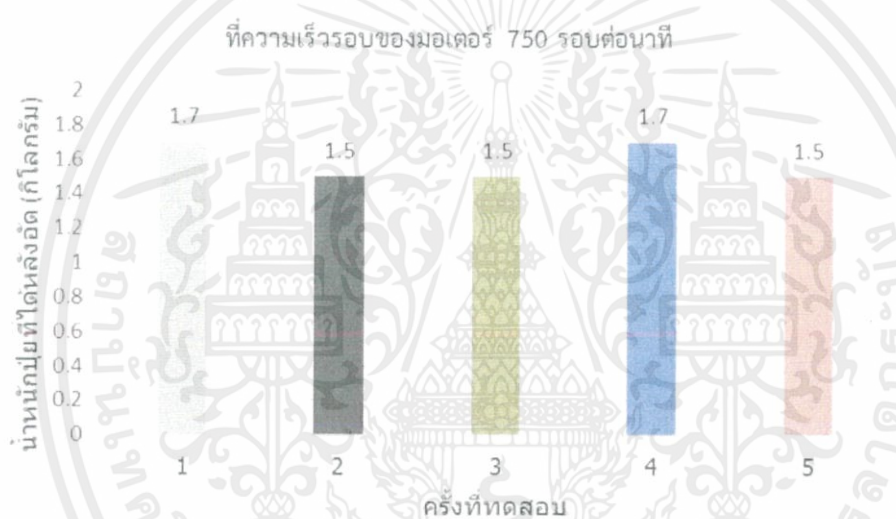


รูปที่ 4.10 แสดงเวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ยกับความเร็วรอบของมอเตอร์

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองหาความสามารถของเครื่องอัดปุ๋ยที่ความเร็วมอเตอร์เฉลี่ยที่ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที ใช้เวลาเฉลี่ยในการอัดปุ๋ยจำนวน 10 กิโลกรัมเฉลี่ยที่ 32.45 , 29.35 และ 23.10 นาทีตามลำดับ มีความสามารถในการผลิตเม็ดปุ๋ยได้เฉลี่ย 18.48 , 20.44 และ 25.97 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

4.3.2 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องในการอัดปุ๋ย

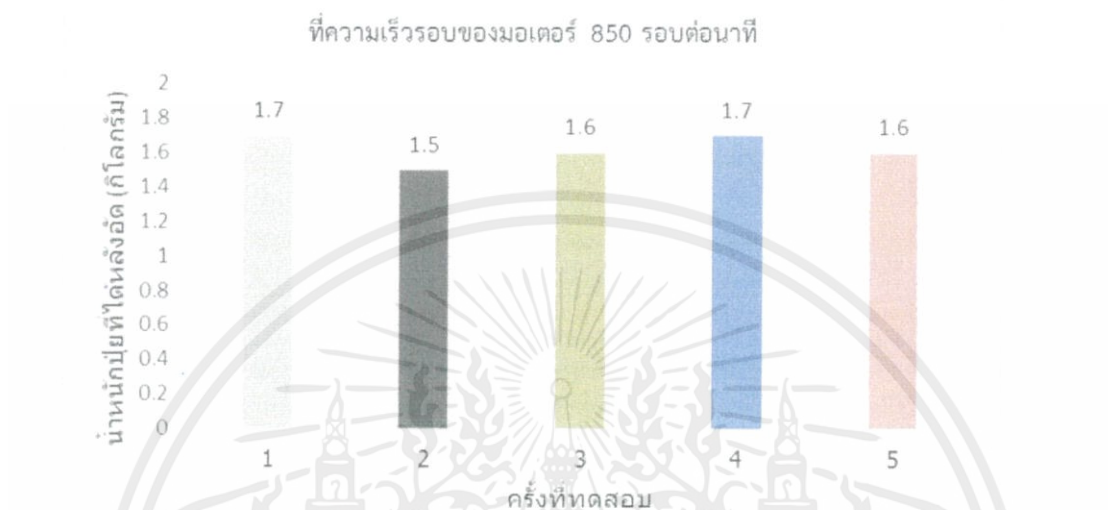
ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการอัดปุ๋ย 2 กิโลกรัมของเครื่องที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 750 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์น้ำหนักปุ๋ยกับจำนวนครั้งที่ทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ 750 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดปุ๋ยที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 750 รอบต่อนาที โดยใช้ปุ๋ยในการทดสอบ 2 กิโลกรัมใส่ไปในเครื่องเมื่อเครื่องอัดปุ๋ยจนเสร็จ จะนำปุ๋ยที่ถูกอัดออกมาเป็นเม็ดไปวัดน้ำหนักว่าได้กี่กิโลกรัมเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยจะทำการซ้ำ 5 ซ้ำ ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่อง คือ 79เปอร์เซ็นต์

