

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงพัฒนาเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงโดยปรับระยะระหว่างใบมีดและ  
ห้องโม่ให้เหมาะสมต่อการโม่เมล็ดข้าวหอมมะลิ  
Optimization of Hammer Mill Blades



T144624

นางสาววิวรรณ

พิทยกุลศาล

นางสาวอรณิชา

รัตนเกษตร

นายอรรถวิทย์

เจนาคม

ร.พ.

๖๗๓๙๗

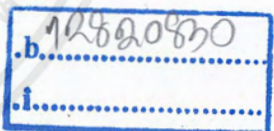
๒๐๖๘

เลขหมู่

144624

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี 29 ๗๙ 2559



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2558  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OPTIMIZATION OF HAMMER MILL BLADES



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ACADEMIC YEAR 2015

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
เรื่อง

ปีการศึกษา 2558  
  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
การปรับปรุงพัฒนาเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงโดยปรับระยะระหว่างใบมีดและ  
ห้อง โม่ให้เหมาะสมต่อการโม่เมล็ดข้าวหอมมะลิ  
Optimization of Hammer Mill Blades

ผู้จัดทำ

นางสาววิวรรธณี พิตยกุลศาล  
นางสาวอรณิชา รัตนเกษตร  
นายอรรณวิทย์ เจนาคม

รหัสนักศึกษา  
รหัสนักศึกษา  
รหัสนักศึกษา

55011157  
55011429  
55011435



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.เอกภพ ไพรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                  |                                                                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| หัวข้อโครงการ    | การปรับปรุงพัฒนาเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงโดยปรับระยะระหว่างใบมีดและห้องโมให้เหมาะสมต่อการโม่เมล็ดข้าวหอมมะลิ |
| นักศึกษา         | นางสาววิวรรธณี พิตยกุลศาล<br>นางสาวอรณิชา รัตนเกษตร<br>นายอรรถวิทย์ เจนาคม                                     |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.เอกภพ ไพรรัมย์                                                                                              |
| ปริญญา           | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต                                                                                            |
| สาขาวิชา         | วิศวกรรมอาหาร                                                                                                  |
| ปีการศึกษา       | 2558                                                                                                           |

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้เพื่อออกแบบและศึกษาแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากการปรับระยะห่างระหว่างใบมีดและผนังห้องโมของเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยงในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ โดยศึกษาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด ปริมาณผลผลิตที่ได้และขนาดอนุภาคของผลผลิต โดยแบ่งการทดลองเป็น 5 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ 1) การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 2) การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิ 3) การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง 4) การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี sieve analysis 5) การทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ จากการทดลองได้ผลว่า ความยาวและความกว้างเมล็ดข้าวหอมมะลิจำนวน 500 เมล็ด มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 0.767 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 0.214 เซนติเมตร จึงทำการออกแบบระยะระหว่างใบมีดและผนังห้องโมให้มีขนาดที่เล็กกว่าความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ 0.2 เซนติเมตร และขนาดใหญ่กว่าที่ 0.5 และ 0.7 เซนติเมตรเพื่อดูแนวโน้มที่เกิดขึ้น จากการทดลองทราบว่าการลดขนาดข้าวหอมมะลิโดยใช้ระยะห่างระหว่างใบมีดและผนังห้องโมที่ 0.2 เซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การได้วัตถุดิบที่สูงที่สุด การลดขนาดข้าวหอมมะลิโดยใช้ระยะห่างระหว่างใบมีดและผนังห้องโมที่ 0.5 เซนติเมตรให้ผลผลิตที่มีความละเอียดมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ระยะอื่นๆ

คำสำคัญ : เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง, การลดขนาด, ข้าวหอมมะลิ

|               |                                                                      |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|
| Project Title | Optimization of Hammer Mill Blades                                   |
| Student       | Wiwantanee Pitayagulsarn <br>Onnicha Rattanakaset<br>Attawit Jenakom |
| Advisor       | Dr.Ekapop Pairam                                                     |
| Degree        | Bachelor's of Engineering                                            |
| Program       | Food Engineering                                                     |
| Year          | 2015                                                                 |

### Abstract

The purpose of project is to design and the tendency of product size by adjust the gap between the hammer mill blades and the chamber. This project also studies the size reduction energy and weight of the product in various stages. The experiment was divided into the 5 major parts. 1) To measure the length and the width of Thai jasmine rice grains. 2) To find a feed rate of feeder. 3) To find the product weight after size reduction process in 3 different gaps. 4) To find the size distribution of product by using sieve analysis method. 5) To examine the size reduction energy by measuring the electric current for milling Thai jasmine rice. The results shown that the average length and width of 500 Thai jasmine rice grains are 0.76 cm and 0.21 cm respectively, therefore, the gap between the hammer mill blades and the chamber was designed to be smaller than the width of jasmine rice grains, the 0.2 cm gap, and also was designed to be larger than the length of rice stains, the 0.7 cm gap, In conclusion, for milling Thai jasmine rice grains the 0.2 cm gap is provided the highest percentage of product weight. On the other hand, the 0.5 cm gap is provided the finest percentage of product, compared to the other gaps.

**Keywords :** hammer mill, size reduction and jasmine rice

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกภพ ไพรมัย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ช่วยให้ประสบการณ์และความรู้ต่างๆ จนในที่สุดทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณคุณวราภรณ์ มาไพศาลและคุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานนี้ อีกทั้งให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนอำนวยความสะดวกในการยืมห้องปฏิบัติการและเบิกอุปกรณ์ทดลอง

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ปกครองและครอบครัว ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งและเป็นผู้ดูแลอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจและการสนับสนุนการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร รุ่นที่ 17 ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษาต่างๆ ในระหว่างการดำเนินงานนี้

ขอขอบคุณ

นางสาววิวรรธณี พิตยกุลศาล

นางสาวอรณิชา รัตนเกษตร

นายอรรถวิทย์ เจนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

|                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                   | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                | II   |
| กิตติกรรมประกาศ                                   | III  |
| สารบัญ                                            | IV   |
| สารบัญตาราง                                       | VII  |
| สารบัญรูปภาพ                                      | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ                                      |      |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิจัย                     | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                       | 1    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                     | 1    |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย                             | 1    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง             |      |
| 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าวหอมมะลิ             | 4    |
| 2.1.1 เกรดในการจำหน่ายข้าวขาวดอกมะลิ              | 5    |
| 2.1.2 มูลค่าทางเศรษฐกิจของข้าว                    | 6    |
| 2.2 การแปรรูปข้าว                                 | 6    |
| 2.3 การลดขนาด                                     | 7    |
| 2.3.1 การลดขนาดในอาหารแห้ง                        | 7    |
| 2.3.2 ลักษณะของแรงการเปลี่ยนรูปของอาหารแห้ง       | 7    |
| 2.3.3 ปริมาณพลังงานต้องการเพื่อใช้ลดขนาดอาหารแห้ง | 8    |
| 2.3.4 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการลดขนาด              | 9    |
| 2.3.5 ผลของการลดขนาดกับอาหาร                      | 9    |
| 2.4 เครื่องมือลดขนาดสำหรับของแข็ง                 | 10   |
| 2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดอาหารแห้ง        | 11   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

|                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง</b>                                                          |      |
| 3.1 วัตถุประสงค์                                                                     | 14   |
| 3.2 วัสดุและอุปกรณ์                                                                  | 14   |
| 3.3 วิธีการทดลอง                                                                     | 15   |
| 3.3.1 การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                    | 15   |
| 3.3.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิ                                        | 16   |
| 3.3.3 การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง       | 16   |
| 3.3.4 การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีsieve analysis                               | 19   |
| 3.3.5 การทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ | 20   |
| 3.4 การวิเคราะห์การกระจายของผลิตภัณฑ์และพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด                     | 22   |
| 3.4.1 การวิเคราะห์การกระจายของผลิตภัณฑ์                                              | 22   |
| 3.4.2 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการลดขนาด                                           | 22   |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>                                                            |      |
| 4.1 การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                      | 24   |
| 4.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิ                                          | 26   |
| 4.3 การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง         | 26   |
| 4.4 การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีsieve analysis                                 | 27   |
| 4.5 การทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ   | 29   |
| 4.6 ค่าไฟฟ้าของการลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องไม่ต่างกัน     | 31   |

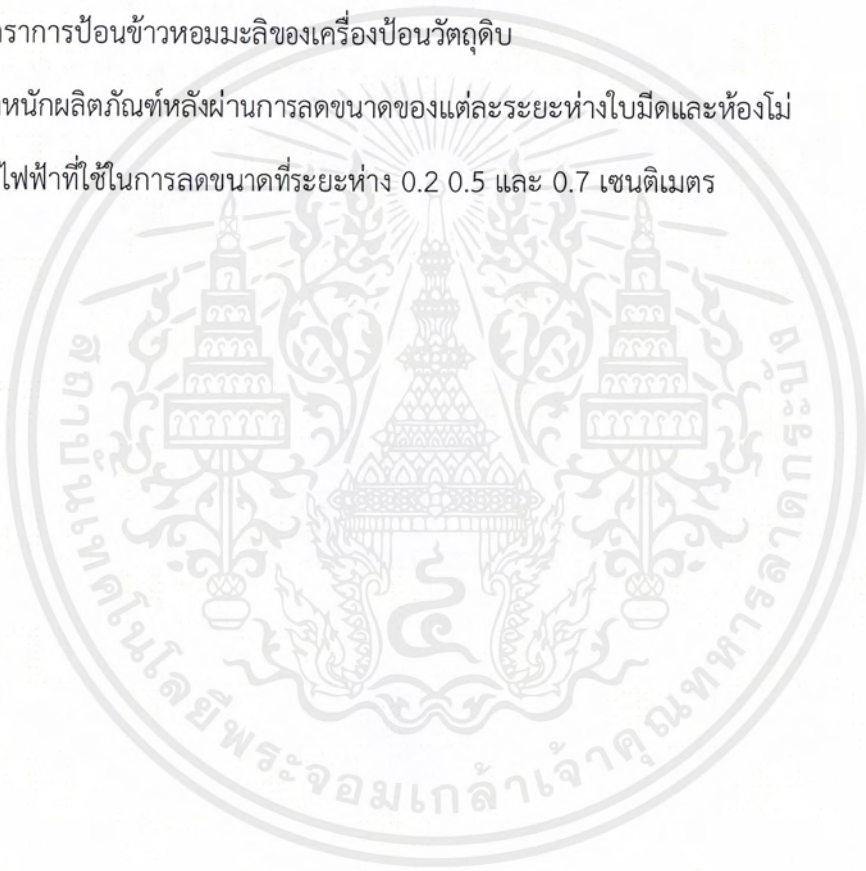
สารบัญ(ต่อ)

|                                                      | หน้า |
|------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 5 สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง                  |      |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                   | 32   |
| 5.2 ปัญหาที่พบ                                       | 32   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                       | 32   |
| ภาคผนวก                                              |      |
| ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิ                 | 34   |
| ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัดฤดูิบและผลิตภัณฑ์ในการทดลอง | 60   |
| เอกสารอ้างอิง                                        | 65   |



สารบัญตาราง

|                                                                              | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 ลักษณะของข้าวขาวประเภทต่างๆ                                     | 5    |
| ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวของไทยปี 2553-2558                  | 6    |
| ตารางที่ 2.3 แสดงผลกระทบจากการไม่ต่อปริมาณวิตามิน                            | 10   |
| ตารางที่ 3.1 ขนาดช่องเปิดของชุดตะแกรงทดสอบกับ mesh number                    | 19   |
| ตารางที่ 4.1 อัตราการป้อนข้าวหอมมะลิของเครื่องป้อนวัตถุดิบ                   | 26   |
| ตารางที่ 4.2 น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดของแต่ละระยะห่างใบมีดและห้องโม | 26   |
| ตารางที่ 4.3 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดที่ระยะห่าง 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร  | 31   |



## สารบัญรูปภาพ

|                                                                                                                       | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 Stress และ Strain ของอาหารแข็งรูปแบบต่างๆ(1.แข็งแต่เปราะ 2.แข็งและเหนียว 3.อ่อนและเหนียว 4.อ่อนและแตกง่าย) | 8    |
| รูปที่ 2.2 Hammer mill                                                                                                | 11   |
| รูปที่ 2.3 Crushing roll                                                                                              | 12   |
| รูปที่ 2.4 Disc mill (a)Single disc mill (b)Double disc mill (c)Buhr mill                                             | 12   |
| รูปที่ 2.5 Ball mill                                                                                                  | 13   |
| รูป 3.1 ข้าวหอมมะลิไทย พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105                                                                           | 14   |
| รูปที่ 3.2 แนวแกนของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                                                                  | 15   |
| รูปที่ 3.3 เครื่องป้อนเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                                                                | 16   |
| รูปที่ 3.4 เครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง                                                                                | 17   |
| รูปที่ 3.5 การตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องไม้ของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงตามระยะกำหนด                            | 17   |
| รูปที่ 3.6 การตั้งเครื่องป้อนเมล็ดข้าวและเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง                                                  | 18   |
| รูปที่ 3.7 ผลิตรัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง                                      | 18   |
| รูปที่ 3.8 ชั่งน้ำหนักผลิตรัณฑ์ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง                                                 | 19   |
| รูปที่ 3.9 การวางชุดตะแกรงทดสอบบนเครื่องsieve shaker                                                                  | 20   |
| รูปที่ 3.10 แคลมป์มิเตอร์                                                                                             | 21   |
| รูปที่ 3.11 แคลมป์มิเตอร์คล้องสายไฟ                                                                                   | 21   |
| รูปที่ 4.1 ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                                                           | 24   |
| รูปที่ 4.2 ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                                                             | 25   |
| รูปที่ 4.3 ขนาดความหนาของเมล็ดข้าวหอมมะลิ                                                                             | 25   |
| รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตรัณฑ์เมื่อเทียบทั้ง 3 ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องไม้                                 | 27   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

|                                                                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 4.5 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.2 เซนติเมตร        | 27   |
| รูปที่ 4.6 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.5 เซนติเมตร        | 28   |
| รูปที่ 4.7 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.7 เซนติเมตร        | 28   |
| รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร        | 29   |
| รูปที่ 4.9 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.2 เซนติเมตร  | 29   |
| รูปที่ 4.10 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.5 เซนติเมตร | 30   |
| รูปที่ 4.11 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ 0.7 เซนติเมตร | 30   |
| รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่าง 0.2 0.5 และ 0.7 cm       | 31   |

# บทที่1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ประเทศไทยผลิตข้าวเปลือกได้ปีละประมาณ 8.4 ล้านตัน โดยมีการศึกษาเรื่องการแปรรูปแป้งข้าวหอมมะลิมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบและเนื่องจากประเทศไทยต้องนำเข้าแป้งสาลีเป็นจำนวนมาก ทำให้เงินตรารั่วไหลออกนอกประเทศ และการแปรรูปปลายข้าวหอมมะลิเป็นแป้งจะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวได้เป็นอย่างดีและช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีได้ส่วนหนึ่ง[1] การผลิตแป้งทำได้โดยการการลดขนาด คือ การทำให้ขนาดเฉลี่ยของของแข็งลดลงโดยวิธีทางกลซึ่งจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลง วัตถุประสงค์ของการลดขนาดโดยทั่วไปคือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ง่ายต่อการขนส่ง ทำให้การผสมส่วนผสมต่างๆมีความสมบูรณ์มากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาแนวโน้มของระยะระหว่างใบมีดและผนังห้องโม่ที่ส่งผลต่อการลดขนาดข้าวหอมมะลิ

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.3.1 ทราบถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากระยะระหว่างใบมีดและผนังห้องโม่ที่ส่งผลต่อการบดข้าวหอมมะลิ

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวหอมมะลิไทย พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1.4.2 เครื่องที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง(Hammer mill) GC Equipment 08031

1.4.3 ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่สำหรับการลดขนาดข้าวหอมมะลิตั้งอยู่ที่ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร

1.4.4 เครื่องบดเมล็ดข้าวเป็นดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryz Sativa L.* ชื่อสามัญ Jasmin rice อยู่ในวงศ์ Gramineae หรือ Poaceae เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย ข้าวหอมมะลิ ชอบ ดินปนทราย พื้นที่เป็นนาดอน ใช้น้ำฝนในการเพาะเลี้ยง จะได้ผลผลิตดีที่สุด เมล็ดข้าวจะยาวเรียวยาว บิดนิดๆ ขาวใส พอแกะออกมาเป็นข้าวกล้อง จะเป็นสีขาว ใส ที่สำคัญคือที่เมล็ดไม่มีท้องไข มีจมูกข้าวเล็ก ข้าวหอมมะลิมีกลิ่นหอมในตนเอง เป็นกลิ่นของธรรมชาติอันบริสุทธิ์กลิ่นเหมือนใบเตย เวลาเคี้ยวเมล็ดข้าวจะนุ่มหอมกว่าข้าวอื่นๆ ลักษณะของข้าวหอมมะลิไทยจะมีเมล็ดเรียวยาวสวยงาม สีขาวหรือครีมอ่อนๆ ความหอมของข้าวหอมมะลิเกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นสารที่ระเหยหายไปได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่ การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาข้าวเปลือกการสีข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่สีเรียบร้อยแล้วการจะรักษาความหอมของข้าวเอาไว้ต้องพยายามหลีกเลี่ยงภาวะแวดล้อมที่ร้อนอบอ้าว และมีความชื้นสูง การตากแดดหรือใกล้สถานที่ร้อนจัดเป็นเวลานานๆ เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง สภาพที่เหมาะสมคือที่มีอากาศค่อนข้างเย็น มีการถ่ายเทของอากาศดี ความชื้นไม่สูง (แสงนวล , 2548)

พันธุ์ข้าวหอมที่เป็นที่นิยมมี 2 สายพันธุ์ คือ

- 1) ข้าวดอกมะลิ 105 หรือที่เรียกทั่วไปว่าข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสงอย่างอ่อน ปลุกให้ผลดีในฤดูนาปี ความสูงถึงคอรวงเฉลี่ย 140 เซนติเมตร ความยาวจากคอรวงถึงปลายรวงเฉลี่ย 33 เซนติเมตร กอตั้ง ปล้องสีเหลืองอ่อน กาบใบและใบสีเขียว มีขนบนใบ ปลายใบตกรัด ถิ่นใบสีเขารูปรางแหลมมี 2 ยอด หูใบและข้อต่อใบสีเขียวอ่อน ปลายยอดดอกสีขาว กลีบรองดอกสีขาว กลีบรองดอกสีขาว ยอดเกสรตัวเมียสีขาว ต้นข้าวแข็งปานกลาง (มีลัมบ้า) รวงแน่นปานกลาง คอรวงยาว ระแงะ ใบธงเอนปานกลาง ใบแห้งค่อนข้างเร็ว เปลือกเมล็ดและยอดเมล็ดสีฟาง มีขนสั้นบนเปลือกเมล็ด กลีบรองดอกสีฟาง น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด ประมาณ 27.9 กรัม เมล็ดข้าวเปลือกยาว 10.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.6 มิลลิเมตร และหนา 2.0 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องรูปร่างเรียวยาว 7.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร หนา 1.7 มิลลิเมตร ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ผลผลิตเฉลี่ย 515 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นที่นิยมของผู้บริโภคข้าวพันธุ์นี้มีข้อดีตรงที่เจริญได้ดีในที่นาดอนทั่วไป ทนต่อสภาพแห้งแล้ง ทนดินเปรี้ยวดินเค็มได้ดี จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่า เป็นข้าวที่มีอมิโลสต่ำ (12-16%) จึงเป็นข้าวที่หุงสุกแล้วมีลักษณะเหนียวนุ่ม และมีกลิ่นหอม มีวิตามินบี 1 และบี 2 ปริมาณ 21.1 และ 6.4 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม กรดไลซีน 10.3% และโปรตีน 9.5% (กรมการข้าว , 2553)

- 2) กข15 เป็นข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสงอย่างอ่อน เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยทำการอาบรังสีแกมมาปริมาณ 15 และ 30 กิโลเรด แล้วนำข้าวที่ได้ไปปลูกและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดเลือกจนได้สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105’65G,U-45 ที่ได้จากการอาบรังสี 15 กิโลเรด ซึ่งแสดงลักษณะเด่นภายใต้สภาพการปลูกในนาที่อาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือข้าวพันธุ์นี้มีข้อดีตรงที่ทนแล้งดีกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 และอายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่า 10 วัน ให้ผลผลิตสูงกว่า และมีต้นเตี้ย เมื่อหุงสุกจะมีความหอม และมีค่าอมิโลสต่ำ (13-18%) แต่มีลำต้นที่อ่อน ล้มง่าย เมล็ดร่วงง่าย ไม่เหมาะกับนาที่ระบายน้ำออกไม่ได้

2.1.1 เกณฑ์ในการจำหน่ายข้าวข้าวดอกมะลิ

เกณฑ์ในการจำหน่ายข้าวขาวมี 6 ชั้นคุณภาพดังนี้ 1.ข้าวขาว 100% 2.ข้าวขาว 5% 3.ข้าวขาว 10% 4.ข้าวขาว 15% 5.ข้าวขาวหักเอว้นเลิศพิเศษ 6.ข้าวขาวหักเอว้นเลิศ โดยแสดงลักษณะขนาดของข้าวดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของข้าวขาวประเภทต่างๆ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ , 2555)

| ชนิดข้าวขาว | พื้นขาว (หน่วยร้อยละ)       |                                    |                                    |                                   | ส่วน<br>ของต้น<br>ข้าว | ส่วน<br>ของ<br>ข้าวหัก | ส่วนผสม (หน่วยร้อยละ) |             |                                                                                   |                                                                                          | ข้าวและสิ่งที่ยากมีปนได้ไม่เกิน (หน่วยร้อยละ) |                                                          |                 |        |               |                      |                                                                                                         |                            | ระดับการสี |
|-------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|--------|---------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------|
|             | เมล็ดขาว                    |                                    |                                    |                                   |                        |                        | ข้าว<br>เมล็ด<br>เต็ม | ตัน<br>ข้าว | ข้าวหักและปลายข้าวชั้น                                                            |                                                                                          |                                               | เมล็ดแดง<br>และหรือ<br>ข้าวเมล็ด<br>สีต่ำกว่า<br>มาตรฐาน | เมล็ด<br>เหลือง | ท้องไข | เมล็ด<br>เสีย | ข้าว<br>เพียว<br>ขาว | เมล็ดลีบ<br>เมล็ดอ่อน<br>เมล็ดฟกช้ำ<br>และวัตถุอื่น<br>อย่างใด<br>อย่างหนึ่ง<br>หรือหลาย<br>อย่างรวมกัน | ข้าวเปลือก<br>เมล็ด/กก.    |            |
|             | ชั้น 1<br>(เกิน<br>7.0 มม.) | ชั้น 2<br>(เกิน<br>6.6-7.0<br>มม.) | ชั้น 3<br>(เกิน<br>6.6-7.0<br>มม.) | เมล็ดสั้น<br>(ไม่เกิน<br>6.2 มม.) |                        |                        |                       |             | ทั้งหมด<br>(รวมทั้งข้าว<br>หักที่ไม่ผ่าน<br>ตะแกรงเบอร์<br>7 และปลาย<br>ข้าวชั้น) | ข้าวหักที่มี<br>ความยาวไม่<br>ถึงส่วนชั้นค่า<br>ที่กำหนด และ<br>ไม่ผ่าน<br>ตะแกรงเบอร์ 7 | ปลาย<br>ข้าว<br>ชั้น<br>อื่น                  |                                                          |                 |        |               |                      |                                                                                                         |                            |            |
|             |                             |                                    |                                    |                                   |                        |                        |                       |             |                                                                                   |                                                                                          |                                               |                                                          |                 |        |               |                      |                                                                                                         |                            |            |
| 100%ชั้น 1  | >70.0                       | -                                  | <5.0                               | 0                                 | >8.0                   | >5.0-<8.0              | >50.0                 | -           | <4.0                                                                              | 0                                                                                        | 0                                             | 0                                                        | 0               | 3.0    | 0             | 1.5                  | 0                                                                                                       | 5                          | ลัดพิเศษ   |
| 100%ชั้น 2  | >40.0                       | -                                  | <5.0                               | >8.0                              | >5.0-<8.0              | >50.0                  | -                     | <4.5        | <4.0                                                                              | <0.1                                                                                     | 0                                             | 0.2                                                      | 6.0             | 0.25   | 1.5           | 0.2                  | 7                                                                                                       | ลัดพิเศษ                   |            |
| 100%ชั้น 3  | >30.0                       | -                                  | <5.0                               | >8.0                              | >5.0-<8.0              | >50.0                  | -                     | <5.0        | <4.5                                                                              | <0.1                                                                                     | 0                                             | 0.2                                                      | 6.0             | 0.25   | 1.5           | 0.2                  | 7                                                                                                       | ลัดพิเศษ                   |            |
| 5%          | >20.0                       | -                                  | <10.0                              | >7.5                              | >3.5-<7.5              | >50.0                  | -                     | <7.0        | <5.0                                                                              | <0.1                                                                                     | 2.0                                           | 0.5                                                      | 6.0             | 0.25   | 1.5           | 0.3                  | 10                                                                                                      | ลัด                        |            |
| 10%         | >10.0                       | -                                  | <15.0                              | >7.0                              | >3.5-<7.0              | >55.0                  | -                     | <12.0       | <7.0                                                                              | <0.3                                                                                     | 2.0                                           | 1.0                                                      | 7.0             | 0.5    | 1.5           | 0.4                  | 15                                                                                                      | ลัด                        |            |
| 15%         | >5.0                        | -                                  | <30.0                              | >6.5                              | >3.5-<6.5              | >55.0                  | -                     | <17.0       | <12.0                                                                             | <0.5                                                                                     | 5.0                                           | 1.0                                                      | 7.0             | 1.0    | 2.0           | 0.4                  | 15                                                                                                      | ลัดปานกลาง                 |            |
| 25%เลิศ     | >50.0                       | <50.0                              | <5.0                               | >5.0                              | <5.0                   | >40.0                  | -                     | <28.0       | <17.0                                                                             | <1.0                                                                                     | 5.0                                           | 1.0                                                      | 7.0             | 1.0    | 2.0           | 1.0                  | 15                                                                                                      | ลัดปานกลาง                 |            |
| 25%         | >50.0                       | <50.0                              | <5.0                               | >5.0                              | <5.0                   | >40.0                  | -                     | <28.0       | <28.0                                                                             | <2.0                                                                                     | 7.0                                           | 1.0                                                      | 8.0             | 2.0    | 2.0           | 2.0                  | 20                                                                                                      | ลัดรวมค่าไม่เกินลัดปานกลาง |            |
| 35%         | >50.0                       | <50.0                              | <5.0                               | >5.0                              | <5.0                   | >32.0                  | -                     | <40.0       | <28.0                                                                             | <2.0                                                                                     | 7.0                                           | 1.0                                                      | 10.0            | 2.0    | 2.0           | 2.0                  | 20                                                                                                      | ลัดรวมค่าไม่เกินลัดปานกลาง |            |
| 45%         | >50.0                       | <50.0                              | <5.0                               | >5.0                              | <5.0                   | >28.0                  | -                     | <50.0       | <40.0                                                                             | <3.0                                                                                     | 7.0                                           | 1.0                                                      | 10.0            | 2.0    | 2.0           | 2.0                  | 20                                                                                                      | ลัดรวมค่าไม่เกินลัดปานกลาง |            |

< น้อยกว่า < น้อยหรือเท่ากับ  
> มากกว่า > มากกว่าหรือเท่ากับ  
0 = ไม่มี - ไม่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 มูลค่าทางเศรษฐกิจของข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยรวมทั้งประชากรโลกหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในทวีปเอเชีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และแอฟริกาซึ่งเป็นประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลักจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ปริมาณการส่งออกของข้าวที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเหตุเพราะการมีอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวของไทยปี 2553-2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

| ปี               | ปริมาณ (ล้านตันข้าวสาร) | มูลค่า (ล้านบาท)  |
|------------------|-------------------------|-------------------|
| 2553             | 8.940                   | 168,193           |
| 2554             | 10.711                  | 193,842           |
| 2555             | 6.734                   | 142,976           |
| 2556             | 6.612                   | 133,839           |
| 2557*            | 10.000                  | 180,000           |
| อัตราเพิ่มร้อยละ | -2.55                   | -2.32             |
| 2558*            | 9.000 - 10.000          | 170,000 - 180,000 |

หมายเหตุ : \* ประมาณการ ณ เดือนพฤศจิกายน 2557

2.2 การแปรรูปข้าว

ในปัจจุบันเริ่มมีงานวิจัยเกี่ยวกับการแปรรูปข้าว มากขึ้น และที่น่าสนใจคือมีหลายผลิตภัณฑ์ที่กำลังพัฒนาขึ้นมานั้นมีโอกาสร้างมูลค่าได้อย่างมากมายเหนือกว่าตัวข้าวสารเองหลายเท่าตัว ซึ่งหากทำได้สำเร็จก็จะเป็นทางออกหนึ่งในการลดปริมาณข้าวสารล้นตลาดและปัญหาเรื่องของราคาตกต่ำก็น่าจะหมดไป ประเทศที่ผลิตข้าวมาก เช่นญี่ปุ่นก็ให้ความสนใจเรื่องการแปรรูปข้าวเช่นกัน อย่างเช่นการวิจัยเพื่อนำข้าวมาทำแป้งขนมปังแทนข้าวสาลี ในข้าวสาลีมีโปรตีนชนิดหนึ่งชื่อว่ากลูเตนซึ่งบางคนมีอาการแพ้ โดยโปรตีนตัวนี้ไม่มีในข้าว ดังนั้นแป้งขนมปังจากข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับคนที่แพ้กลูเตน สำหรับเมืองไทยก็เช่นกัน ตอนนี้ก็กำลังมีการพัฒนาแป้งข้าว เพื่อนำมาใช้ทำประโยชน์อย่างอื่นเช่นทำเบหมิ ซึ่งแต่เดิมก็ต้องมีการใช้แป้งสาลีในการทำเช่นกัน หากทำเช่นนี้ได้สำเร็จก็จะทำให้การใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวกว้างขวางกว่าเดิม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พยายามหาทางผลิตโปรตีนที่สกัดจากรำข้าว โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน กลายเป็นอาหารเพื่อสุขภาพซึ่งตลาดมีความต้องการสูง ในขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาข้าวออก ไม่ว่าจะเป็นการนำข้าวกล้องหรือข้าวขาวมาผ่านกระบวนการทำให้สุกก่อนและนำมาแปรรูปหรือบริโภค ก็จะได้คุณค่าทางอาหารอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นผลดีต่อร่างกาย และกลายเป็นสินค้าที่กำลังได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน ที่น่าสนใจคือในข้าวมีสารต่างๆ ที่พบว่ามีผลดีต่อร่างกาย เช่นบางตัวมีคุณสมบัติลดน้ำตาลในเลือดได้ บางอย่างช่วยลดคอเลสเตอรอล บางตัวลดอาการภูมิแพ้ ดังนั้นถ้าสกัดสารเหล่านี้ออกมาบรรจุแคปซูล หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ก็จะเป็นประโยชน์ได้มากและสามารถขยายตลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กว้างขวางขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการแปรรูปข้าวเพื่อนำมาใช้บริโภคโดยตรง ก็ยังมีผลิตภัณฑ์อื่นจากข้าวที่หลายคนนึกไม่ถึง อย่างเช่นการพัฒนาแป้งข้าวมาทำเป็นเยื่อบางสำหรับเคลือบเม็ดยา นำมาผลิตเป็นเจลผสมยาเพื่อใช้ในการทำยาสำหรับใช้ในช่องปาก เช่นก่อนการถอนฟันหรือทำฟัน เป็นต้น แม้กระทั่งนำมาทำเครื่องสำอาง ไม่ว่าจะเป็นผงหรือครีมขัดผิว ครีมพอกหน้า ลดริ้วรอยต่างๆ ซึ่งตอนนี้บางส่วนก็ทำได้สำเร็จและพร้อมออกมาจำหน่ายแล้ว นอกจากการนำตัวเนื้อข้าวมาใช้ประโยชน์แล้ว บรรดาเศษเหลือทั้งหลายไม่ว่าจะเป็นรำข้าว แกลบ ฟาง ก็ล้วนแล้วแต่มีประโยชน์มากกว่าที่คิด ยกตัวอย่างเช่นตอนนี้มีความพยายามสกัดสารให้ความหวานจากฟางข้าว หากทำได้สำเร็จก็จะช่วยลดต้นทุนการนำเข้าและจะเป็นประโยชน์ในวงการอาหารสุขภาพมาก เพราะสารให้ความหวานที่ได้นี้จะให้ความหวานได้เท่ากับน้ำตาลซูโครสที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ แต่ว่าให้พลังงานต่ำกว่า จึงใช้กับคนที่เป็โรคเบาหวานได้ เหมาะกับสถานการณ์ปัจจุบันที่โลกกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (ดร.พีรเดช , 2556)

### 2.3 การลดขนาด (Size reduction)

การลดขนาดเป็นหน่วยปฏิบัติการในกระบวนการแปรรูป โดยทำให้ขนาดของชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งมีขนาดเล็กลงด้วยวิธีทางกลโดยใช้แรงอัด แรงกระแทก แรงเฉือน และแรงตัด เป็นการให้พลังงานเพื่อทำลายแรงยึดเหนี่ยวของสารโดยจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลง การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดขนาด แป้งหรืออนุภาคเล็กๆ เรียกว่าการบดละเอียด (Comminution)

#### 2.3.1 การลดขนาดในอาหารแข็ง (Size reduction in solid food)

แรงในการลดขนาดอาหารแข็งมีอยู่ 4 ชนิด

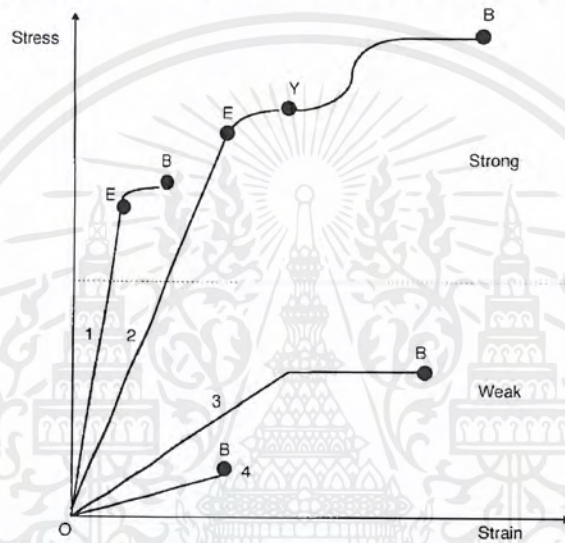
1. แรงบีบอัด (Compression force) โดยทั่วไปแล้วแรงบีบอัดจะใช้สำหรับการลดหยาบของวัตถุแข็งเกร็ง สำหรับการบดหยาบ
2. แรงกระแทก (Impact force) แรงกระแทกเป็นการกระทำแบบเคลื่อนที่สามารถใช้ลดขนาดได้ทั้งหยาบปานกลาง และ ละเอียด
3. แรงเฉือน (Shearing force) แรงประเภทนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดมากจากของนุ่ม และ ของที่ไม่ทำให้เกิดการขูดถลอก
4. แรงตัด (Cutting force) แรงตัดให้ความละเอียดน้อยการใช้แรงตัดจะทำให้ได้ขนาดของวัตถุที่แน่นอนหรือรูปร่างที่แน่นอนด้วยในบางกรณี

#### 2.3.2 ลักษณะของแรงการเปลี่ยนรูปของอาหารแข็ง

เมื่ออาหารได้รับแรงจากภายนอกจะเกิดการเปลี่ยนรูปภายในเป็นการดูดซับแรงขั้นแรกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ของตัวเนื้อเยื่อ ถ้าการเปลี่ยนแปลงไม่เกินจุด elastic stress limit เนื้อเยื่อจะสามารถกลับไปยังรูปทรงเดิมได้เมื่อหยุดให้แรงนั้นกับอาหาร และพลังงานที่สะสมไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อน แต่หากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเกินจุด elastic stress limit จะทำให้อาหารเกิดการจะเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Permanently deform) และหากการให้แรงยังดำเนินต่อไปจนถึง Yield point จะทำให้อาหารเริ่มไหล และสุดท้ายเมื่อเกิน Breaking point อาหารจะเกิดการแตกไปตาม Line of weakness พลังงานที่ถูกสะสมไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของเสียง และความร้อนในการลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการลดขนาดมีน้อยมากจนแทบจะเป็น 1% หลังจากทีขนาดของชิ้นอาหารลดลงแล้ว จะต้องใช้ Breaking stress (ความเค้นที่ทำให้แตกหัก) มากขึ้นจึงจะทำให้มีการแตกหัก เนื่องจากมี Line of weakness เหลืออยู่น้อยลง จนกระทั่งไม่มี Line of weakness เหลืออยู่ เพื่อจะลดขนาดต่อไปจำเป็นที่จะต้องมีการให้พลังงานเพื่อให้มีรอยแตกใหม่เกิดขึ้น ส่วนอาหารที่ยังมีความแข็งแรงมากก็จะมีแรงกดที่มาก แรงแบบอัดเหมาะที่จะใช้สำหรับอาหารที่มีความเปราะ แรงแบบกระแทกผสมกับแรงแบบเฉือนเหมาะที่จะใช้สำหรับอาหารที่มีเส้นใย และแรงแบบเฉือนเหมาะที่จะใช้สำหรับอาหารที่อ่อนนุ่ม ในการทำให้อาหารแตกด้วยแรงขนาดต่ำเป็นเวลานานจะเกิดพลังงาน และเกิดความร้อนขึ้นในอาหาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรง และระยะเวลาที่ให้แรง จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ควรพิจารณาขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อไม่ให้มีพลังงานที่สูญเสียไปในการทำให้เกิดอนุภาคที่เล็กเกินกว่าที่ต้องการโดยเปล่าประโยชน์ (P. Fellows, 2000.)