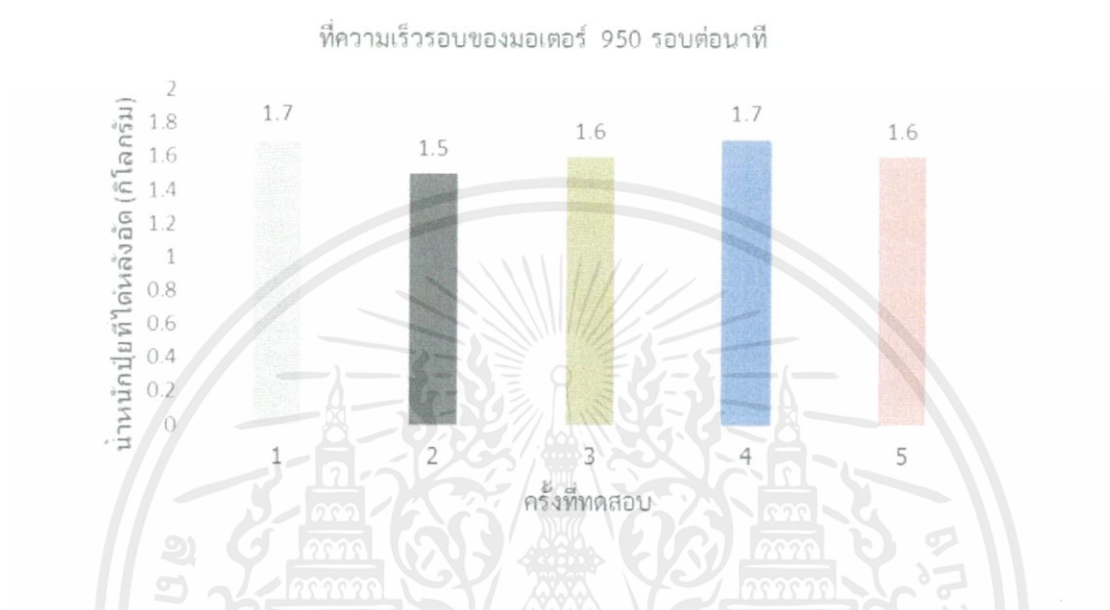
ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการอัดปุ๋ย 2 กิโลกรัมของเครื่องที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 850 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์น้ำหนักปุ๋ยกับจำนวนครั้งที่ทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ 850 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดปุ๋ยที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 850 รอบต่อนาที โดยใช้ปุ๋ยในการทดสอบ 2 กิโลกรัมใส่ลงไปในเครื่องอัดปุ๋ยจนครบ 2 กิโลกรัม จะนำปุ๋ยที่ถูกอัดออกมาเป็นเม็ดไปวัดน้ำหนักว่าได้ที่กี่โลกรัมเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยจะทำซ้ำ 5 ซ้ำ ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่อง คือ 81เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการอัดปุ๋ย 2 กิโลกรัมของเครื่องที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 950 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.13

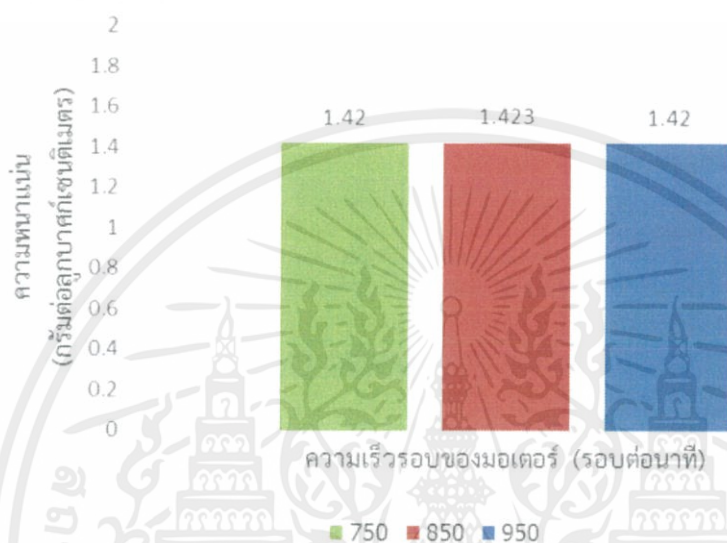


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์น้ำหนักปุ๋ยกับจำนวนครั้งที่ทดสอบที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 950 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดปุ๋ยที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 950 รอบต่อนาที โดยใช้ปุ๋ยในการทดสอบ 2 กิโลกรัมใส่ไปในเครื่องเมื่อเครื่องอัดปุ๋ยจนเสร็จ จะนำปุ๋ยที่ถูกอัดออกมาเป็นเม็ดไปวัดน้ำหนักว่าได้ที่กี่กิโลกรัมเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยทำซ้ำ 5 ซ้ำ ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่อง คือ 83 เปอร์เซ็นต์

4.3.3 การทดลองหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ย

ผลการทดลองหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้ที่ความเร็วรอบ 750 850 และ 950 รอบต่อนาทีโดยทำการสุ่มตัวอย่างมา 15 ตัวอย่าง ในแต่ละความเร็วรอบมอเตอร์



รูปที่ 4.14 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ยของเม็ดปุ๋ยที่แต่ละความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.14 เป็นการหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยเฉลี่ยที่อัดได้ในแต่ละความเร็วรอบของมอเตอร์โดยสุ่มปุ๋ยที่ได้อัดออกมาเป็นเม็ดจำนวน 15 เม็ดของแต่ละความเร็วรอบ มาวัดขนาด ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางในที่นี้คือ 6 มิลลิเมตรเท่ากับขนาดรูของแป้นอัดปุ๋ยที่เราได้เจาะเอาไว้ คำนวณหาปริมาตรจากสมการที่ 3.13 และชั่งน้ำหนักของเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ด เมื่อได้แล้วนำมาคำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยจากสมการที่ 3.12 ได้ความหนาแน่นเฉลี่ยคือ 1.420 1.423 และ 1.420 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 750 850 และ 950 รอบต่อนาทีตามลำดับความเร็วรอบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่ความเร็วของมอเตอร์ 750 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการทำงานและกำลังการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 79 เปอร์เซ็นต์ และ 18.48 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ ที่ความเร็วของมอเตอร์ 850 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการทำงานและกำลังการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 81 เปอร์เซ็นต์ และ 20.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ ที่ความเร็วของมอเตอร์ 950 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการทำงานและกำลังการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 83 เปอร์เซ็นต์ และ 25.97 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ

พบว่าที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 950 รอบต่อนาทีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือ 83 เปอร์เซ็นต์ และกำลังการผลิตที่ดีที่สุดคือ 25.97 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 750 850 และ 950 รอบต่อนาที ได้ความหนาแน่นเฉลี่ย 1.420 1.420 และ 1.423 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอ

เมื่อเครื่องเริ่มทำงานเครื่องจะเกิดการสั่นและหมุนไม่ได้ศูนย์เนื่องจากในการขึ้นรูปชิ้นงานนั้น ไม่ได้ขึ้นมาจากชิ้นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น แป้นอัดกับเพลาส่งกำลัง เมื่อนำมาเชื่อมติดกันทำให้ไม่ได้จุดศูนย์กลางเดียวกันจึงทำให้เกิดการสั่นของเครื่องและส่งผลให้การอัดมีประสิทธิภาพน้อยลงและทำให้เม็ดปุ๋ยที่ถูกอัดมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นชิ้นงานที่จะเกิดการหมุนสอดคล้องกันควรจะติดตั้งล้อวงน้ำหนักรองเครื่องอัดปุ๋ยเพื่อลดการสั่นสะเทือนและเก็บแรงเฉื่อยของการหมุนเพื่อให้เกิดความสมดุลในการหมุนของเครื่องดังกล่าว

บรรณานุกรม

- [1] สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (n.d.) ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 12 กันยายน 2559).
- [2] เครื่องปั้นเม็ดปุ๋ย, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.lion-one.com/bot.php>
(วันที่สืบค้นข้อมูล: 12 กันยายน 2559)
- [3] จรัสชัย เย็บพยับ พงศ์กิต์ กฤตยพรพงษ์ และวิศิษฐ์ ทางดี. (2558) .The Study of the Influence Factor for Rolling-Press Mechanism to Form Pelleting Manure
- [4] ชูชาติ พยอม. (2546). เรื่อง The Development and Design of Economical Bio-Fertilizer Manufacturing Machine.
- [5] ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ ทวีพงษ์ พ้องเสียง และสุทธิพงษ์ ไชยมงคล. (2547). A Prototype Machine for Producing Pellet Organic Fertilizer Using Low Energy
- [6] บรรจงศรี จีระวิบูลวรรณ และคณะ. (2544). เรื่อง Animal manure mixture compression machine.
- [7] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). เรื่อง เทคโนโลยีการอบแห้ง.
- [8] Panmanas Sirisomboon. เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง Mechanical Properties of Biological Materials .Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1ก. มาตรฐานโซ่ British Standard (BS)