รูปที่ 2.1 กราฟ Stress และ Strain ของอาหารแข็งรูปแบบต่างๆ 1.แข็งแต่เปราะ 2.แข็งและเหนียว 3.อ่อนและเหนียว 4.อ่อนและแตกง่าย

### 2.3.3 ปริมาณพลังงานต้องการเพื่อใช้ลดขนาดอาหารแข็ง

#### 1) Kick's law

พลังงานที่ใช้ในการลดขนาดเป็นสัดส่วนกับ สัดส่วนของขนาดเริ่มต้นกับขนาดสุดท้ายที่ต้องการ

$$E = K_K \ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right) \quad (2.1)$$

โดยที่ E เป็นพลังงานที่ต้องการ (J),  $K_K$  เป็นค่าคงที่ของ Kick (Kick's constant),  $d_1$  เป็นขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเริ่มต้น (m),  $d_2$  เป็นขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่ต้องการ

#### 2) Rittinger's law

พลังงานที่ใช้ในการลดขนาดเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวที่เปลี่ยนไป

$$E = K_R \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \quad (2.2)$$

โดยที่ E เป็นพลังงานที่ต้องการ (J),  $K_R$  เป็นค่าคงที่ของ Rittinger (Rittinger's constant),  $d_1$  เป็นขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเริ่มต้น (m),  $d_2$  เป็นขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่ต้องการ  $\frac{d_1}{d_2}$  หรือ อัตราส่วนการลดขนาด (Size reduction ratio ; RR) สามารถใช้ในการประเมินความสัมพันธ์ของความสามารถของอุปกรณ์ชนิดต่างชนิดกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) Bond's law

$$\frac{E}{W} = \sqrt{\left(\frac{100}{d_2}\right)} - \sqrt{\left(\frac{100}{d_1}\right)} \quad (2.3)$$

โดยที่ W เป็นค่าดัชนีงานของ Bond (Bond work index) ( $\text{J kg}^{-1}$ ) , E เป็นพลังงานที่ต้องการ (J) ,  $d_1$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงที่สารเริ่มต้นสามารถผ่านได้ 80% (m) ,  $d_2$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงที่สารที่ได้สามารถผ่านได้ 80% (Ortega-Rivas)

จากการทดลองกับถ่านหิน และหินเขี้ยวหนุมาน พบว่า Kick's law ใช้ได้ผลดีกับช่วงสารที่หยาบที่พื้นที่ผิวต่อมวลเพิ่มขึ้นน้อย Rittinger's law ใช้ได้ผลดีกับการบดละเอียดที่พื้นที่ผิวต่อมวลเพิ่มขึ้นมาก และ Bond's law ใช้ได้ผลดีในช่วงระหว่างทั้งสองสมการ

อัตราการลดขนาด (Reduction rate, RR, U) คือสัดส่วนของขนาดเฉลี่ยเริ่มต้นต่อขนาดเฉลี่ยสุดท้ายของวัตถุ

$$\text{Reduction rate} = \frac{X_{\text{feed}}}{X_{\text{prod}}} \quad (2.4)$$

#### 2.3.4 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการลดขนาด

- 1) ความชื้น วัตถุแต่ละอย่างมีความชื้นที่เหมาะสมต่อการลดขนาดในแต่ละระดับแตกต่างกันตามแต่วัตถุนั้นๆ
- 2) ความไวต่อความร้อน สามารถนำมาใช้ประมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้น และพิจารณาการหล่อเย็นเครื่องบด
- 3) ความต้านทานของแรงที่นำมาใช้
- 4) เวลาที่วัตถุอยู่ภายใต้การถูกแรงกระทำ

#### 2.3.5 ผลของการลดขนาดกับอาหาร

การลดขนาดถูกนำมาใช้ในการประมวลผลในการควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสหรือการไหลของอาหาร และการปรับปรุงประสิทธิภาพของการผสมและการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวของอาหารหลายอย่าง (เช่น ขนมปัง แอมเบอร์เกอร์และ น้ำผลไม้ ) ถูกควบคุมโดยเงื่อนไขที่ใช้ในระหว่างการลดขนาดของส่วนผสม นอกจากนี้ยังมี ผลกระทบ ทางอ้อมต่อ กลิ่นหอม และรสชาติของอาหารบางอย่าง การทำลายของเซลล์และส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว แรงการเสื่อมสภาพ แรงการออกซิเดชัน และอัตราการเจริญเติบโตและ เอนไซม์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดขนาดจึงมีผลต่อการเก็บรักษาน้อยหรือ ไม่มีผลกระทบเลย อาหารแห้ง ( สำหรับ ธัญพืช เช่น ถั่ว ) ที่มี AW ต่ำ จะอนุญาตให้มีอายุการจัดเก็บได้หลายเดือนหลังจากถูกบดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในเชิงคุณค่าทางโภชนาการ หรือ คุณภาพในการรับประทาน แต่อาหารที่มีความชื้นเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วหากไม่มีการใช้สารกันบูด

คุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นเรื่องเล็กๆที่ส่วนใหญ่ไม่ถูกรายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของ สี กลิ่น และ รส ของอาหารแห้งในระหว่างการลดขนาด การออกซิเดชันของแคโรทีนฟอกขาวข้าวและลดคุณค่าทางโภชนาการ มีการสูญเสียจากกระเหยในเครื่องเทศและถั่วบางชนิด ซึ่งจะถูกรังทำให้อุณหภูมิในขณะบดมีค่าไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูง ในอาหารที่มีความชื้นการเสียหายของเซลล์ทำให้เอนไซม์และสารตั้งต้นผสมกันได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของ สี กลิ่น และ รส เร็วขึ้น นอกจากนี้ การหลุดออกมาขององค์ประกอบภายในเซลล์ยังเป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และ ยังทำให้ กลิ่น และ รส จางหายไปอีกด้วย เนื้อสัมผัสของอาหารถูกทำให้เปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญจากการลดขนาดทางกายภาพของเนื้อเยื่อและจากการปล่อยไฮโดรไลติกเอนไซม์(Hydrolytic enzyme) ประเภทและระยะเวลาของการลดขนาดและความล่าช้าก่อนการนำไปเข้ากระบวนการเก็บรักษาจะถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ต้องการ

คุณค่าทางโภชนาการ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของอาหารระหว่างการลดขนาดทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจากการออกซิเดชันของกรดไขมันและแคโรทีน สูญเสียวิตามินซีในการสับหรือหั่นบาง ผักและผลไม้เป็นรูปธรรม สูญเสียระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นของอาหารและความเข้มข้นของออกซิเจน

ตารางที่ 2.3 แสดงผลกระทบจากการไม่ต่อปริมาณวิตามิน

| Product                     | Content per 100 g |                   |              |                 |             |                |                       |                             |                 |             |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|
|                             | Vitamin A (IU)    | a-Tocopherol (mg) | Thiamin (mg) | Riboflavin (mg) | Niacin (mg) | Vitamin C (mg) | Pantothenic acid (mg) | Vitamin B <sub>6</sub> (mg) | Folic acid (µg) | Biotin (µg) |
| Maize Kernel                | 400               | 1.43              | 0.15         | 0.12            | 1.7         | 12             | 0.54                  | 0.16                        | 26.8            | 11.0        |
| Flour                       | 340               | —                 | 0.20         | 0.06            | 1.4         | 0              | —                     | —                           | —               | —           |
| Rice Grain                  | 0                 | 0.68              | 0.34         | 0.05            | 4.7         | 0              | 1.10                  | 0.55                        | 20.2            | 12.0        |
| White grain                 | 0                 | 0.10              | 0.07         | 0.03            | 1.6         | 0              | 0.55                  | 0.17                        | 14.1            | 5.0         |
| Bran                        | 0                 | —                 | 2.26         | 0.25            | 29.8        | 0              | 2.8                   | 2.5                         | 150             | 60          |
| Wheat Grain (hard)          | 0                 | 1.35              | 0.57         | 0.12            | 4.3         | 0              | 1.5                   | 0.4                         | 14.4            | 12          |
| 80% extraction <sup>a</sup> | —                 | —                 | 0.25         | 0.08            | 1.6         | —              | 0.9                   | 0.11                        | 13              | 1.4         |
| 70% extraction <sup>a</sup> | —                 | —                 | 0.08         | 0.05            | 1.1         | —              | 0.7                   | 0.06                        | 10              | 1.1         |
| Bran                        | 0                 | 1.71              | 0.72         | 0.35            | 21.0        | 0              | 2.9                   | 0.82                        | 155             | 49          |

<sup>a</sup> Percentage extraction = weight of flour per 100 parts of flour milled.  
Adapted from Houston and Kohler (1970), Bauernfeind (1977), Toepfer et al. (1951) and Frigg (1976).

2.4 เครื่องมือลดขนาดสำหรับของแข็ง

เครื่องมือลดขนาดสำหรับของแข็งมีระบบการทำงานแบ่งได้เป็น 5 ระบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. ระบบปิด เป็นระบบที่ง่ายที่สุดโดยวัตถุที่ต้องการลดขนาดจะผ่านเครื่องมือลดขนาดเพียงครั้งเดียว ไม่มีการแยกเอาวัตถุที่ลดขนาดแล้วแต่ยังไม่ได้ขนาดที่เล็กพอตามความต้องการกลับมาลดขนาดใหม่ วัตถุที่ผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องมือประเภทนี้จะมีการกระจายของขนาดในช่วงกว้าง เครื่องมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำ
  2. ระบบป้อนในแนวตั้ง ระบบนี้คล้ายกับระบบแรกแต่การป้อนวัตถุดิบที่ต้องการลดขนาดเข้าสู่เครื่องจะทำในแนวตั้งโดยใช้แรงโน้มถ่วงทำให้วัตถุถูกลดขนาดในช่วงเวลาสั้น
  3. ระบบที่มีการใช้ตะแกรงช่วยลดขนาด ในระบบนี้จะเพิ่มตะแกรงช่วยกันวัตถุดิบที่ถูกลดขนาดก่อนออกจากเครื่อง วัตถุจะถูกกักอยู่ในเครื่องจนถูกลดขนาดให้เล็กพอที่จะผ่านตะแกรงได้ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดขนาดจะนานขึ้น
  4. ระบบเปิด ระบบนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการลดขนาดจะสั้นวัตถุที่ผ่านเครื่องแล้วจะถูกนำไปแยกเอาวัตถุที่ยังมีขนาดใหญ่ออกแล้วนำกลับมามบดซ้ำ วิธีแยกวัตถุที่มีขนาดใหญ่ออกจะใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับวิธีการขน
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

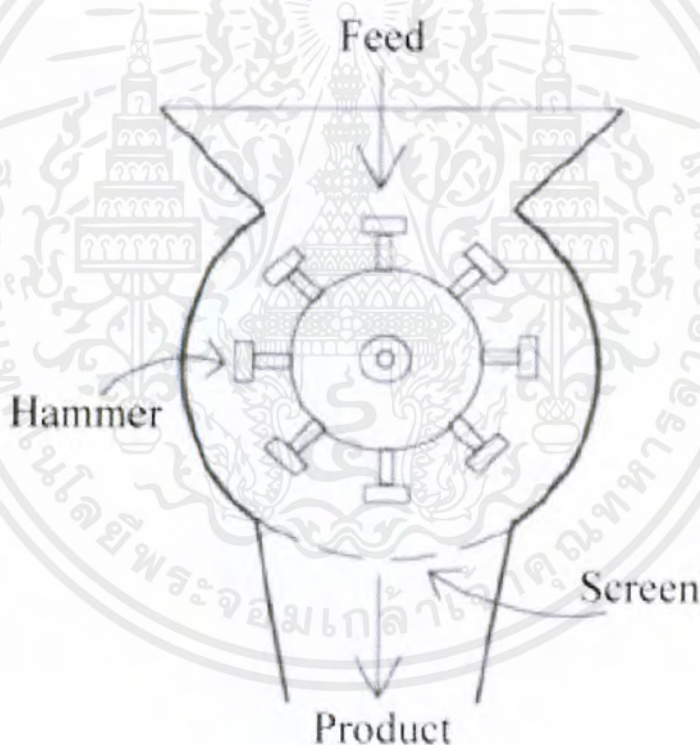
ถ่ายภายในระบบ เช่นการขนถ่ายที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงหรือแรงกลนิยมแยกโดยใช้ตะแกรง หรือหากขนถ่ายโดยใช้ระบบนิวแมติกจะแยกด้วยไซโคลน เป็นต้น

5. ระบบเปียก นิยมใช้กับวัสดุที่ทำให้เปียกได้โดยไม่เกิดความเสียหายวัตถุดิบจะถูกลดขนาดในขณะที่แขวนลอยทำให้ระบบปราศจากปัญหาเรื่องฝุ่นและมีอัตราการได้ผลผลิตที่สูง หลังจากการลดขนาดแล้วจะแยกวัตถุดิบออกจากน้ำโดยการทิ้งให้ตกตะกอนหรือใช้การหมุนเหวี่ยง การลดขนาดแบบนี้จะใช้พลังงานมากแต่จะลดขนาดได้ละเอียด (จิรารัตน์ , 2547)

#### 2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดอาหารแห้ง

เครื่องมือลดขนาดอาหารแห้งมักเรียกว่า เครื่องบด(mill) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนี้

1. เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill)



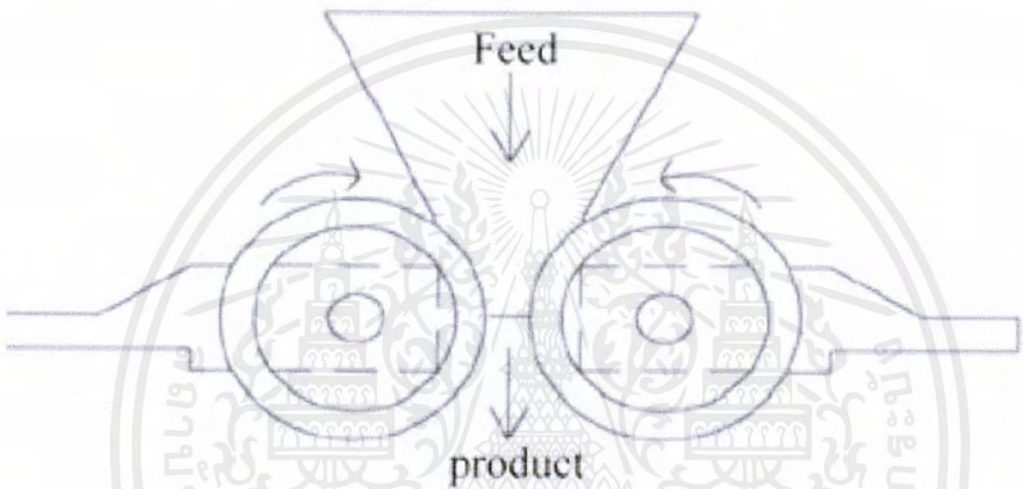
รูปที่ 2.2 Hammer mill

เครื่องบดชนิดนี้มีโรเตอร์ความเร็วสูง(ความเร็วของปลายค้อนบดอาจสูงถึง 110เมตรต่อวินาที)อยู่ในห้องทรงกระบอก ปกติเพลามักจะวางตัวในแนวนอนและป้อนอาหารจากด้านบนของห้องไม่และร่วงผ่านไปยังช่องเปิดสู่ด้านล่างของห้องไม่ อนุภาคจะถูกทำให้แตกด้วยค้อนเหวี่ยงที่ยึดกับแผ่นโรเตอร์ อนุภาคที่ถูกป้อนเข้ามาจะไม่สามารถหนีไปไหนได้และถูกค้อนตีแตกออกเป็นส่วนใหญ่ไปกระแทกกับทั้งที่อยู่บนเสื่อหุ้มภายในห้องบด และแตกเป็นส่วนใหญ่ลงไปอีก ตีเข้าไปมาอยู่ในห้องบดไปเรื่อยๆ จนอนุภาคมีขนาดเล็กพอที่จะสามารถผ่านช่องเปิดแผ่นตะแกรงซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยตะแกรงจะติดตั้งอยู่ที่ด้านล่างของห้องบด เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยงสามารถนำไปใช้ลดขนาดวัตถุได้หลากหลายประเภทมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปอัตราการลดขนาดของเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง อยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 25พลังงานจลน์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานที่ทำให้วัตถุแตก(E) หากวัตถุที่ป้อนเข้ามามีขนาดใหญ่ ค้อนควรจะมียาวที่มากพอด้วย

$$E = \frac{m \cdot u^2}{2} \tag{2.5}$$

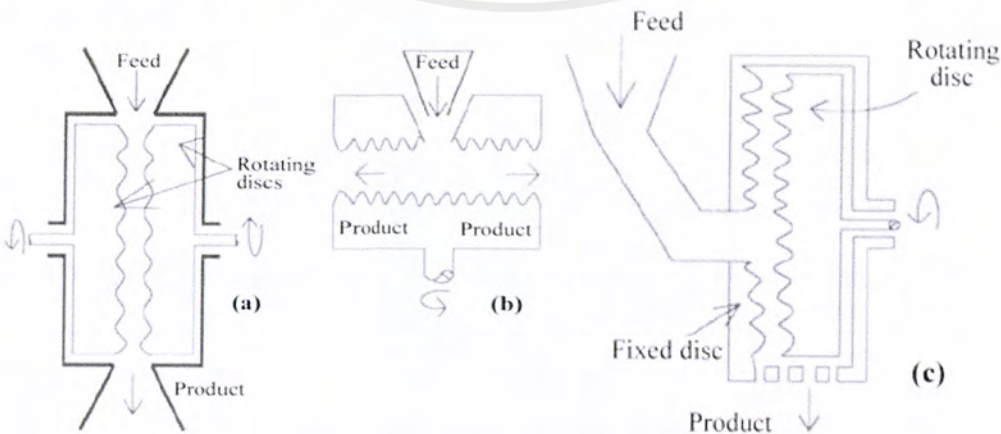
2.เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง(Crushing rolls)



รูปที่ 2.3 Crushing roll

เครื่องบดชนิดนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่มีน้ำหนัสูงตั้งแต่ 2 อันขึ้นไปหมุนเข้าหากัน อาหารจะถูกบีบระหว่างช่องว่างของลูกกลิ้ง บางครั้งจะออกแบบให้ความเร็วของการหมุนของลูกกลิ้งแต่ละลูกกลิ้งไม่เท่ากันจึงเกิดแรงเฉือนขึ้น

1. เครื่องบดแบบจาน(Dish mill)

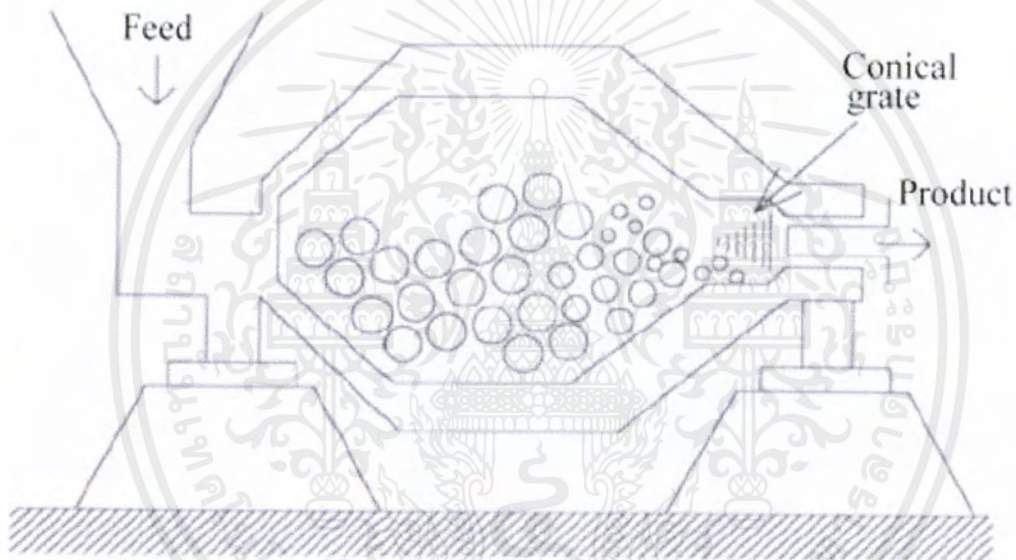


รูปที่ 2.4 Disc mill (a)Single disc mill (b)Double disc mill (c)Buhr mill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ให้บริษัทการพิมพ์และจำหน่ายเอกสารนี้โดยไม่อนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดชนิดนี้มักใช้ในงานบดละเอียด มี 3 ประเภท คือ

- 1.1 เครื่องบดแบบจานเดี่ยว (Single disc mill) จะมีจานหมุนหนึ่งจานและจานที่ติดอยู่กับที่หนึ่งจานโดยจานที่หมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบสูง ช่องว่างระหว่างจานทั้งสองสามารถปรับได้
  - 1.2 เครื่องบดแบบจานคู่ (Double disc mill) จะมีจานหมุนสองจานหมุนเข้าหากันทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัสดุมากกว่าเครื่องบดแบบจานเดี่ยว
  - 1.3 โม้หิน (Buhr mill) มีลักษณะเป็นแผ่นผนังวางประกบกันด้านบนมีช่องใส่วัสดุ นิยมใช้ในการโม่แป้ง
2. เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill)



รูปที่ 2.5 Ball mill

เครื่องบดชนิดนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกวางในแนวระดับภายในบรรจุลูกบอลทำด้วยเหล็กหรือหิน ใส่น้ำประมาณ 20 – 50 % ของปริมาณภายในทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล 25 – 125 มม.ขณะใช้งานจะใส่วัตถุที่ต้องการบดไว้ภายในทรงกระบอกซึ่งวางในแนวระดับแล้วหมุน ลูกบอลภายในจะกลิ้งไปมา เพื่อลดขนาดของวัตถุ

### บทที่ 3

## วัสดุ อุปกรณ์และการทดลอง

### 3.1 วัสดุ

ข้าวหอมมะลิไทย พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตราพนมรุ้ง ชนิดข้าวขาว 15 เปอร์เซ็นต์