| Chain No. | | Pitch P | Roller link width W | Roller dia. D | Pin | | | | | | Transverse pitch C | Plate | | | | JIS Avg. tensile strength | | DID Min. tensile strength | | Approx. weight (kg/m) |
|-----------|--------|------------|---------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------------------------|-------|------|------|------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|-----------------------------|
| DID | JIS B系 | | | | d | E | F | G | f | g | | T | t | H | h | kN | kgf | kN | kgf | |
| DID 04B | — | 6.00 | 2.80 | 4.00 | 1.85 | 6.45 | 7.35 | — | 4.15 | — | — | 0.63 | 0.63 | 4.9 | 4.9 | — | — | 3.33 | 3.40 | 0.12 |
| DID 05B | 05B | | | | | 7.60 | 8.60 | — | | | | | | | | 4.4 | 4.49 | 5.68 | 5.80 | 0.18 |
| DID 05B-2 | 05B-2 | 8.00 | 3.00 | 5.00 | 2.31 | 13.25 | 14.25 | — | 4.90 | — | 5.64 | 0.75 | 0.75 | 7.1 | 6.2 | 7.8 | 7.95 | 9.21 | 9.40 | 0.34 |
| DID 06B | 06B | | | | | 13.15 | 13.6 | — | | | | | | | | 8.9 | 9.08 | 10.4 | 1.070 | 0.39 |
| DID 06B-2 | 06B-2 | 9.525 | 5.72 | 6.35 | 3.28 | 22.75 | 23.9 | — | 7.4 | — | 10.24 | 1.3 | 1.0 | 8.2 | 8.2 | 16.9 | 1.720 | 19.4 | 1.980 | 0.74 |
| DID 06B-3 | 06B-3 | | | | | 33.0 | 34.3 | — | | | | | | | | 24.9 | 2.539 | 27.4 | 2.800 | 1.10 |
| DID 08B | 08B | | | | | 16.7 | 18.1 | — | | | | | | | | 17.6 | 1.815 | 19.6 | 2.000 | 0.67 |
| DID 08B-2 | 08B-2 | 12.70 | 7.75 | 8.51 | 4.45 | 30.7 | 32.0 | — | 9.9 | — | 13.92 | 1.5 | 1.5 | 11.9 | 10.4 | 31.1 | 3.170 | 34.3 | 3.500 | 1.30 |
| DID 08B-3 | 08B-3 | | | | | 44.6 | 46.0 | — | | | | | | | | 44.5 | 4.537 | 49.0 | 5.000 | 1.92 |
| DID 10B | 10B | | | | | 18.9 | 20.4 | — | | | | | | | | 22.2 | 2.260 | 25.4 | 2.600 | 0.88 |
| DID 10B-2 | 10B-2 | 15.875 | 9.65 | 10.16 | 5.08 | 35.5 | 37.0 | — | 10.9 | — | 16.59 | 1.5 | 1.5 | 14.7 | 13.0 | 44.5 | 4.537 | 50.9 | 5.200 | 1.68 |
| DID 10B-3 | 10B-3 | | | | | 52.2 | 53.7 | — | | | | | | | | 66.7 | 6.800 | 76.4 | 7.800 | 2.54 |
| DID 12B | 12B | | | | | 22.2 | 23.6 | — | | | | | | | | 28.9 | 2.946 | 31.3 | 3.200 | 1.14 |
| DID 12B-2 | 12B-2 | 19.05 | 11.68 | 12.07 | 5.72 | 41.7 | 43.1 | — | 12.7 | — | 19.46 | 1.8 | 1.8 | 16.1 | 14.6 | 57.8 | 5.890 | 62.7 | 6.400 | 2.28 |
| DID 12B-3 | 12B-3 | | | | | 61.3 | 62.7 | — | | | | | | | | 86.7 | 8.840 | 94.1 | 9.600 | 3.46 |
| DID 16B | 16B | | | | | 35.1 | 36.2 | — | | | | | | | | 60 | 6.118 | 63.7 | 6.500 | 2.56 |
| DID 16B-2 | 16B-2 | 25.40 | 17.02 | 15.88 | 8.28 | 67.1 | — | 70.3 | — | 20.7 | 31.88 | 4.0 | 3.2 | 21.0 | 21.0 | 106 | 10.808 | 127 | 13.000 | 5.12 |
| DID 16B-3 | 16B-3 | | | | | 99.1 | — | 102.2 | — | | | | | | | 160 | 16.315 | 191 | 19.500 | 7.59 |
| DID 20B | 20B | | | | | 41.0 | — | 44.0 | — | | | | | | | 95 | 9.687 | 98.0 | 10.000 | 3.81 |
| DID 20B-2 | 20B-2 | 31.75 | 19.56 | 19.05 | 10.19 | 77.4 | — | 80.5 | — | 23.5 | 36.45 | 4.5 | 3.5 | 26.4 | 26.4 | 170 | 17.335 | 196 | 20.000 | 7.57 |
| DID 20B-3 | 20B-3 | | | | | 114.0 | — | 117.0 | — | | | | | | | 250 | 25.490 | 294 | 30.000 | 11.3 |
| DID 24B | 24B | | | | | 53.4 | — | 58.7 | — | | | | | | | 160 | 16.315 | 166 | 17.000 | 7.08 |
| DID 24B-2 | 24B-2 | 38.10 | 25.40 | 25.40 | 14.63 | 101.8 | — | 107.1 | — | 32.0 | 48.36 | 6.0 | 5.0 | 33.4 | 33.4 | 280 | 28.550 | 333 | 34.000 | 13.9 |
| DID 24B-3 | 24B-3 | | | | | 150.2 | — | 155.5 | — | | | | | | | 425 | 43.337 | 500 | 51.000 | 20.7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก. เวลาที่ใช้ในการอัดปุ๋ย 10 กิโลกรัม ในแต่ละความเร็วรอบ

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (นาที) | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| | 750 รอบต่อนาที | 850 รอบต่อนาที | 950 รอบต่อนาที |
| 1 | 29.30 | 26.15 | 22.30 |
| 2 | 30.50 | 25.50 | 22.55 |
| 3 | 32.10 | 28.45 | 24.10 |
| 4 | 30 | 29.15 | 25.25 |
| 5 | 34.15 | 27.30 | 21.40 |
| เฉลี่ย | 32.45 | 29.35 | 23.10 |

ตารางที่ 3ก. ประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที

| ครั้งที่ | น้ำหนักปุ๋ยหลังอัด (กิโลกรัม) | ประสิทธิภาพการทำงาน (%) |
|----------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 1.7 | 85 |
| 2 | 1.5 | 75 |
| 3 | 1.5 | 75 |
| 4 | 1.7 | 85 |
| 5 | 1.5 | 85 |
| เฉลี่ย | 1.58 | 79 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก. ประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 850 รอบต่อนาที

| ครั้งที่ | น้ำหนักปุ๋ยหลังอัด(กิโลกรัม) | ประสิทธิภาพการทำงาน(%) |
|----------|------------------------------|------------------------|
| 1 | 1.6 | 80 |
| 2 | 1.8 | 90 |
| 3 | 1.5 | 75 |
| 4 | 1.7 | 85 |
| 5 | 1.7 | 85 |
| เฉลี่ย | 1.66 | 83 |