รูป 3.1 ข้าวหอมมะลิไทย พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

### 3.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง(Hammer mill) GC Equipment 08031
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UX3200G
- 3) เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo
- 4) เครื่อง sieve shaker
- 5) ชุดตะแกรงทดสอบแบบอเมริกัน(American Standard Test Sieve Series) mesh no. 30 40 50 70 และ 100
- 6) แคลมป์มิเตอร์ ยี่ห้อ Kyoritsu
- 7) ถ้วยสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 เซนติเมตร
- 8) ท็อปฟิสแตนเลส ขนาด 6.9 x 23.7 เซนติเมตร
- 9) ถาดสแตนเลส ขนาด 45 เซนติเมตร
- 10) เครื่องป้อนเมล็ดข้าว(Feeder) ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- 11) เครื่องอัดลม(Air compressor)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Lock&Lock
- 13) นาฬิกาจับเวลา(Timer)
- 14) ตะแกรงของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง ขนาด 0.75 มิลลิเมตร
- 15) ปลั๊กพ่วง

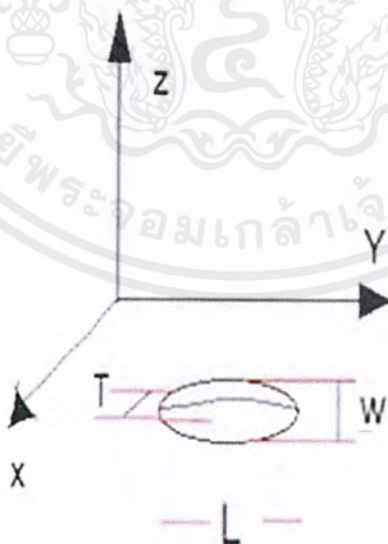
### 3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิไทย การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิไทย ซึ่งการทดลองหาอัตราป้อนนั้นกำหนดตัวแปรควบคุมคือ เวลา การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง มีตัวแปรควบคุมคือ เวลาที่ใช้บด อัตราป้อน ความเร็วของใบมีด(Tip speed) และตะแกรงของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี sieve analysis และการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ

#### 3.3.1 การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ

การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลินั้นหาได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

1. สุ่มเมล็ดข้าวหอมมะลิทั้งหมด 500 เมล็ด
2. วัดความกว้าง ความยาวและความหนาของเมล็ดข้าวตามแกน x แกน y และแกน z ตามลำดับดังรูปที่ 3.2



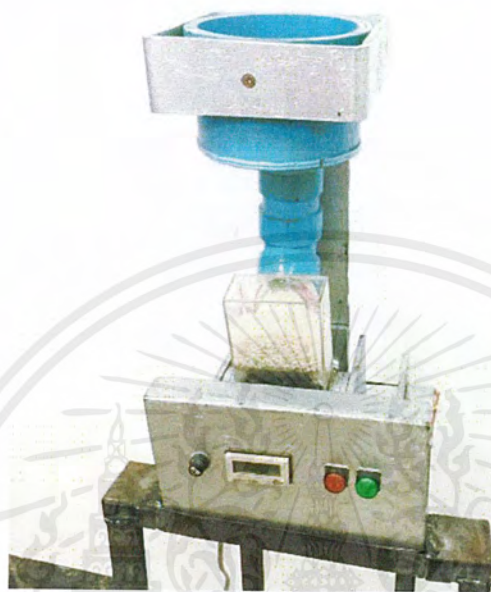
รูปที่ 3.2 แนวแกนของเมล็ดข้าวหอมมะลิ

3. บันทึกข้อมูลความยาวและความกว้างของเมล็ดทั้ง 500 เมล็ด
4. นำความยาวและความกว้างที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิ

1. เตรียมข้าวหอมมะลิไทย ถ้วยสแตนเลสและนาฬิกาจับเวลา ป้อนเมล็ดข้าวหอมมะลิไทยลงในเครื่องป้อนและทำการทดลองเป็นเวลา 5 นาที



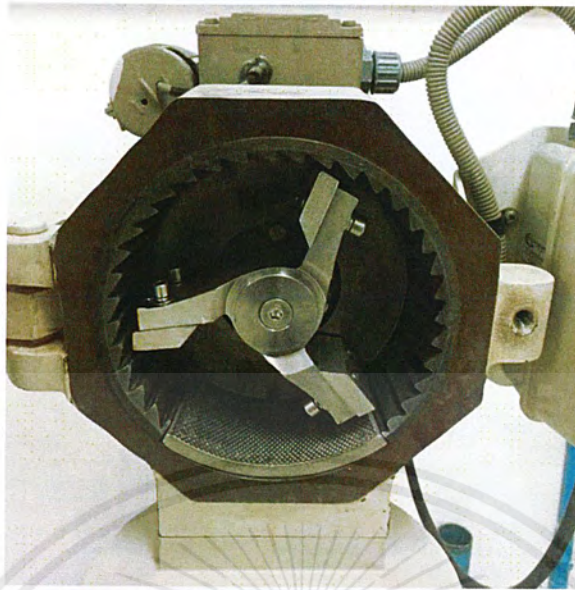
รูปที่ 3.3 เครื่องป้อนเมล็ดข้าวหอมมะลิ

2. เมื่อครบเวลา 5 นาที นำเมล็ดข้าวหอมมะลิไทยในถ้วยสแตนเลสไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UX3200G
3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

### 3.3.3 การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างปลายมีดและห้องโมไว้ทั้งหมด 3 ระยะห่างได้แก่ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละการทดลองหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะทำซ้ำ 3 ครั้ง

1. ติดตั้งและเตรียมเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมใช้งานดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

2. ตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโมด้วยแท่งเหล็กที่มีขนาดตามระยะห่าง 0.2 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโมของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงตามระยะกำหนด

3. เตรียมและตั้งเครื่องป้อนเมล็ดข้าวให้ตรงกับทางเข้าวัตถุบของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การตั้งเครื่องป้อนเมล็ดข้าวและเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

4. ตั้งนาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลา 15 นาที กดสวิตช์เริ่มการทำงานของเครื่องลดขนาดและเริ่มจับเวลาทันทีที่กดสวิตช์เริ่มการทำงานของเครื่องป้อนเมล็ดข้าว
5. เมื่อครบเวลา 15 นาทีกดสวิตช์หยุดการทำงานของเครื่องลดขนาดและเครื่องป้อนเมล็ดข้าว
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยมสองตำแหน่ง



รูปที่ 3.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 6 ซ้ำอีก 2 รอบ
8. เมื่อทำการทดลองที่ระยะห่าง 0.2 เซนติเมตรครบทั้ง 3 ครั้งเปลี่ยนระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องม่เป็น 0.5 และ 0.7 เซนติเมตรตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีsieve analysis

การทดลองหาการกระจายของผลิตภัณฑ์จะได้จากการลดขนาดข้าวหอมมะลิไทยที่ระยะห่างใบมีด และห้องโมไม่เท่ากันผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดที่ระยะห่าง 0.2 0.5และ 0.7 เซนติเมตรตามลำดับ

- 1. เลือกตะแกรงทดสอบมาทั้งหมด 5 ตะแกรงโดยเลือกตะแกรงทดสอบดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีช่องเปิดขนาดเล็กกว่าตะแกรงของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงซึ่งมีช่องเปิดเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 ขนาดช่องเปิดของชุดตะแกรงทดสอบกับ mesh number

| Mesh no. | ขนาดช่องเปิดของตะแกรงทดสอบ (mm) |
|----------|---------------------------------|
| 30       | 0.600                           |
| 40       | 0.425                           |
| 50       | 0.300                           |
| 70       | 0.212                           |
| 100      | 0.150                           |

- 2. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลดขนาดมาแล้ว 150 กรัมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

- 3. เตรียมและตั้งค่าเครื่องsieve shakerที่ความถี่ 5 และตั้งเวลาทำงานที่ 7 นาที
- 4. นำตะแกรงทดสอบแต่ละอันไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยมสองตำแหน่ง
- 5. เตรียมตะแกรงทดสอบให้พร้อมทดลองโดยเรียงจากตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนสุด และเรียงลงมาตามขนาดของช่องเปิดโดยชั้นล่างสุดจะเป็นถาดล่างของชุดตะแกรงทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำผลิตภัณฑ์ใส่ที่ชั้นบนสุดของชุดตะแกรงทดสอบ ซึ่งก็คือตะแกรงทดสอบ mesh no.30 ปิดฝาและนำไปวางบนเครื่องsieve shakerดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การวางชุดตะแกรงทดสอบบนเครื่องsieve shaker

7. กดสวิทช์เริ่มการทำงานของเครื่องsieve shaker รอจนครบเวลา 7 นาที
8. เมื่อครบเวลาและเครื่องหยุดการทำงานแล้วนำตะแกรงทดสอบแต่ละอันไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยมสองตำแหน่ง
9. บันทึกน้ำหนักของตะแกรงทดสอบที่มีผลิตภัณฑ์อยู่บนตะแกรง
10. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณการหากระจายของผลิตภัณฑ์

### 3.3.5 การทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิ

การทดลองนี้ทำพร้อมกับการทดลองการหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงโดยจะวัดกระแสไฟฟ้าระหว่างทำการทดลองหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

1. ฝากลอกหุ้มสายไฟของปลั๊กพ่วงเพื่อแยกสายไฟออกเป็นสองเส้นเพื่อให้สามารถใช้กับแคลมป์มิเตอร์ได้ตามหลักการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแคลมป์มิเตอร์



รูปที่ 3.10 แคลมป์มิเตอร์

2. นำแคลมป์มิเตอร์มาคล้องที่สายไฟของปลั๊กพ่วงและตั้งค่าแคลมป์มิเตอร์ที่ 40 แอมแปร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แคลมป์มิเตอร์คล้องสายไฟ

3. เมื่อเริ่มการทำงานของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงให้จดบันทึกกระแสไฟฟ้าทุกๆ 1 นาที จนครบระยะเวลาที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิไทยในแต่ละครั้ง
4. บันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้คำนวณพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์การกระจายของผลิตภัณฑ์และพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด

#### 3.4.1 การวิเคราะห์การกระจายของผลิตภัณฑ์

- 1) การคำนวณหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ค้างบนตะแกรงทดสอบชั้นที่  $n$   
หาน้ำหนักผลิตภัณฑ์ได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ค้าง} = \text{น้ำหนักตะแกรงชั้นที่ } n \text{ รวมผลิตภัณฑ์} - \text{น้ำหนักตะแกรงชั้นที่ } n \quad (3.1)$$

- 2) การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ค้างบนตะแกรงทดสอบชั้นที่  $n$   
หาเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ค้างได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ค้างบนตะแกรง}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100 \quad (3.2)$$

- 3) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์สะสมความถี่ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ค้างบนตะแกรง  
หาเปอร์เซ็นต์สะสมความถี่ได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถี่สะสม} = \sum R_n \quad (3.3)$$

$R_n$  คือ เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์แต่ละชั้นของตะแกรงทดสอบ

#### 3.4.2 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการลดขนาด

- 1) การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาด (Power)

หากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดได้จากสมการที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.4) การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดได้จากสมการที่ 3.4

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

$\cos \phi$  คือ ค่า power factor

2) การคำนวณพลังงานรวมที่ใช้ในการลดขนาด

หาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดในเวลา 1 นาทีได้จากสมการที่ 3.5

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการลดขนาดในเวลา 1 นาที} = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \frac{1}{60} \quad (3.5)$$

$$\text{พลังงานรวมที่ใช้ในการลดขนาด} = \sum E_i$$

$E_i$  คือ พลังงานที่ใช้ในการลดขนาดของแต่ละนาที (วัตต์ชั่วโมง)

3) การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาด

หาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดได้จากสมการที่ 3.6

$$\text{ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาด} = \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \times \text{พลังงานรวมที่ใช้ในการลดขนาด} \quad (3.6)$$

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 3.4407 บาท ตามประเภทของคิกรที่ไม่แสวงหากำไรของการไฟฟ้านครหลวง

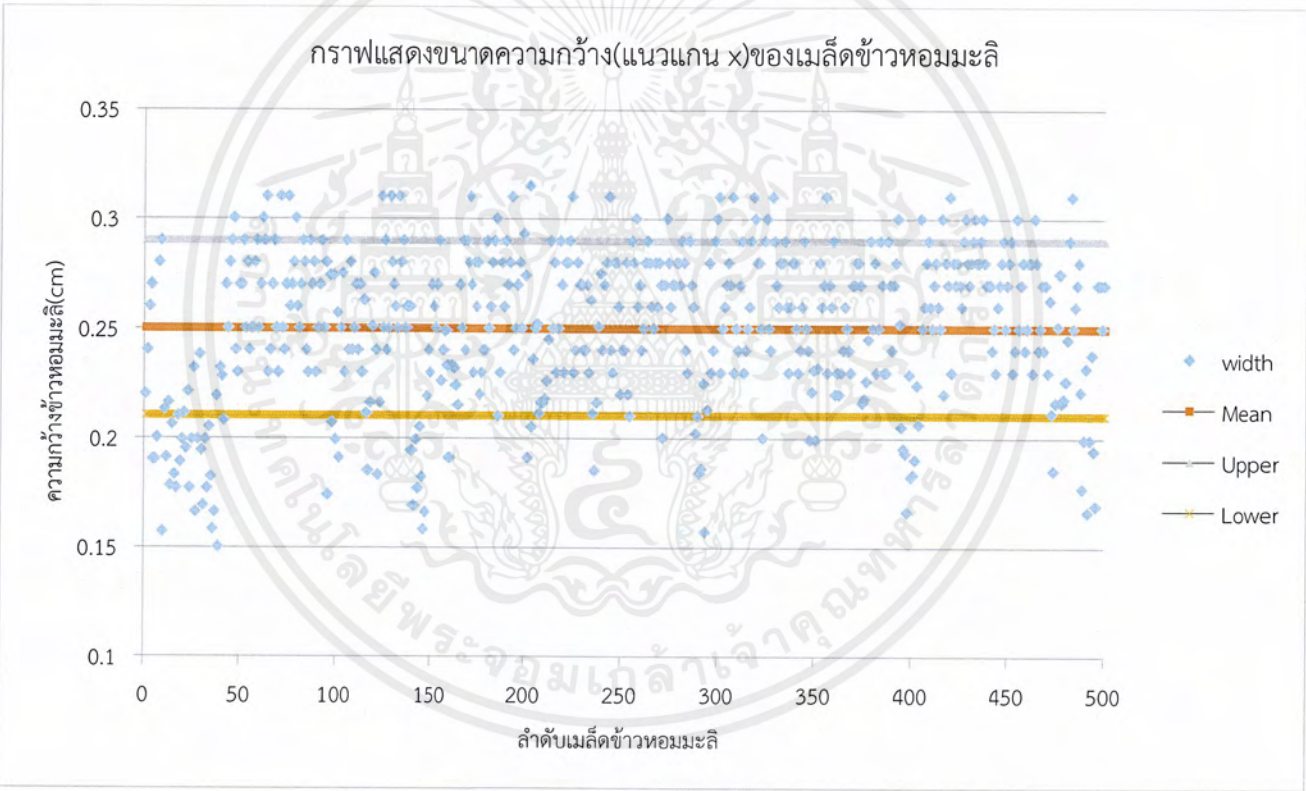
บทที่ 4

ผลการทดลอง

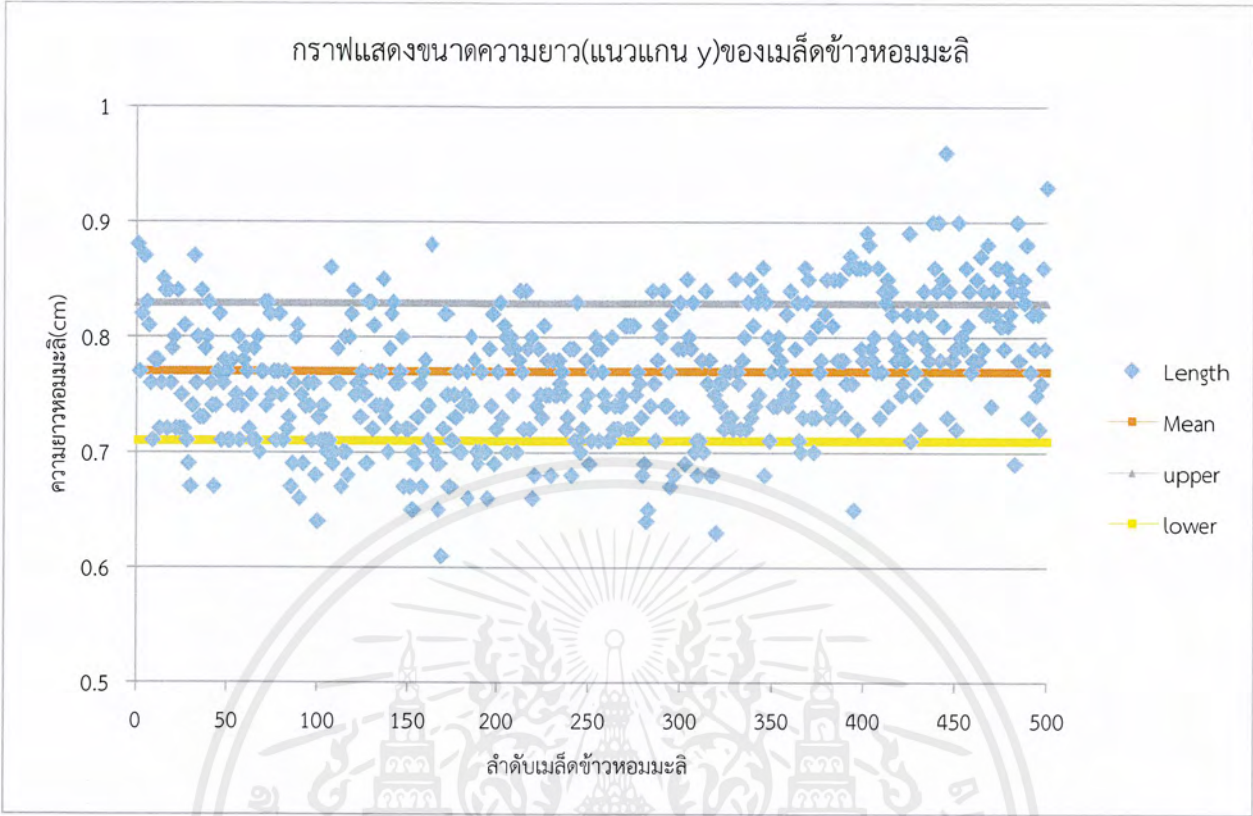
จากการนำเมล็ดข้าวสารมาทำการลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยงภายใต้ระยะห่างระหว่างใบมีดและผนังห้องโม่ในระยะต่างๆได้ผลดังนี้

4.1 การหาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ

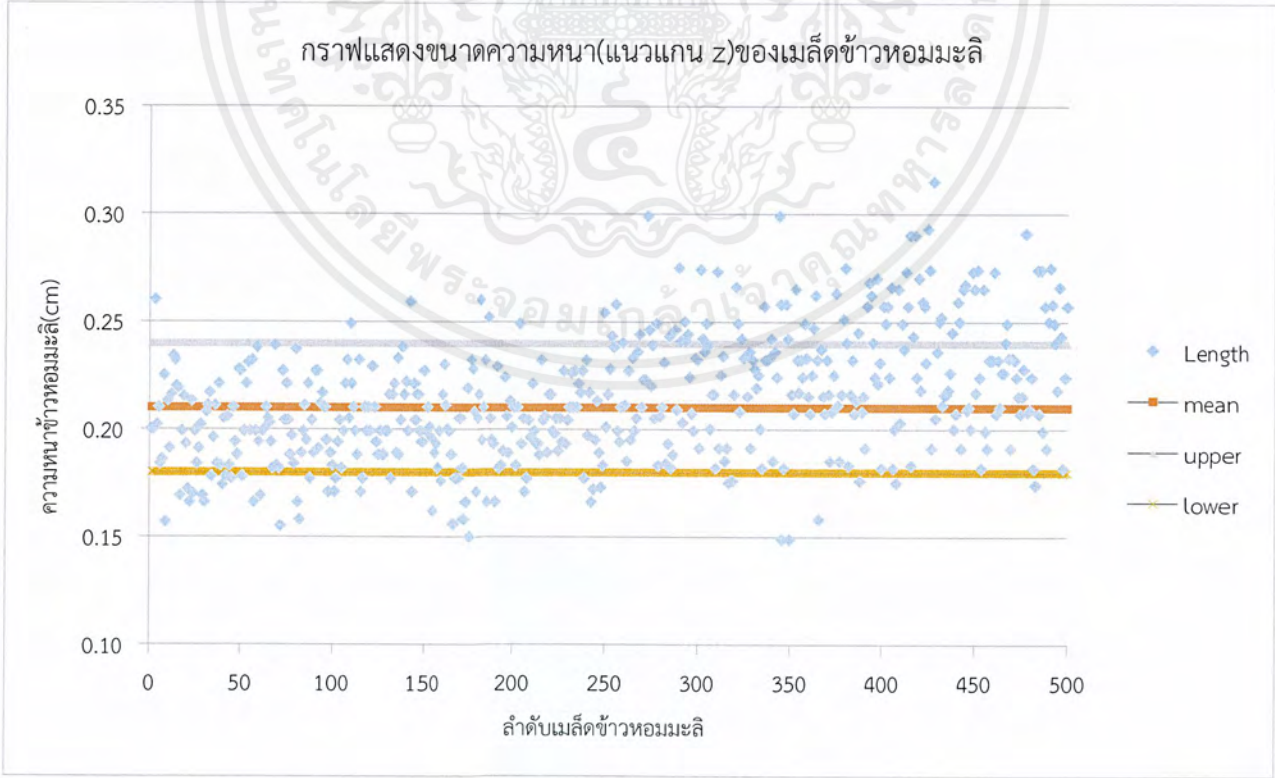
การวัดขนาดทำได้โดยการเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จำนวน 500 เมล็ดที่เก็บไว้ในสภาวะเดียวกันเพื่อทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา



รูปที่ 4.1 ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวหอมมะลิ



รูปที่ 4.2 ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวหอมมะลิ



รูปที่ 4.3 ขนาดความหนาของเมล็ดข้าวหอมมะลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิพบว่ามีควมกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 เซนติเมตร มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 0.77 เซนติเมตร และมีความหนาเฉลี่ยของเมล็ดเท่ากับ 0.21 เซนติเมตร

4.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องป้อนข้าวหอมมะลิ

ตารางที่ 4.1 อัตราการป้อนข้าวหอมมะลิของเครื่องป้อนวัตถุดิบ

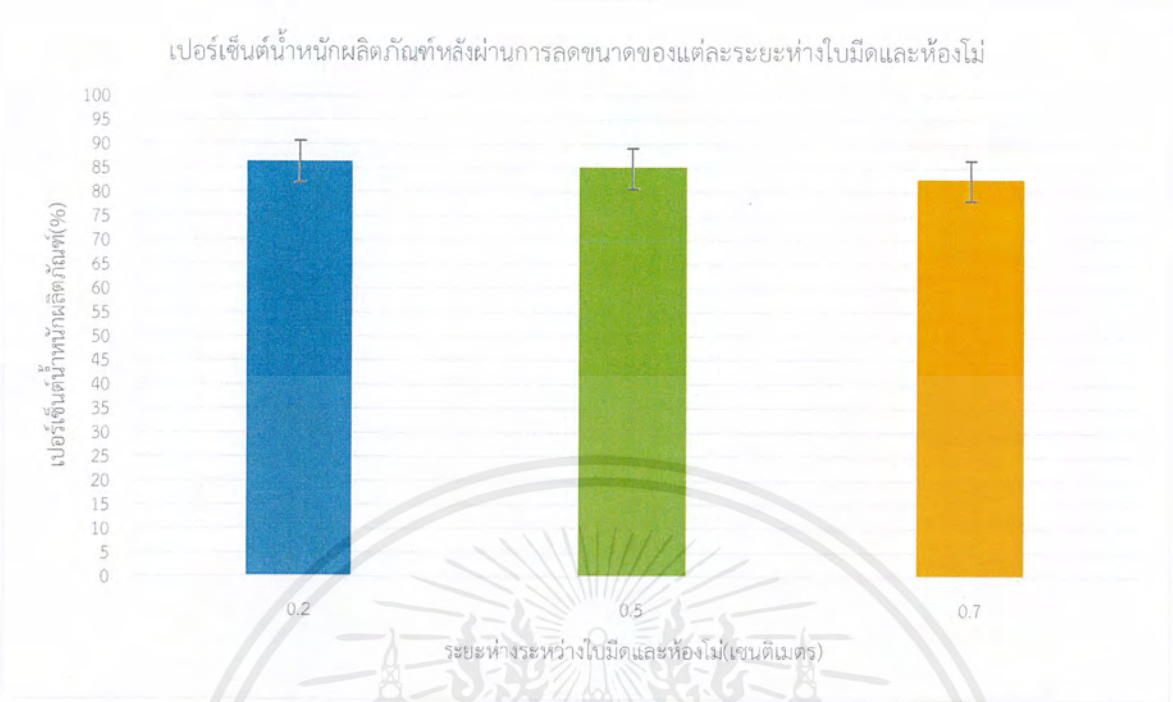
| ครั้งที่     | น้ำหนักข้าว(กรัม) |
|--------------|-------------------|
| 1            | 490.31            |
| 2            | 500.67            |
| 3            | 489.34            |
| เฉลี่ย       | 493.44            |
| เวลา 15 นาที | 1480.32           |

อัตราการป้อนข้าวหอมมะลิไทยจากการทดลองพบว่า ในเวลา 5 นาที การทดลองครั้งที่ 1 สามารถวัดน้ำหนักข้าวได้ที่ 490.31 กรัม การทดลองครั้งที่ 2 สามารถวัดน้ำหนักข้าวได้ที่ 500.67 กรัม และในการทดลองครั้งที่ 3 ซึ่งน้ำหนักข้าวได้ที่ 489.34 กรัม น้ำหนักข้าวที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และจากการหาน้ำหนักข้าวเฉลี่ยจะได้น้ำหนักข้าวเท่ากับ 493.44 กรัมในเวลา 5 นาทีและเมื่อคิดเวลาที่ 15 นาทีพบว่าน้ำหนักข้าวเท่ากับ 1480.32 กรัม

4.3 การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดของแต่ละระยะห่างใบมีดและห้องโม

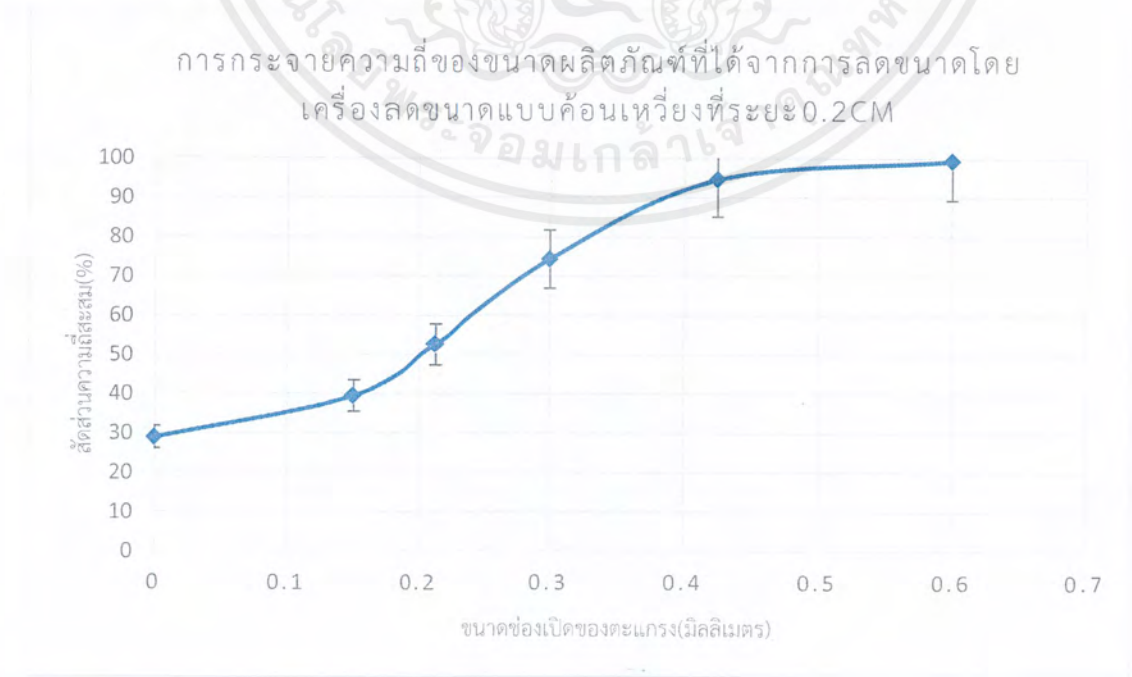
| ระยะห่าง(เซนติเมตร)    | น้ำหนักแป้ง(กรัม) | เปอร์เซ็นต์(%) |
|------------------------|-------------------|----------------|
| 0.2                    | 1277.51           | 86.30          |
| 0.5                    | 1257.6            | 84.95          |
| 0.7                    | 1220.30           | 82.43          |
| จากเครื่องป้อนวัตถุดิบ | 1480.32           | 100            |



รูปที่ 4.4 เปอร์เซนต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบทั้ง 3 ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม

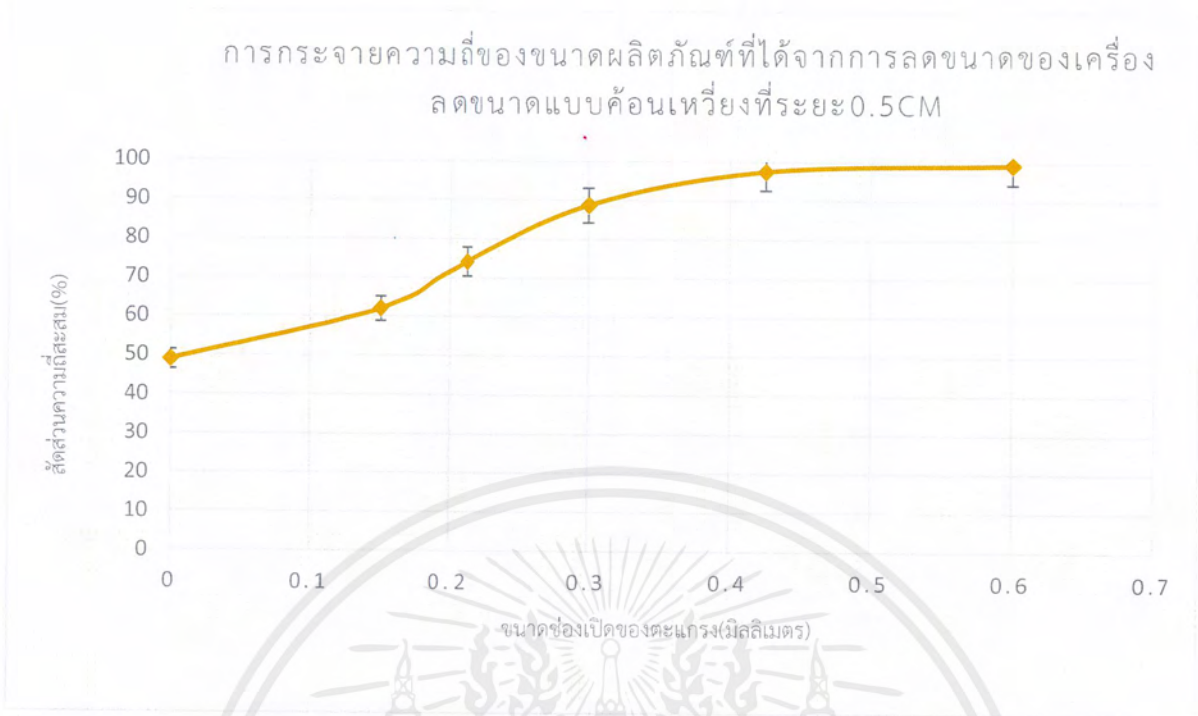
จากการทดลองหาน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.2 เซนติเมตรได้ปริมาณน้ำหนัมากที่สุด คือ 1277.5 กรัม เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 86.30% และระยะ 0.5 เซนติเมตรและระยะ0.7 เซนติเมตร มีเปอร์เซนต์น้ำหนักของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า คือ 84.95% และ82.43% ตามลำดับ

4.4 การหาการกระจายของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีsieve analysis

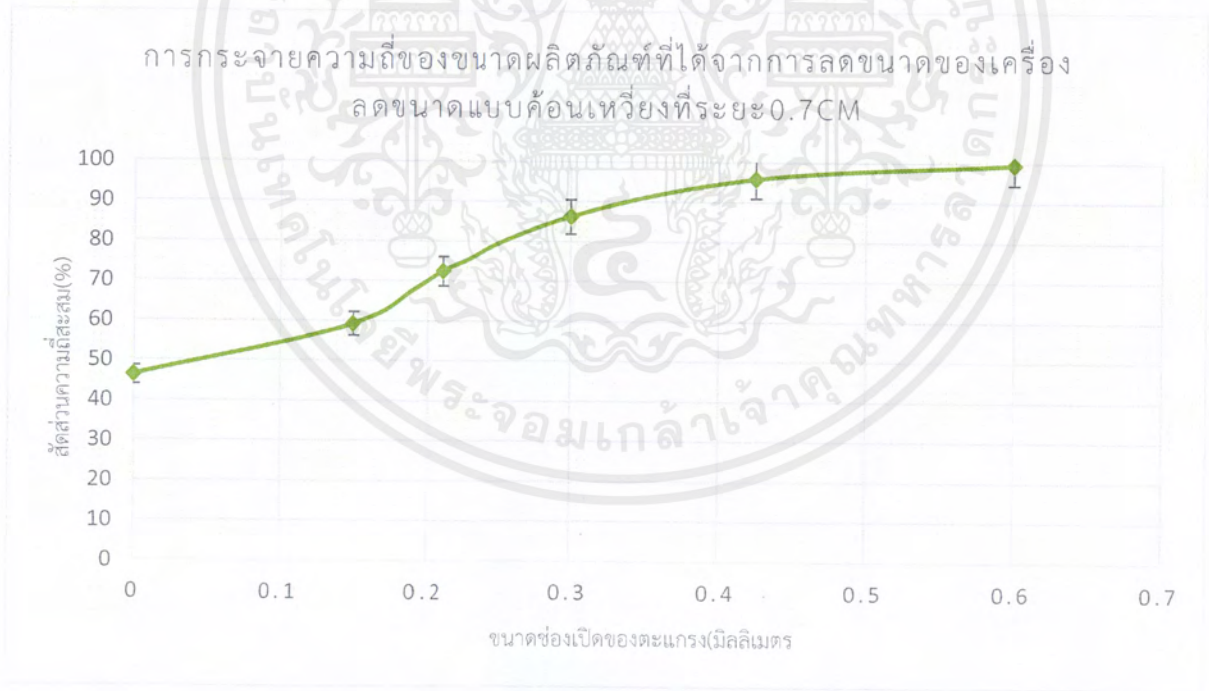


รูปที่ 4.5 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม 0.2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการผลิตหรือการวิจัยอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง

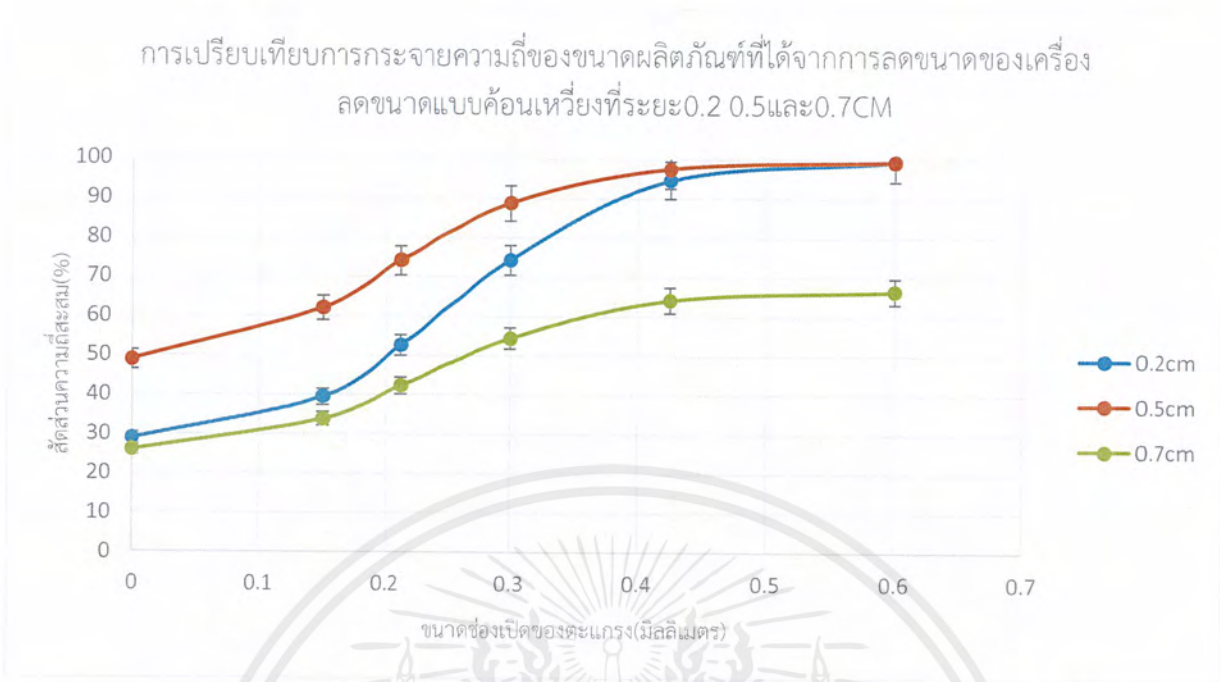


รูปที่ 4.6 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องม่ 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7 การกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องม่ 0.7 เซนติเมตร

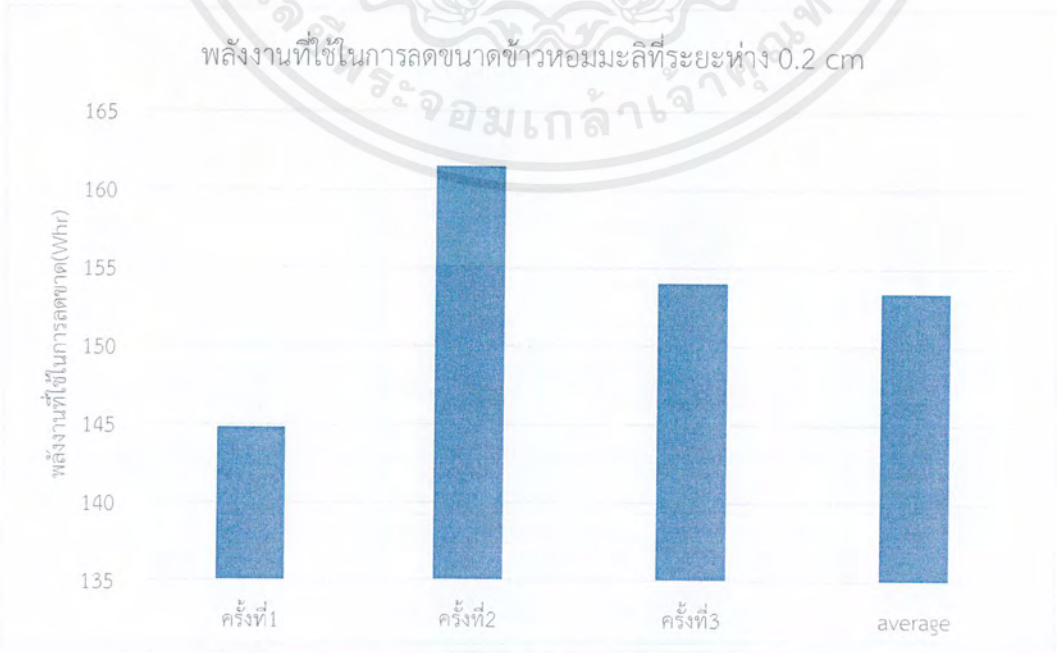
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