ตารางที่ 5ก. ประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที

| ครั้งที่ | น้ำหนักปุ๋ยหลังอัด (กิโลกรัม) | ประสิทธิภาพการทำงาน (%) |
|----------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 1.7 | 85 |
| 2 | 1.5 | 75 |
| 3 | 1.6 | 80 |
| 4 | 1.7 | 85 |
| 5 | 1.6 | 80 |
| เฉลี่ย | 1.62 | 81 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6ก. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที

| ตัวอย่าง ที่ | น้ำหนัก (กรัม) | ความยาว (เซนติเมตร) | ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) | ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 0.885 | 1.99 | 0.562 | 1.573 |
| 2 | 0.899 | 2.05 | 0.579 | 1.551 |
| 3 | 0.848 | 2.07 | 0.584 | 1.363 |
| 4 | 0.907 | 2.15 | 0.607 | 1.369 |
| 5 | 0.809 | 2.00 | 0.565 | 1.430 |
| 6 | 0.875 | 2.10 | 0.593 | 1.561 |
| 7 | 0.791 | 2.00 | 0.593 | 1.332 |
| 8 | 0.826 | 2.11 | 0.624 | 1.482 |
| 9 | 0.782 | 2.00 | 0.565 | 1.383 |
| 10 | 0.851 | 2.10 | 0.593 | 1.434 |
| 11 | 0.806 | 1.87 | 0.605 | 1.455 |
| 12 | 0.743 | 2.11 | 0.596 | 1.247 |
| 13 | 0.811 | 2.00 | 0.565 | 1.434 |
| 14 | 0.704 | 1.80 | 0.508 | 1.384 |
| 15 | 0.809 | 1.97 | 0.622 | 1.349 |
| เฉลี่ย | 0.823 | 2.021 | 0.584 | 1.423 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7ก. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 850 รอบต่อนาที

| ตัวอย่าง ที่ | น้ำหนัก (กรัม) | ความยาว (เซนติเมตร) | ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) | ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 0.985 | 2.1 | 0.650 | 1.522 |
| 2 | 0.899 | 2.05 | 0.579 | 1.552 |
| 3 | 0.848 | 2.07 | 0.622 | 1.364 |
| 4 | 0.911 | 2.21 | 0.678 | 1.361 |
| 5 | 0.809 | 2.0 | 0.565 | 1.431 |
| 6 | 0.875 | 2.1 | 0.593 | 1.562 |
| 7 | 0.791 | 2.0 | 0.593 | 1.333 |
| 8 | 0.826 | 2.11 | 0.625 | 1.483 |
| 9 | 0.782 | 2.0 | 0.565 | 1.384 |
| 10 | 0.851 | 2.1 | 0.593 | 1.435 |
| 11 | 0.880 | 2.14 | 0.605 | 1.456 |
| 12 | 0.743 | 2.11 | 0.596 | 1.248 |
| 13 | 0.811 | 2.0 | 0.565 | 1.435 |
| 14 | 0.704 | 1.8 | 0.509 | 1.385 |
| 15 | 0.839 | 2.2 | 0.622 | 1.350 |
| เฉลี่ย | 0.848 | 2.114 | 0.597 | 1.420 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8ก. ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่มอเตอร์ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที

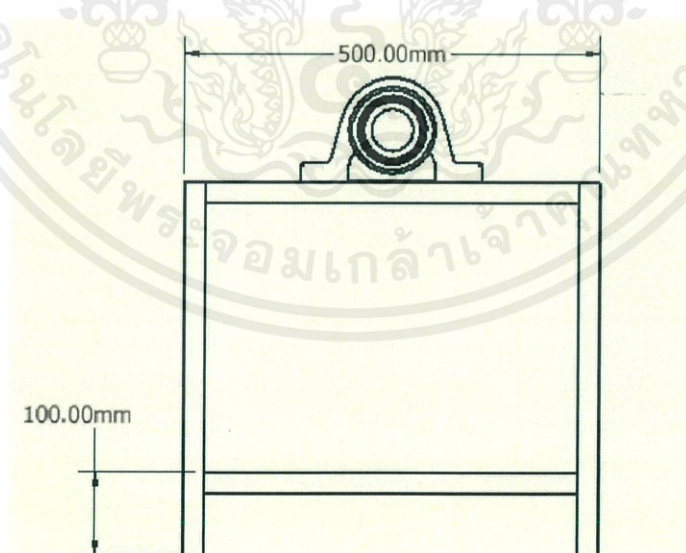
| ตัวอย่าง ที่ | น้ำหนัก (กรัม) | ความยาว (เซนติเมตร) | ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) | ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 0.989 | 2.30 | 0.650 | 1.520 |
| 2 | 0.899 | 2.05 | 0.579 | 1.551 |
| 3 | 0.848 | 2.20 | 0.622 | 1.363 |
| 4 | 0.923 | 2.40 | 0.678 | 1.369 |
| 5 | 0.809 | 2.00 | 0.565 | 1.430 |
| 6 | 0.927 | 2.10 | 0.593 | 1.561 |
| 7 | 0.791 | 2.10 | 0.593 | 1.332 |
| 8 | 0.926 | 2.21 | 0.624 | 1.482 |
| 9 | 0.782 | 2.00 | 0.565 | 1.383 |
| 10 | 0.851 | 2.10 | 0.593 | 1.434 |
| 11 | 0.880 | 2.14 | 0.605 | 1.455 |
| 12 | 0.743 | 2.11 | 0.596 | 1.247 |
| 13 | 0.811 | 2.00 | 0.565 | 1.434 |
| 14 | 0.704 | 1.80 | 0.508 | 1.384 |
| 15 | 0.839 | 2.20 | 0.622 | 1.349 |
| เฉลี่ย | 0.848 | 2.114 | 0.598 | 1.420 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

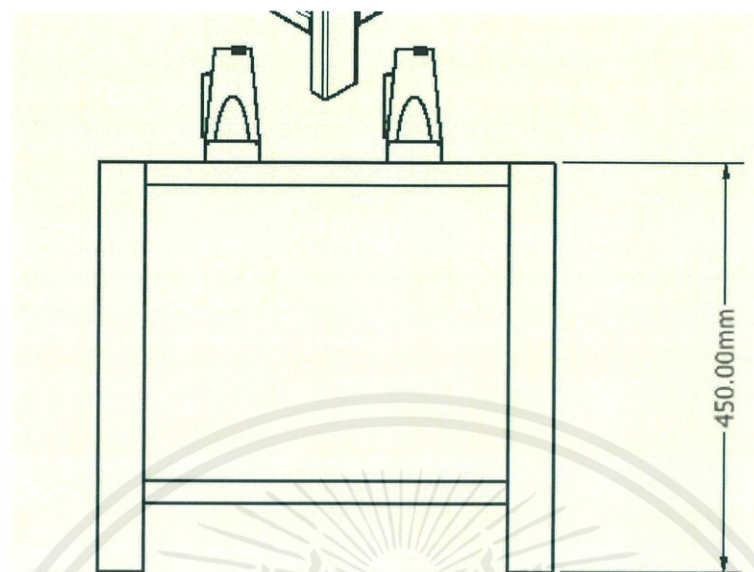


รูปที่ 1ข. ภาพแสดงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

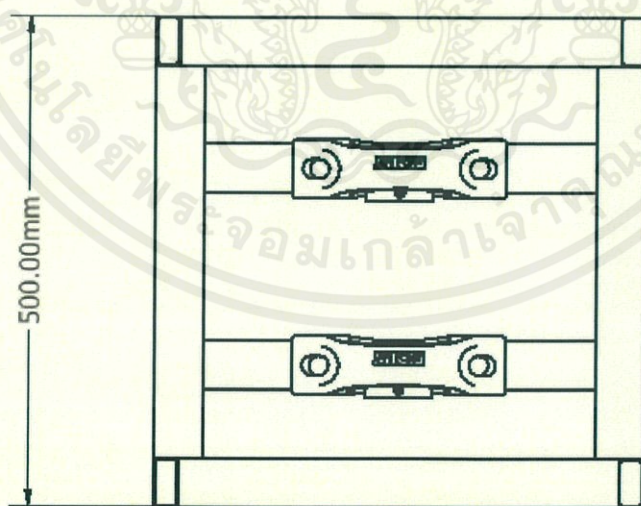


รูปที่ 2ข. ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

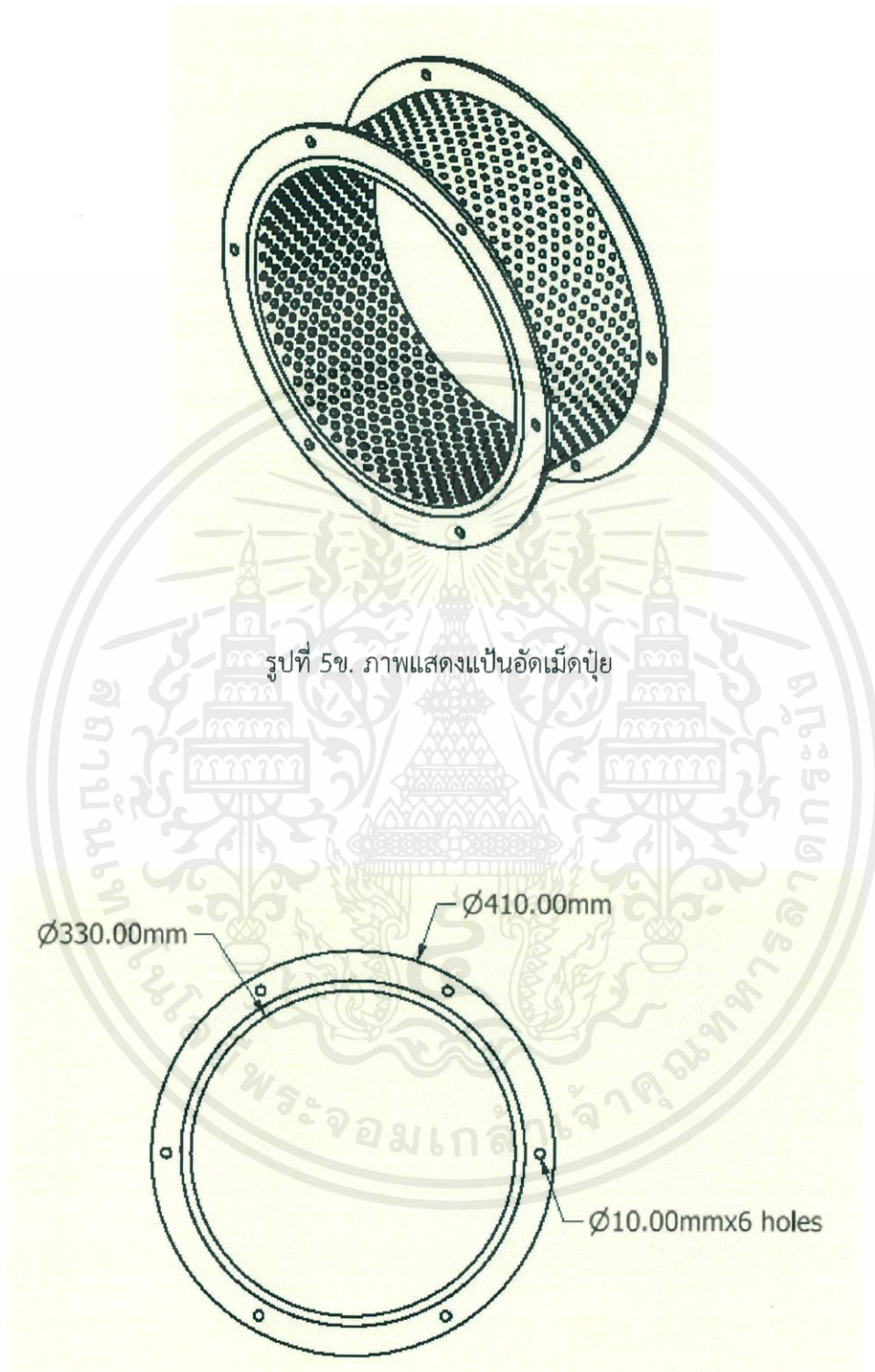