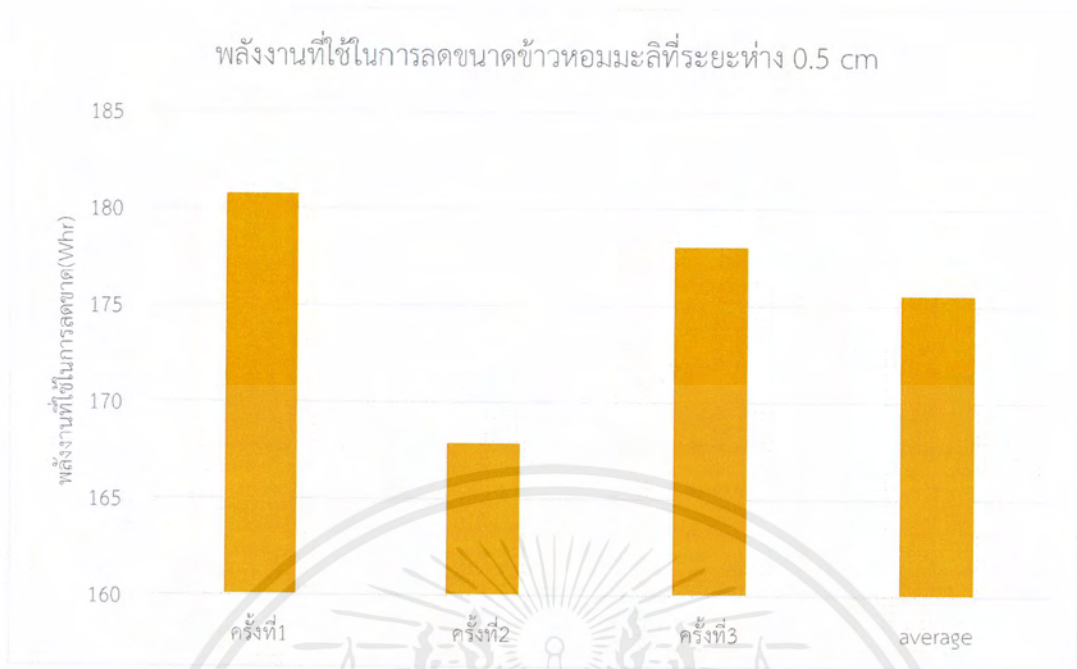
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร

การกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดแบบเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงที่ระยะห่าง  
ทั้ง 3 ระยะ พบว่าที่ระยะห่าง 0.5 เซนติเมตรให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กที่สุดในปริมาณที่มากที่สุดเมื่อ  
เทียบกับระยะห่าง 0.2 และ 0.7 เซนติเมตร

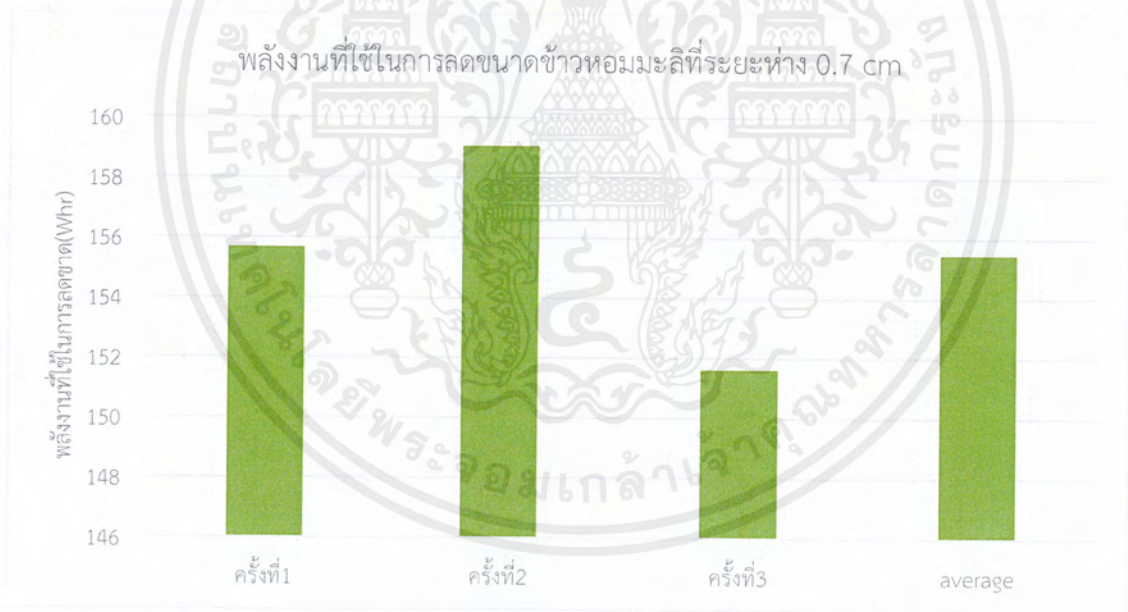
4.5 การทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดโดยวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดข้าว  
หอมมะลิ



รูปที่ 4.9 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม 0.2 เซนติเมตร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

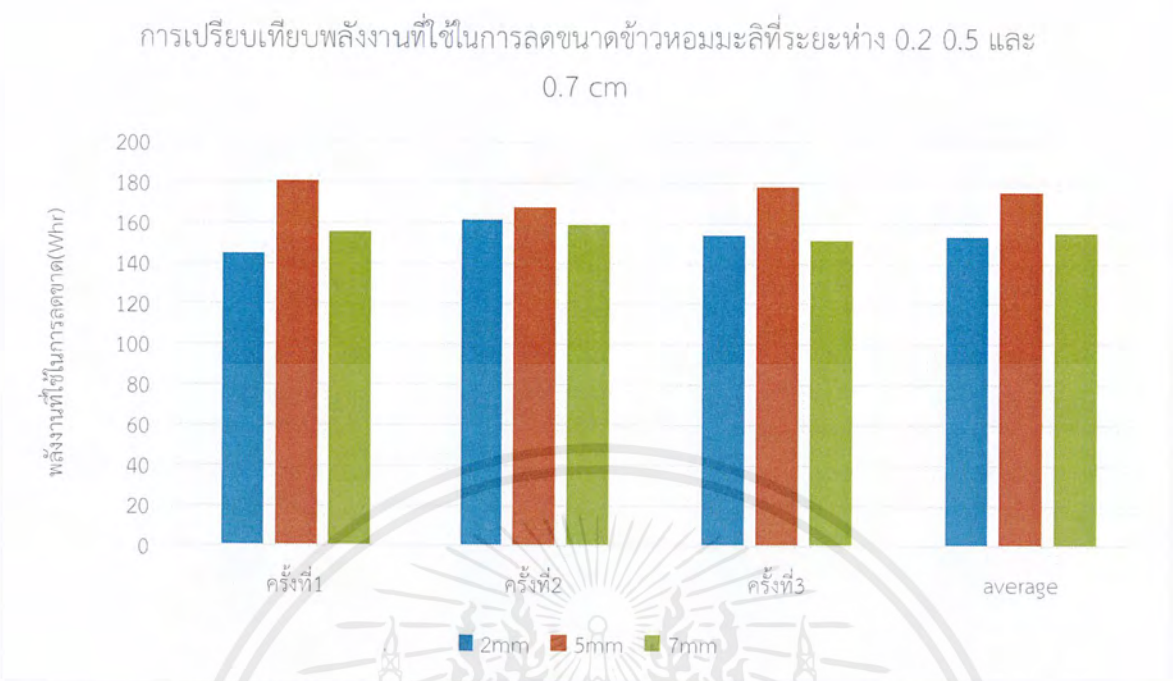


รูปที่ 4.10 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 พลังงานที่ใช้การลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม 0.7 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่าง 0.2 0.5 และ0.7 cm

จากการทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิที่ระยะต่างๆ พบว่าที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรมีการใช้พลังงานในการลดขนาดเวลา 15 นาทีมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะ 0.2 และ 0.7 เซนติเมตร โดยที่ระยะ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตรมีพลังงานที่ใช้ในการบดเท่ากับ 153.45 175.49 155.41 วัตต์ชั่วโมง (Whr)

4.6 ค่าไฟฟ้าของการลดขนาดเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องไม่ต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดที่ระยะห่าง 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร

| ระยะห่าง<br>(เซนติเมตร) | 0.2    | 0.5    | 0.7    |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| วัตต์ชั่วโมง            | 153.45 | 175.49 | 155.41 |
| กิโลวัตต์ชั่วโมง        | 0.153  | 0.175  | 0.155  |
| ค่าไฟฟ้า(บาท)           | 0.528  | 0.604  | 0.535  |

จากการทดลองที่ระยะ 0.2 0.5 และ 0.7เซนติเมตร ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดในเวลา 15 นาทีเท่ากับ 0.528 0.604 0.535 บาทตามลำดับ

## บทที่ 5

# สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลองหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงที่ระยะ 0.2 เซนติเมตรได้ปริมาณน้ำหนักมากที่สุด เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 86.30% คาดว่าสาเหตุเกิดจากระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่มีระยะห่างน้อยจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ค้างที่อยู่ในห้องโม่น้อยตามไปด้วย และความยาวแกนของเครื่องลดขนาดมีความยาวมากกว่าระยะอื่นๆเลยทำให้ความเร็วที่ปลายใบมีด (Tip speed) สูงที่สุด เพราะฉะนั้นความเร็วปลายใบมีดส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดดังนั้นจะเห็นว่าที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรและระยะ 0.7 เซนติเมตรจึงมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของผลิตภัณฑ์น้อยตามระยะห่างที่เพิ่มมากขึ้น คือ 84.95% และ 82.43% ตามลำดับ

2. จากผลการกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดแบบเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยงที่ระยะห่างทั้ง 3 ระยะ พบว่าที่ระยะห่าง 0.5 เซนติเมตรให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กที่สุดในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะห่าง 0.2 และ 0.7 เซนติเมตร คาดว่าสาเหตุเกิดจากที่ระยะ 0.2 เซนติเมตรจะมีระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่แคบเกินไปสำหรับการลดขนาดข้าวตัวอย่างทำให้การเคลื่อนที่ของใบมีดของเครื่องลดขนาดเป็นไปอย่างลำบาก จึงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ละเอียดในปริมาณที่น้อย ส่วนที่ระยะ 0.7 เซนติเมตรคาดว่าสาเหตุเกิดจากระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่กว้างเกินไปสำหรับการลดขนาดข้าวตัวอย่าง ทำให้ข้าวสามารถหลุดรอดจากการบดด้วยการบดของค้อนบดไปทางช่องว่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ได้จึงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ละเอียดในปริมาณที่น้อย เมื่อมองในมุมมองของการกระจายผลิตภัณฑ์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กที่สุดไม่ได้ขึ้นกับความเร็วปลายใบมีดเพียงอย่างเดียวเห็นได้จากรูป 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรมีน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กมากที่สุด

3. จากผลการทดลองหาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดข้าวหอมมะลิที่ระยะห่างระหว่างใบมีดและห้องโม่ระยะต่างๆ พบว่าที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรมีการใช้พลังงานในการลดขนาดเวลา 15 นาทีมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะ 0.2 และ 0.7 เซนติเมตร คาดว่าเนื่องจากการใช้พลังงานในการลดขนาดของระยะ 0.5 เซนติเมตรใช้มากจึงส่งผลให้พื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการลดขนาดรททิงเจอร์ โดยที่ระยะ 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตรมีพลังงานที่ใช้ในการบดเท่ากับ 153.45 175.49 155.41 วัตต์ชั่วโมง (Whr) ตามลำดับ และเมื่อคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการลดขนาดที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรก็ใช้ค่าไฟฟ้าแพงที่สุดเช่นกัน

### 5.2 ปัญหาที่พบ

1. เกิดการเกาะติดของข้าวหอมมะลิในระหว่างการลดขนาดบริเวณภายในห้องบดของเครื่องลดขนาด ซึ่งอาจเกิดจากความร้อนและความชื้นของวัตถุดิบและอากาศ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

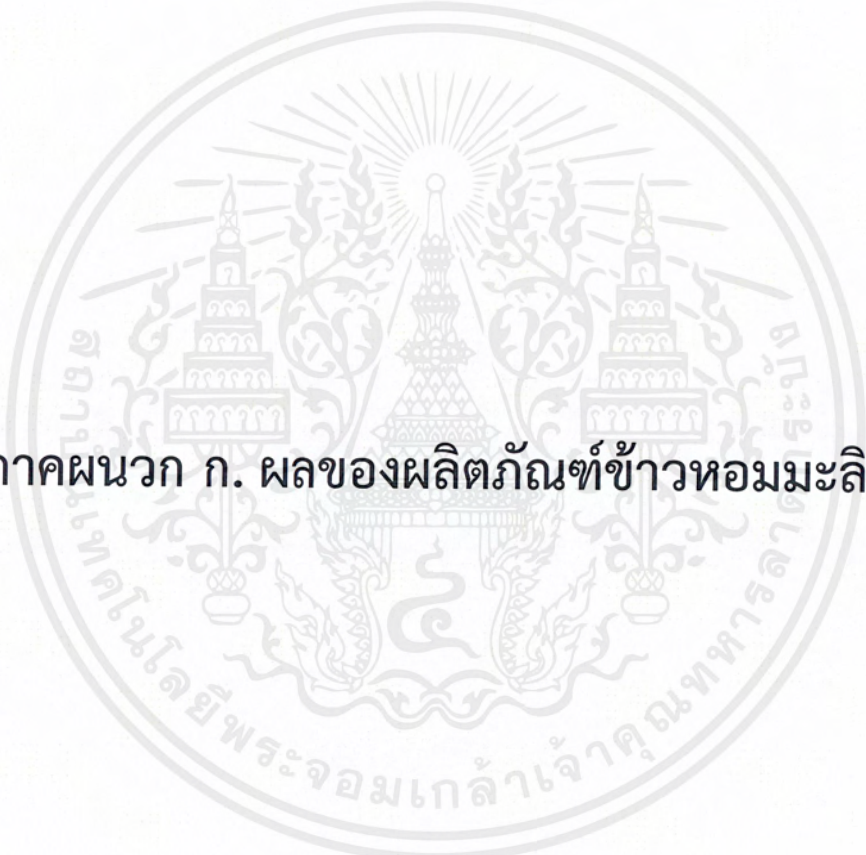
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. จากการเกาะติดของข้าวหอมมะลิควรอบแห้งข้าวหอมมะลิก่อนนำมาใช้ทดลองให้มีค่าความชื้นต่ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก

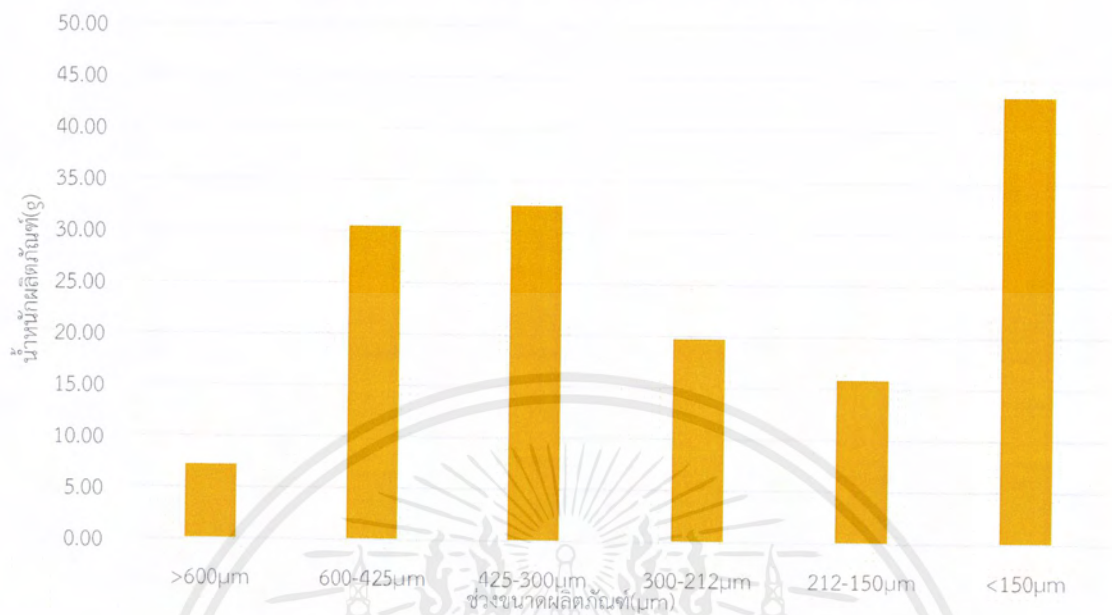
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิ

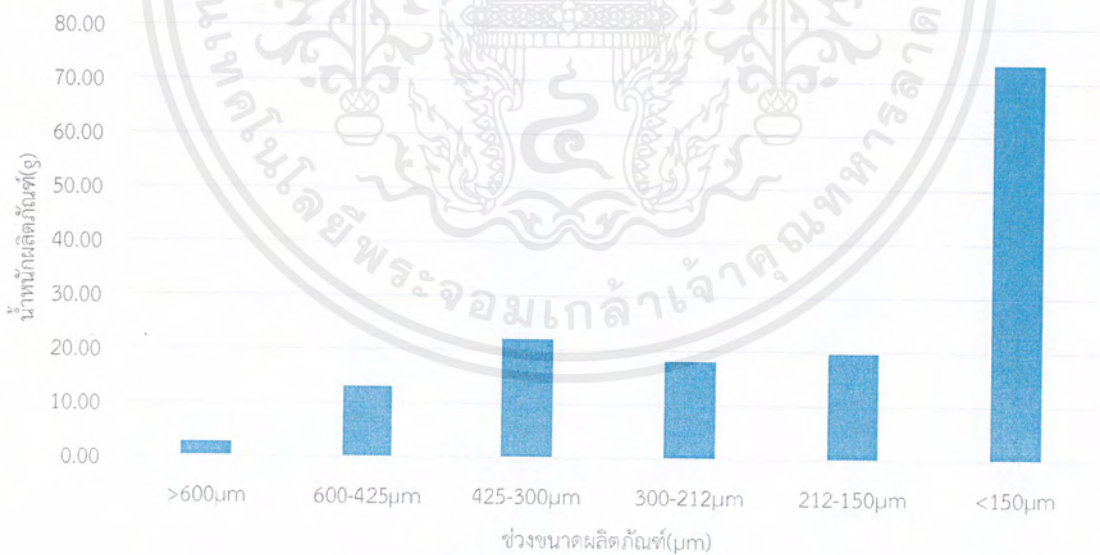
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงขนาดขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะไถมีด 0.2 cm



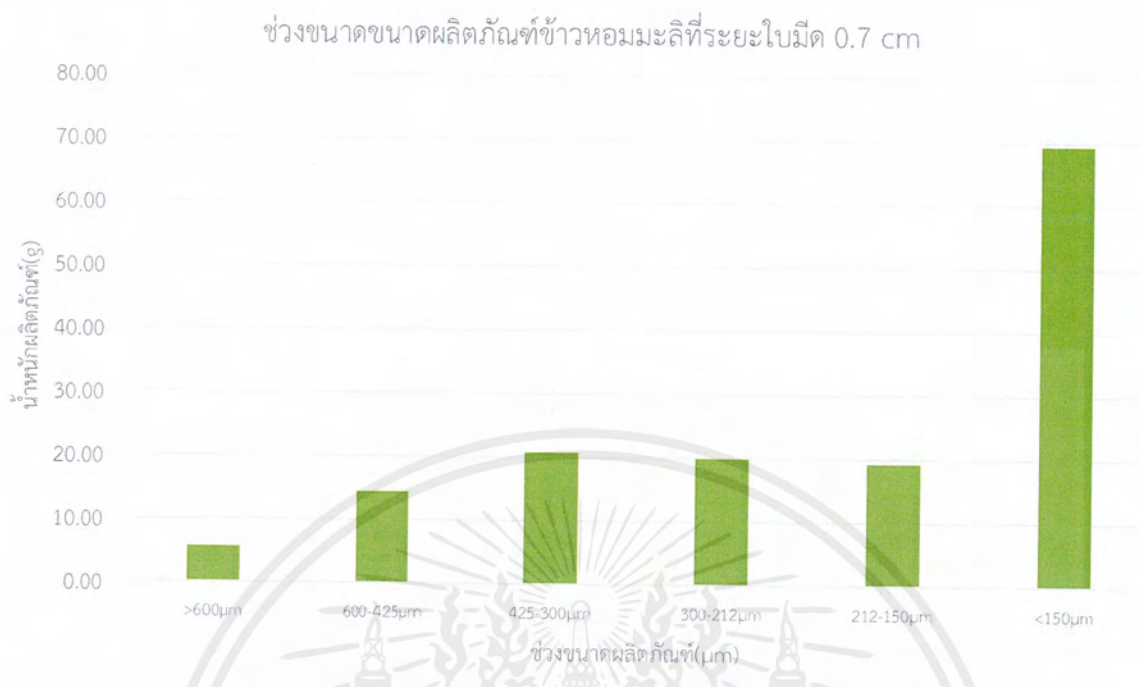
รูป ก.1 ช่วงขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะไถมีด 0.2 เซนติเมตร

ช่วงขนาดขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะไถมีด 0.5 cm

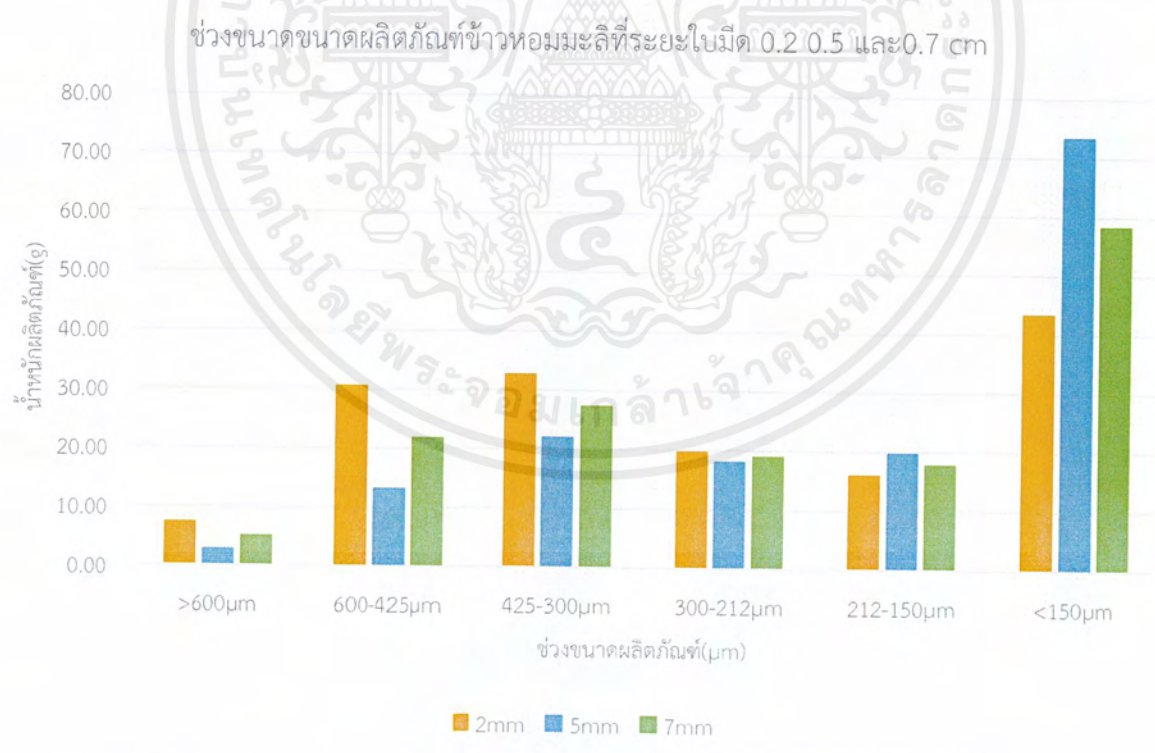


รูป ก.2 ช่วงขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะไถมีด 0.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.3 ช่วงขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะใบมีด 0.7 เซนติเมตร



รูป ก.4 ช่วงขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่ระยะใบมีด 0.2 0.5 และ 0.7 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกระแสไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดระยะ 0.2 เซนติเมตร

| นาฬิกา | กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์) |           |           | กำลังไฟฟ้า(วัตต์) |           |           | พลังงานที่ใช้ในการลดขนาด(วัตต์ชั่วโมง) |           |           |         |
|--------|---------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|----------------------------------------|-----------|-----------|---------|
|        | ครั้งที่1           | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ครั้งที่1         | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ครั้งที่1                              | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | average |
| 0      | 1.40                | 1.40      | 1.40      | 298.76            | 298.76    | 298.76    | 4.98                                   | 4.98      | 4.98      | 4.98    |
| 1      | 2.50                | 2.73      | 2.68      | 533.50            | 582.58    | 571.91    | 8.89                                   | 9.71      | 9.53      | 9.38    |
| 2      | 2.76                | 2.70      | 3.69      | 588.98            | 576.18    | 787.45    | 9.82                                   | 9.60      | 13.12     | 10.85   |
| 3      | 2.24                | 2.22      | 2.82      | 478.02            | 473.75    | 601.79    | 7.97                                   | 7.90      | 10.03     | 8.63    |
| 4      | 3.30                | 3.34      | 3.81      | 704.22            | 712.76    | 813.05    | 11.74                                  | 11.88     | 13.55     | 12.39   |
| 5      | 3.07                | 2.86      | 2.43      | 655.14            | 610.32    | 518.56    | 10.92                                  | 10.17     | 8.64      | 9.91    |
| 6      | 3.06                | 3.23      | 2.69      | 653.00            | 689.28    | 574.05    | 10.88                                  | 11.49     | 9.57      | 10.65   |
| 7      | 2.37                | 3.04      | 2.56      | 505.76            | 648.74    | 546.30    | 8.43                                   | 10.81     | 9.11      | 9.45    |
| 8      | 2.47                | 2.94      | 3.39      | 527.10            | 627.40    | 723.43    | 8.78                                   | 10.46     | 12.06     | 10.43   |
| 9      | 2.45                | 2.46      | 3.36      | 522.83            | 524.96    | 717.02    | 8.71                                   | 8.75      | 11.95     | 9.80    |
| 10     | 3.29                | 2.46      | 2.85      | 702.09            | 524.96    | 608.19    | 11.70                                  | 8.75      | 10.14     | 10.20   |
| 11     | 2.70                | 3.66      | 3.00      | 576.18            | 781.04    | 640.20    | 9.60                                   | 13.02     | 10.67     | 11.10   |
| 12     | 2.43                | 1.40      | 2.68      | 518.56            | 298.76    | 571.91    | 8.64                                   | 4.98      | 9.53      | 7.72    |
| 13     | 2.08                | 3.74      | 3.11      | 443.87            | 798.12    | 663.67    | 7.40                                   | 13.30     | 11.06     | 10.59   |
| 14     | 2.13                | 3.86      | 2.84      | 454.54            | 823.72    | 606.06    | 7.58                                   | 13.73     | 10.10     | 10.47   |
| 15     | 2.46                | 3.37      | 3.50      | 524.96            | 719.16    | 746.90    | 8.75                                   | 11.99     | 12.45     | 11.06   |
|        |                     |           |           |                   |           | รวม       | 144.79                                 | 161.51    | 154.04    | 153.45  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกระแสไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดระยะ 0.5 เซนติเมตร

| น้ำหนัก | กระแสไฟฟ้าแอมแปร์ |            |            |            | กำลังไฟฟ้าวัตต์ |            |            |            | พลังงานที่ใช้ในการลดขนาดวัตต์ชั่วโมง |            |            |            |
|---------|-------------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|         | ครึ่งที่ 1        | ครึ่งที่ 2 | ครึ่งที่ 3 | ครึ่งที่ 4 | ครึ่งที่ 1      | ครึ่งที่ 2 | ครึ่งที่ 3 | ครึ่งที่ 4 | ครึ่งที่ 1                           | ครึ่งที่ 2 | ครึ่งที่ 3 | ครึ่งที่ 4 |
| 0       | 1.40              | 1.40       | 1.40       | 1.40       | 298.76          | 298.76     | 298.76     | 298.76     | 4.98                                 | 4.98       | 4.98       | 4.98       |
| 1       | 2.85              | 2.87       | 2.82       | 2.82       | 608.19          | 612.46     | 601.79     | 601.79     | 10.14                                | 10.21      | 10.03      | 10.12      |
| 2       | 3.54              | 2.87       | 3.79       | 3.79       | 755.44          | 612.46     | 808.79     | 808.79     | 12.59                                | 10.21      | 13.48      | 12.09      |
| 3       | 3.73              | 2.93       | 2.84       | 2.84       | 795.98          | 625.26     | 606.06     | 606.06     | 13.27                                | 10.42      | 10.10      | 11.26      |
| 4       | 3.35              | 3.46       | 3.40       | 3.40       | 714.89          | 738.36     | 725.56     | 725.56     | 11.91                                | 12.31      | 12.09      | 12.10      |
| 5       | 3.58              | 2.58       | 3.89       | 3.89       | 763.97          | 550.57     | 830.13     | 830.13     | 12.73                                | 9.18       | 13.84      | 11.91      |
| 6       | 3.65              | 3.63       | 3.68       | 3.68       | 778.91          | 774.64     | 785.31     | 785.31     | 12.98                                | 12.91      | 13.09      | 12.99      |
| 7       | 3.04              | 2.58       | 3.53       | 3.53       | 648.74          | 550.57     | 753.30     | 753.30     | 10.81                                | 9.18       | 12.56      | 10.85      |
| 8       | 2.58              | 3.13       | 3.59       | 3.59       | 550.57          | 667.94     | 766.11     | 766.11     | 9.18                                 | 11.13      | 12.77      | 11.03      |
| 9       | 3.35              | 3.35       | 3.77       | 3.77       | 714.89          | 714.89     | 804.52     | 804.52     | 11.91                                | 11.91      | 13.41      | 12.41      |
| 10      | 3.31              | 2.83       | 2.94       | 2.94       | 706.35          | 603.92     | 627.40     | 627.40     | 11.77                                | 10.07      | 10.46      | 10.76      |
| 11      | 3.54              | 3.77       | 2.08       | 2.08       | 755.44          | 804.52     | 443.87     | 443.87     | 12.59                                | 13.41      | 7.40       | 11.13      |
| 12      | 3.21              | 2.63       | 2.79       | 2.79       | 685.01          | 561.24     | 595.39     | 595.39     | 11.42                                | 9.35       | 9.92       | 10.23      |
| 13      | 3.13              | 3.04       | 3.92       | 3.92       | 667.94          | 648.74     | 836.53     | 836.53     | 11.13                                | 10.81      | 13.94      | 11.96      |
| 14      | 3.25              | 2.85       | 2.70       | 2.70       | 693.55          | 608.19     | 576.18     | 576.18     | 11.56                                | 10.14      | 9.60       | 10.43      |
| 15      | 3.29              | 3.26       | 2.90       | 2.90       | 702.09          | 695.68     | 618.86     | 618.86     | 11.70                                | 11.59      | 10.31      | 11.20      |
|         |                   |            |            |            |                 |            | รวม        |            | 180.68                               | 167.80     | 177.98     | 175.49     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกระแสไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในการลดขนาดระยะ 0.7 เซนติเมตร

| นาฬิกา | กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์) |             |             | กำลังไฟฟ้า(วัตต์) |             |             | พลังงานที่ใช้ในการลดขนาด(วัตต์ชั่วโมง) |             |             |         |
|--------|---------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|----------------------------------------|-------------|-------------|---------|
|        | ชั่วโมงที่1         | ชั่วโมงที่2 | ชั่วโมงที่3 | ชั่วโมงที่1       | ชั่วโมงที่2 | ชั่วโมงที่3 | ชั่วโมงที่1                            | ชั่วโมงที่2 | ชั่วโมงที่3 | average |
| 0      | 1.40                | 1.40        | 1.40        | 298.76            | 298.76      | 298.76      | 4.98                                   | 4.98        | 4.98        | 4.98    |
| 1      | 2.28                | 2.31        | 2.31        | 486.55            | 492.95      | 492.95      | 8.11                                   | 8.22        | 8.22        | 8.18    |
| 2      | 3.03                | 2.89        | 2.76        | 646.60            | 616.73      | 588.98      | 10.78                                  | 10.28       | 9.82        | 10.29   |
| 3      | 3.07                | 3.10        | 2.99        | 655.14            | 661.54      | 638.07      | 10.92                                  | 11.03       | 10.63       | 10.86   |
| 4      | 3.31                | 3.15        | 2.64        | 706.35            | 672.21      | 563.38      | 11.77                                  | 11.20       | 9.39        | 10.79   |
| 5      | 2.76                | 2.90        | 2.88        | 588.98            | 618.86      | 614.59      | 9.82                                   | 10.31       | 10.24       | 10.12   |
| 6      | 3.08                | 2.91        | 2.73        | 657.27            | 620.99      | 582.58      | 10.95                                  | 10.35       | 9.71        | 10.34   |
| 7      | 3.14                | 2.97        | 2.97        | 670.08            | 633.80      | 633.80      | 11.17                                  | 10.56       | 10.56       | 10.76   |
| 8      | 3.03                | 3.13        | 2.82        | 646.60            | 667.94      | 601.79      | 10.78                                  | 11.13       | 10.03       | 10.65   |
| 9      | 2.70                | 2.37        | 2.65        | 576.18            | 505.76      | 565.51      | 9.60                                   | 8.43        | 9.43        | 9.15    |
| 10     | 2.69                | 3.80        | 2.62        | 574.05            | 810.92      | 559.11      | 9.57                                   | 13.52       | 9.32        | 10.80   |
| 11     | 2.54                | 2.28        | 3.31        | 542.04            | 486.55      | 706.35      | 9.03                                   | 8.11        | 11.77       | 9.64    |
| 12     | 2.80                | 2.73        | 2.81        | 597.52            | 582.58      | 599.65      | 9.96                                   | 9.71        | 9.99        | 9.89    |
| 13     | 2.28                | 2.92        | 2.02        | 486.55            | 623.13      | 431.07      | 8.11                                   | 10.39       | 7.18        | 8.56    |
| 14     | 2.85                | 3.09        | 2.96        | 608.19            | 659.41      | 631.66      | 10.14                                  | 10.99       | 10.53       | 10.55   |
| 15     | 2.80                | 2.76        | 2.75        | 597.52            | 588.98      | 586.85      | 9.96                                   | 9.82        | 9.78        | 9.85    |
|        |                     |             |             |                   |             | รวม         | 155.64                                 | 159.02      | 151.59      | 155.41  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.2 เซนติเมตร

| mesh no. | ขนาดช่องเปิด(มิลลิเมตร) | น้ำหนักขาว |          |          |          | percentage on each sieve |          |          |          | Cumulative percent |          |          |         |
|----------|-------------------------|------------|----------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|----------|--------------------|----------|----------|---------|
|          |                         | ครึ่งหนึ่ง | ครึ่งสอง | ครึ่งสาม | ครึ่งสี่ | ครึ่งหนึ่ง               | ครึ่งสอง | ครึ่งสาม | ครึ่งสี่ | ครึ่งหนึ่ง         | ครึ่งสอง | ครึ่งสาม | average |
| กลาง     | 0                       | 47.92      | 41.21    | 40.90    | 31.95    | 27.47                    | 27.47    | 27.27    | 31.95    | 27.47              | 27.27    | 27.27    | 28.90   |
| 100      | 0.15                    | 14.11      | 16.38    | 17.11    | 9.41     | 10.92                    | 11.41    | 11.41    | 41.35    | 38.39              | 38.67    | 39.47    | 39.47   |
| 70       | 0.212                   | 18.05      | 20.20    | 20.94    | 12.03    | 13.47                    | 13.96    | 13.96    | 53.39    | 51.86              | 52.63    | 52.63    | 52.63   |
| 50       | 0.3                     | 31.45      | 33.08    | 33.18    | 20.97    | 22.05                    | 22.12    | 22.12    | 74.35    | 73.91              | 74.75    | 74.34    | 74.34   |
| 40       | 0.425                   | 31.17      | 31.25    | 28.83    | 20.78    | 20.83                    | 19.22    | 19.22    | 95.13    | 94.75              | 93.97    | 94.62    | 94.62   |
| 30       | 0.6                     | 6.70       | 7.22     | 7.67     | 4.47     | 4.81                     | 5.11     | 5.11     | 99.60    | 99.56              | 99.09    | 99.42    | 99.42   |

ตารางการกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร

| mesh no. | ขนาดช่องเปิด(มิลลิเมตร) | น้ำหนักขาว |           |           | percentage on each sieve |           |           |           | Cumulative percent |           |           |         |
|----------|-------------------------|------------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------|
|          |                         | ครึ่งบน    | ครึ่งกลาง | ครึ่งล่าง | ครึ่งบน                  | ครึ่งกลาง | ครึ่งล่าง | ครึ่งล่าง | ครึ่งบน            | ครึ่งกลาง | ครึ่งล่าง | average |
| ถาดล่าง  | 0                       | 68.16      | 82.09     | 69.70     | 45.44                    | 54.73     | 46.47     | 45.44     | 54.73              | 46.47     | 48.88     |         |
| 100      | 0.15                    | 18.11      | 24.30     | 16.77     | 12.07                    | 16.20     | 11.18     | 57.51     | 70.93              | 57.65     | 62.03     |         |
| 70       | 0.212                   | 19.21      | 17.80     | 17.24     | 12.81                    | 11.87     | 11.49     | 70.32     | 82.79              | 69.14     | 74.08     |         |
| 50       | 0.3                     | 22.97      | 16.25     | 26.79     | 15.31                    | 10.83     | 17.86     | 85.63     | 93.63              | 87.00     | 88.75     |         |
| 40       | 0.425                   | 16.76      | 7.30      | 15.37     | 11.17                    | 4.87      | 10.25     | 96.81     | 98.49              | 97.25     | 97.52     |         |
| 30       | 0.6                     | 3.22       | 1.63      | 3.32      | 2.15                     | 1.09      | 2.21      | 98.95     | 99.58              | 99.46     | 99.33     |         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 0.7 เซนติเมตร

| mesh no. | ขนาดช่องเปิด(มิลลิเมตร) | น้ำหนักขาว |          |          | percentage on each sieve |          |          |            | Cumulative percent |          |          |         |
|----------|-------------------------|------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|------------|--------------------|----------|----------|---------|
|          |                         | ครึ่งหนึ่ง | ครึ่งสอง | ครึ่งสาม | ครึ่งหนึ่ง               | ครึ่งสอง | ครึ่งสาม | ครึ่งหนึ่ง | ครึ่งสอง           | ครึ่งสาม | ครึ่งสี่ | average |
| กลาง     | 0                       | 68.67      | 64.46    | 75.17    | 45.78                    | 42.97    | 50.11    | 45.78      | 42.97              | 50.11    |          | 46.29   |
| 100      | 0.15                    | 20.89      | 17.28    | 19.71    | 13.93                    | 11.52    | 13.14    | 59.71      | 54.49              | 63.25    |          | 59.15   |
| 70       | 0.212                   | 21.76      | 20.00    | 17.99    | 14.51                    | 13.33    | 11.99    | 74.21      | 67.83              | 75.25    |          | 72.43   |
| 50       | 0.3                     | 21.08      | 22.57    | 18.60    | 14.05                    | 15.05    | 12.40    | 88.27      | 82.87              | 87.65    |          | 86.26   |
| 40       | 0.425                   | 12.48      | 18.35    | 12.28    | 8.32                     | 12.23    | 8.19     | 96.59      | 95.11              | 95.83    |          | 95.84   |
| 30       | 0.6                     | 4.52       | 6.47     | 5.68     | 3.01                     | 4.31     | 3.79     | 99.60      | 99.42              | 99.62    |          | 99.55   |