รูปที่ 3ข. ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย



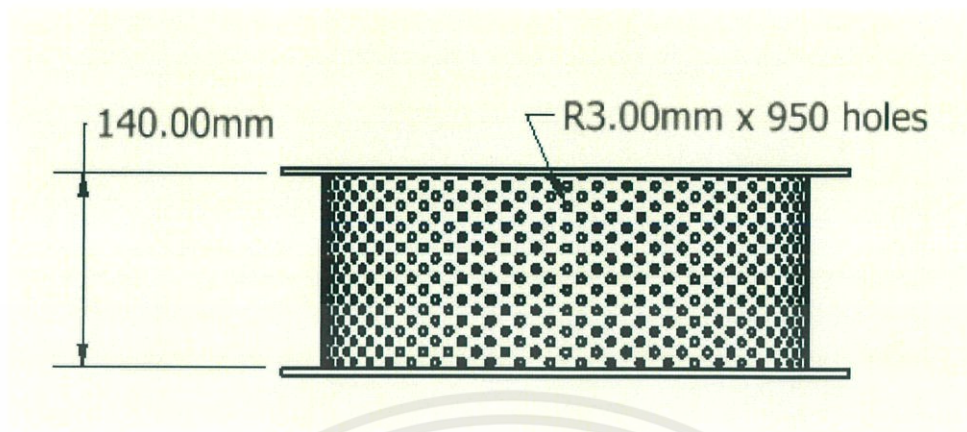
รูปที่ 4ข. ภาพแสดงขนาดของโครงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

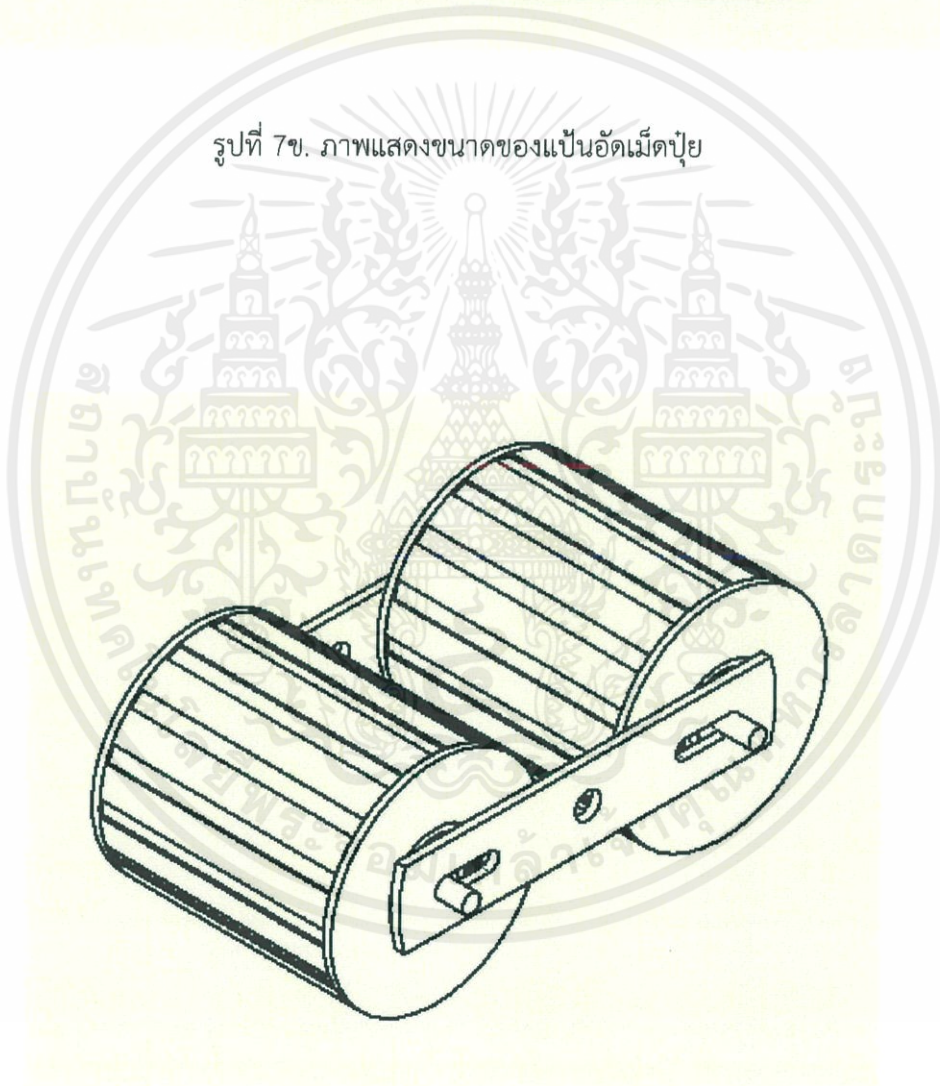


รูปที่ 6 ข. ภาพแสดงขนาดของแป้นอัดเม็ดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

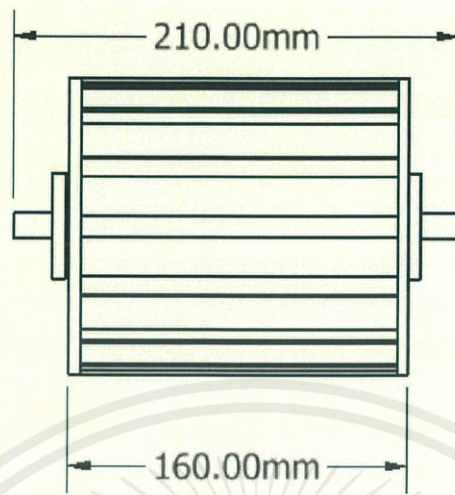


รูปที่ 7ข. ภาพแสดงขนาดของแป้นอัดเม็ดปุ๋ย

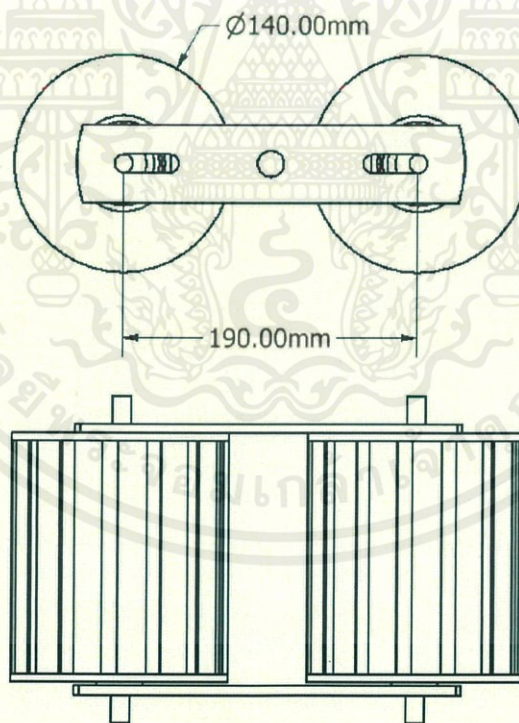


รูปที่ 8ข. ภาพแสดงลูกกลิ้งอัดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

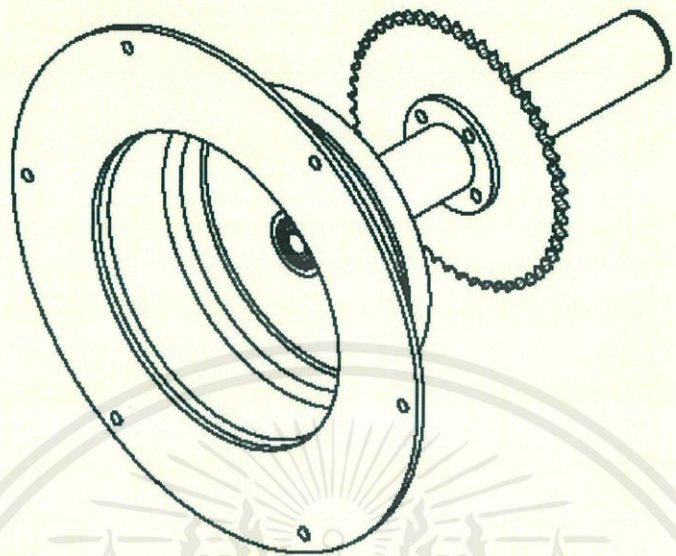


รูปที่ 9ข. ภาพแสดงขนาดของลูกกลิ้ง

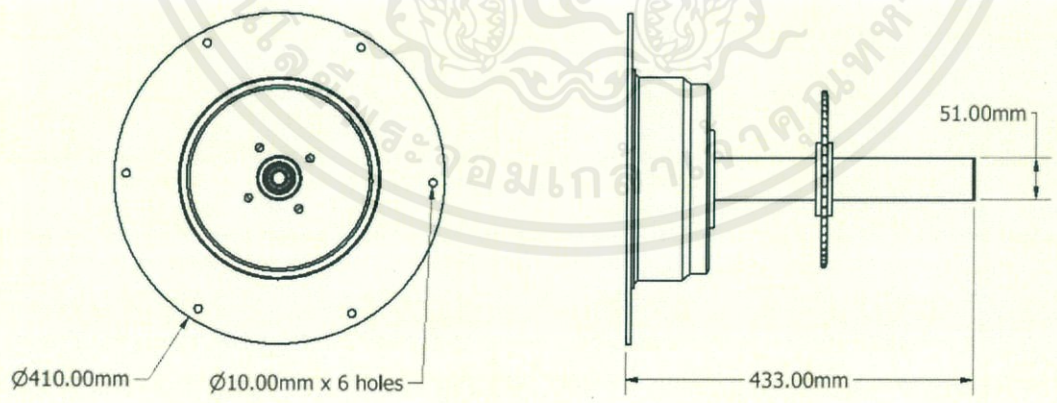


รูปที่ 10ข. ภาพแสดงขนาดของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11ข. ภาพแสดงชุดส่งกำลัง



รูปที่ 12ข. ภาพแสดงขนาดของชุดส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้