ตารางแสดงความยาวของเมล็ดข้าว500เมล็ด

| Label | Length | Label | Length | Label | Length |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 1     | 0.88   | 36    | 0.84   | 71    | 0.83   |
| 2     | 0.77   | 37    | 0.73   | 72    | 0.74   |
| 3     | 0.82   | 38    | 0.79   | 73    | 0.83   |
| 4     | 0.87   | 39    | 0.8    | 74    | 0.82   |
| 5     | 0.87   | 40    | 0.83   | 75    | 0.75   |
| 6     | 0.83   | 41    | 0.76   | 76    | 0.77   |
| 7     | 0.81   | 42    | 0.74   | 77    | 0.71   |
| 8     | 0.76   | 43    | 0.67   | 78    | 0.77   |
| 9     | 0.71   | 44    | 0.74   | 79    | 0.82   |
| 10    | 0.78   | 45    | 0.77   | 80    | 0.75   |
| 11    | 0.78   | 46    | 0.82   | 81    | 0.71   |
| 12    | 0.78   | 47    | 0.71   | 82    | 0.77   |
| 13    | 0.72   | 48    | 0.76   | 83    | 0.72   |
| 14    | 0.76   | 49    | 0.78   | 84    | 0.73   |
| 15    | 0.85   | 50    | 0.77   | 85    | 0.67   |
| 16    | 0.84   | 51    | 0.71   | 86    | 0.69   |
| 17    | 0.72   | 52    | 0.71   | 87    | 0.76   |
| 18    | 0.84   | 53    | 0.78   | 88    | 0.8    |
| 19    | 0.76   | 54    | 0.74   | 89    | 0.81   |
| 20    | 0.79   | 55    | 0.75   | 90    | 0.66   |
| 21    | 0.8    | 56    | 0.8    | 91    | 0.75   |
| 22    | 0.72   | 57    | 0.71   | 92    | 0.69   |
| 23    | 0.84   | 58    | 0.74   | 93    | 0.74   |
| 24    | 0.72   | 59    | 0.78   | 94    | 0.74   |
| 25    | 0.75   | 60    | 0.79   | 95    | 0.76   |
| 26    | 0.72   | 61    | 0.77   | 96    | 0.74   |
| 27    | 0.81   | 62    | 0.72   | 97    | 0.71   |
| 28    | 0.71   | 63    | 0.75   | 98    | 0.76   |
| 29    | 0.69   | 64    | 0.71   | 99    | 0.68   |
| 30    | 0.67   | 65    | 0.79   | 100   | 0.64   |
| 31    | 0.74   | 66    | 0.71   | 101   | 0.73   |
| 32    | 0.87   | 67    | 0.8    | 102   | 0.71   |
| 33    | 0.76   | 68    | 0.7    | 103   | 0.74   |
| 34    | 0.8    | 69    | 0.77   | 104   | 0.71   |
| 35    | 0.73   | 70    | 0.77   | 105   | 0.7    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Length |
|-------|--------|
| 106   | 0.71   |
| 107   | 0.86   |
| 108   | 0.69   |
| 109   | 0.7    |
| 110   | 0.76   |
| 111   | 0.79   |
| 112   | 0.76   |
| 113   | 0.67   |
| 114   | 0.7    |
| 115   | 0.8    |
| 116   | 0.7    |
| 117   | 0.68   |
| 118   | 0.8    |
| 119   | 0.82   |
| 120   | 0.84   |
| 121   | 0.75   |
| 122   | 0.76   |
| 123   | 0.76   |
| 124   | 0.73   |
| 125   | 0.77   |
| 126   | 0.75   |
| 127   | 0.69   |
| 128   | 0.83   |
| 129   | 0.83   |
| 130   | 0.72   |
| 131   | 0.81   |
| 132   | 0.74   |
| 133   | 0.77   |
| 134   | 0.74   |
| 135   | 0.77   |
| 136   | 0.85   |
| 137   | 0.73   |
| 138   | 0.74   |
| 139   | 0.7    |
| 140   | 0.79   |
| 141   | 0.82   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 142   | 0.83   |
| 143   | 0.76   |
| 144   | 0.72   |
| 145   | 0.76   |
| 146   | 0.77   |
| 147   | 0.8    |
| 148   | 0.67   |
| 149   | 0.72   |
| 150   | 0.72   |
| 151   | 0.67   |
| 152   | 0.65   |
| 153   | 0.7    |
| 154   | 0.69   |
| 155   | 0.73   |
| 156   | 0.76   |
| 157   | 0.67   |
| 158   | 0.77   |
| 159   | 0.78   |
| 160   | 0.74   |
| 161   | 0.71   |
| 162   | 0.74   |
| 163   | 0.88   |
| 164   | 0.7    |
| 165   | 0.7    |
| 166   | 0.69   |
| 167   | 0.65   |
| 168   | 0.69   |
| 169   | 0.61   |
| 170   | 0.72   |
| 171   | 0.82   |
| 172   | 0.75   |
| 173   | 0.67   |
| 174   | 0.71   |
| 175   | 0.75   |
| 176   | 0.73   |
| 177   | 0.77   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 178   | 0.7    |
| 179   | 0.7    |
| 180   | 0.74   |
| 181   | 0.75   |
| 182   | 0.77   |
| 183   | 0.66   |
| 184   | 0.74   |
| 185   | 0.8    |
| 186   | 0.74   |
| 187   | 0.78   |
| 188   | 0.7    |
| 189   | 0.69   |
| 190   | 0.7    |
| 191   | 0.77   |
| 192   | 0.77   |
| 193   | 0.7    |
| 194   | 0.7    |
| 195   | 0.66   |
| 196   | 0.79   |
| 197   | 0.74   |
| 198   | 0.82   |
| 199   | 0.69   |
| 200   | 0.72   |
| 201   | 0.77   |
| 202   | 0.83   |
| 203   | 0.73   |
| 204   | 0.81   |
| 205   | 0.8    |
| 206   | 0.7    |
| 207   | 0.79   |
| 208   | 0.8    |
| 209   | 0.75   |
| 210   | 0.79   |
| 211   | 0.7    |
| 212   | 0.78   |
| 213   | 0.84   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Length |
|-------|--------|
| 214   | 0.77   |
| 215   | 0.72   |
| 216   | 0.84   |
| 217   | 0.79   |
| 218   | 0.72   |
| 219   | 0.8    |
| 220   | 0.66   |
| 221   | 0.68   |
| 222   | 0.74   |
| 223   | 0.79   |
| 224   | 0.75   |
| 225   | 0.73   |
| 226   | 0.81   |
| 227   | 0.75   |
| 228   | 0.78   |
| 229   | 0.75   |
| 230   | 0.68   |
| 231   | 0.78   |
| 232   | 0.75   |
| 233   | 0.75   |
| 234   | 0.78   |
| 235   | 0.76   |
| 236   | 0.77   |
| 237   | 0.75   |
| 238   | 0.72   |
| 239   | 0.73   |
| 240   | 0.79   |
| 241   | 0.68   |
| 242   | 0.79   |
| 243   | 0.71   |
| 244   | 0.83   |
| 245   | 0.71   |
| 246   | 0.7    |
| 247   | 0.72   |
| 248   | 0.74   |
| 249   | 0.78   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 250   | 0.75   |
| 251   | 0.69   |
| 252   | 0.71   |
| 253   | 0.77   |
| 254   | 0.8    |
| 255   | 0.79   |
| 256   | 0.71   |
| 257   | 0.79   |
| 258   | 0.77   |
| 259   | 0.75   |
| 260   | 0.74   |
| 261   | 0.71   |
| 262   | 0.71   |
| 263   | 0.8    |
| 264   | 0.72   |
| 265   | 0.74   |
| 266   | 0.72   |
| 267   | 0.72   |
| 268   | 0.74   |
| 269   | 0.75   |
| 270   | 0.81   |
| 271   | 0.81   |
| 272   | 0.72   |
| 273   | 0.81   |
| 274   | 0.72   |
| 275   | 0.81   |
| 276   | 0.75   |
| 277   | 0.77   |
| 278   | 0.76   |
| 279   | 0.73   |
| 280   | 0.68   |
| 281   | 0.69   |
| 282   | 0.64   |
| 283   | 0.65   |
| 284   | 0.74   |
| 285   | 0.84   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 286   | 0.76   |
| 287   | 0.71   |
| 288   | 0.78   |
| 289   | 0.81   |
| 290   | 0.8    |
| 291   | 0.84   |
| 292   | 0.74   |
| 293   | 0.74   |
| 294   | 0.77   |
| 295   | 0.67   |
| 296   | 0.82   |
| 297   | 0.68   |
| 298   | 0.73   |
| 299   | 0.79   |
| 300   | 0.83   |
| 301   | 0.73   |
| 302   | 0.79   |
| 303   | 0.69   |
| 304   | 0.85   |
| 305   | 0.8    |
| 306   | 0.79   |
| 307   | 0.83   |
| 308   | 0.7    |
| 309   | 0.71   |
| 310   | 0.68   |
| 311   | 0.71   |
| 312   | 0.78   |
| 313   | 0.7    |
| 314   | 0.84   |
| 315   | 0.76   |
| 316   | 0.78   |
| 317   | 0.68   |
| 318   | 0.68   |
| 319   | 0.75   |
| 320   | 0.63   |
| 321   | 0.76   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Length |
|-------|--------|
| 322   | 0.74   |
| 323   | 0.76   |
| 324   | 0.72   |
| 325   | 0.77   |
| 326   | 0.73   |
| 327   | 0.77   |
| 328   | 0.73   |
| 329   | 0.72   |
| 330   | 0.85   |
| 331   | 0.77   |
| 332   | 0.76   |
| 333   | 0.72   |
| 334   | 0.78   |
| 335   | 0.8    |
| 336   | 0.72   |
| 337   | 0.83   |
| 338   | 0.85   |
| 339   | 0.73   |
| 340   | 0.81   |
| 341   | 0.74   |
| 342   | 0.83   |
| 343   | 0.75   |
| 344   | 0.84   |
| 345   | 0.86   |
| 346   | 0.68   |
| 347   | 0.83   |
| 348   | 0.8    |
| 349   | 0.71   |
| 350   | 0.77   |
| 351   | 0.74   |
| 352   | 0.79   |
| 353   | 0.74   |
| 354   | 0.8    |
| 355   | 0.78   |
| 356   | 0.77   |
| 357   | 0.75   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 358   | 0.82   |
| 359   | 0.74   |
| 360   | 0.84   |
| 361   | 0.75   |
| 362   | 0.76   |
| 363   | 0.79   |
| 364   | 0.83   |
| 365   | 0.71   |
| 366   | 0.7    |
| 367   | 0.73   |
| 368   | 0.86   |
| 369   | 0.83   |
| 370   | 0.85   |
| 371   | 0.8    |
| 372   | 0.73   |
| 373   | 0.7    |
| 374   | 0.73   |
| 375   | 0.81   |
| 376   | 0.77   |
| 377   | 0.78   |
| 378   | 0.75   |
| 379   | 0.82   |
| 380   | 0.85   |
| 381   | 0.74   |
| 382   | 0.73   |
| 383   | 0.81   |
| 384   | 0.85   |
| 385   | 0.74   |
| 386   | 0.78   |
| 387   | 0.85   |
| 388   | 0.78   |
| 389   | 0.78   |
| 390   | 0.73   |
| 391   | 0.76   |
| 392   | 0.86   |
| 393   | 0.87   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 394   | 0.76   |
| 395   | 0.65   |
| 396   | 0.86   |
| 397   | 0.72   |
| 398   | 0.86   |
| 399   | 0.79   |
| 400   | 0.78   |
| 401   | 0.86   |
| 402   | 0.89   |
| 403   | 0.88   |
| 404   | 0.79   |
| 405   | 0.78   |
| 406   | 0.8    |
| 407   | 0.77   |
| 408   | 0.86   |
| 409   | 0.73   |
| 410   | 0.77   |
| 411   | 0.84   |
| 412   | 0.83   |
| 413   | 0.85   |
| 414   | 0.74   |
| 415   | 0.84   |
| 416   | 0.82   |
| 417   | 0.8    |
| 418   | 0.78   |
| 419   | 0.79   |
| 420   | 0.79   |
| 421   | 0.75   |
| 422   | 0.76   |
| 423   | 0.78   |
| 424   | 0.82   |
| 425   | 0.89   |
| 426   | 0.71   |
| 427   | 0.8    |
| 428   | 0.77   |
| 429   | 0.75   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปโดยไม่ผ่านการคัด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Length |
|-------|--------|
| 430   | 0.82   |
| 431   | 0.72   |
| 432   | 0.8    |
| 433   | 0.84   |
| 434   | 0.76   |
| 435   | 0.79   |
| 436   | 0.78   |
| 437   | 0.82   |
| 438   | 0.9    |
| 439   | 0.86   |
| 440   | 0.84   |
| 441   | 0.9    |
| 442   | 0.78   |
| 443   | 0.85   |
| 444   | 0.81   |
| 445   | 0.96   |
| 446   | 0.73   |
| 447   | 0.84   |
| 448   | 0.78   |
| 449   | 0.78   |
| 450   | 0.79   |
| 451   | 0.72   |
| 452   | 0.9    |
| 453   | 0.8    |
| 454   | 0.8    |
| 455   | 0.79   |
| 456   | 0.86   |
| 457   | 0.81   |
| 458   | 0.84   |
| 459   | 0.77   |
| 460   | 0.78   |
| 461   | 0.78   |
| 462   | 0.85   |
| 463   | 0.78   |
| 464   | 0.87   |
| 465   | 0.79   |

| Label | Length |
|-------|--------|
| 466   | 0.84   |
| 467   | 0.82   |
| 468   | 0.88   |
| 469   | 0.82   |
| 470   | 0.74   |
| 471   | 0.84   |
| 472   | 0.82   |
| 473   | 0.86   |
| 474   | 0.86   |
| 475   | 0.81   |
| 476   | 0.81   |
| 477   | 0.79   |
| 478   | 0.86   |
| 479   | 0.81   |
| 480   | 0.82   |
| 481   | 0.85   |
| 482   | 0.84   |
| 483   | 0.69   |
| 484   | 0.9    |
| 485   | 0.78   |
| 486   | 0.84   |
| 487   | 0.85   |
| 488   | 0.83   |
| 489   | 0.88   |
| 490   | 0.73   |
| 491   | 0.77   |
| 492   | 0.82   |
| 493   | 0.79   |
| 494   | 0.75   |
| 495   | 0.82   |
| 496   | 0.72   |
| 497   | 0.76   |
| 498   | 0.86   |
| 499   | 0.79   |
| 500   | 0.93   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความหนาของเมล็ดข้าว500เมล็ด

| Label | Thickness | Label | Thickness | Label | Thickness |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 1     | 0.20      | 36    | 0.21      | 71    | 0.18      |
| 2     | 0.20      | 37    | 0.18      | 72    | 0.16      |
| 3     | 0.26      | 38    | 0.22      | 73    | 0.23      |
| 4     | 0.20      | 39    | 0.18      | 74    | 0.20      |
| 5     | 0.21      | 40    | 0.17      | 75    | 0.22      |
| 6     | 0.18      | 41    | 0.21      | 76    | 0.20      |
| 7     | 0.19      | 42    | 0.18      | 77    | 0.19      |
| 8     | 0.23      | 43    | 0.21      | 78    | 0.20      |
| 9     | 0.16      | 44    | 0.18      | 79    | 0.18      |
| 10    | 0.21      | 45    | 0.18      | 80    | 0.24      |
| 11    | 0.19      | 46    | 0.21      | 81    | 0.17      |
| 12    | 0.22      | 47    | 0.19      | 82    | 0.16      |
| 13    | 0.23      | 48    | 0.19      | 83    | 0.19      |
| 14    | 0.23      | 49    | 0.23      | 84    | 0.20      |
| 15    | 0.22      | 50    | 0.23      | 85    | 0.21      |
| 16    | 0.22      | 51    | 0.18      | 86    | 0.20      |
| 17    | 0.17      | 52    | 0.20      | 87    | 0.22      |
| 18    | 0.20      | 53    | 0.22      | 88    | 0.18      |
| 19    | 0.22      | 54    | 0.23      | 89    | 0.20      |
| 20    | 0.19      | 55    | 0.20      | 90    | 0.19      |
| 21    | 0.17      | 56    | 0.23      | 91    | 0.23      |
| 22    | 0.17      | 57    | 0.17      | 92    | 0.23      |
| 23    | 0.21      | 58    | 0.20      | 93    | 0.19      |
| 24    | 0.17      | 59    | 0.24      | 94    | 0.21      |
| 25    | 0.20      | 60    | 0.19      | 95    | 0.22      |
| 26    | 0.18      | 61    | 0.17      | 96    | 0.21      |
| 27    | 0.19      | 62    | 0.20      | 97    | 0.20      |
| 28    | 0.20      | 63    | 0.20      | 98    | 0.17      |
| 29    | 0.17      | 64    | 0.21      | 99    | 0.19      |
| 30    | 0.17      | 65    | 0.21      | 100   | 0.18      |
| 31    | 0.21      | 66    | 0.20      | 101   | 0.17      |
| 32    | 0.21      | 67    | 0.19      | 102   | 0.18      |
| 33    | 0.22      | 68    | 0.18      | 103   | 0.19      |
| 34    | 0.18      | 69    | 0.24      | 104   | 0.20      |
| 35    | 0.20      | 70    | 0.18      | 105   | 0.18      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 106   | 0.20      |
| 107   | 0.22      |
| 108   | 0.23      |
| 109   | 0.21      |
| 110   | 0.25      |
| 111   | 0.22      |
| 112   | 0.21      |
| 113   | 0.20      |
| 114   | 0.19      |
| 115   | 0.23      |
| 116   | 0.17      |
| 117   | 0.18      |
| 118   | 0.21      |
| 119   | 0.20      |
| 120   | 0.21      |
| 121   | 0.20      |
| 122   | 0.23      |
| 123   | 0.21      |
| 124   | 0.19      |
| 125   | 0.19      |
| 126   | 0.20      |
| 127   | 0.19      |
| 128   | 0.19      |
| 129   | 0.20      |
| 130   | 0.20      |
| 131   | 0.22      |
| 132   | 0.18      |
| 133   | 0.22      |
| 134   | 0.22      |
| 135   | 0.19      |
| 136   | 0.23      |
| 137   | 0.19      |
| 138   | 0.20      |
| 139   | 0.24      |
| 140   | 0.22      |
| 141   | 0.22      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 142   | 0.20      |
| 143   | 0.26      |
| 144   | 0.17      |
| 145   | 0.22      |
| 146   | 0.20      |
| 147   | 0.22      |
| 148   | 0.20      |
| 149   | 0.19      |
| 150   | 0.23      |
| 151   | 0.20      |
| 152   | 0.21      |
| 153   | 0.20      |
| 154   | 0.20      |
| 155   | 0.16      |
| 156   | 0.19      |
| 157   | 0.19      |
| 158   | 0.18      |
| 159   | 0.20      |
| 160   | 0.18      |
| 161   | 0.22      |
| 162   | 0.23      |
| 163   | 0.21      |
| 164   | 0.20      |
| 165   | 0.20      |
| 166   | 0.19      |
| 167   | 0.16      |
| 168   | 0.18      |
| 169   | 0.18      |
| 170   | 0.21      |
| 171   | 0.18      |
| 172   | 0.16      |
| 173   | 0.17      |
| 174   | 0.22      |
| 175   | 0.15      |
| 176   | 0.23      |
| 177   | 0.23      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 178   | 0.21      |
| 179   | 0.17      |
| 180   | 0.21      |
| 181   | 0.22      |
| 182   | 0.26      |
| 183   | 0.20      |
| 184   | 0.21      |
| 185   | 0.23      |
| 186   | 0.17      |
| 187   | 0.25      |
| 188   | 0.21      |
| 189   | 0.20      |
| 190   | 0.19      |
| 191   | 0.17      |
| 192   | 0.23      |
| 193   | 0.18      |
| 194   | 0.18      |
| 195   | 0.19      |
| 196   | 0.22      |
| 197   | 0.21      |
| 198   | 0.19      |
| 199   | 0.21      |
| 200   | 0.20      |
| 201   | 0.21      |
| 202   | 0.18      |
| 203   | 0.21      |
| 204   | 0.25      |
| 205   | 0.19      |
| 206   | 0.21      |
| 207   | 0.17      |
| 208   | 0.18      |
| 209   | 0.20      |
| 210   | 0.20      |
| 211   | 0.22      |
| 212   | 0.20      |
| 213   | 0.19      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 214   | 0.19      |
| 215   | 0.19      |
| 216   | 0.23      |
| 217   | 0.20      |
| 218   | 0.21      |
| 219   | 0.19      |
| 220   | 0.22      |
| 221   | 0.22      |
| 222   | 0.20      |
| 223   | 0.20      |
| 224   | 0.21      |
| 225   | 0.19      |
| 226   | 0.21      |
| 227   | 0.19      |
| 228   | 0.23      |
| 229   | 0.19      |
| 230   | 0.20      |
| 231   | 0.21      |
| 232   | 0.23      |
| 233   | 0.21      |
| 234   | 0.23      |
| 235   | 0.21      |
| 236   | 0.22      |
| 237   | 0.22      |
| 238   | 0.23      |
| 239   | 0.18      |
| 240   | 0.23      |
| 241   | 0.20      |
| 242   | 0.22      |
| 243   | 0.17      |
| 244   | 0.17      |
| 245   | 0.20      |
| 246   | 0.21      |
| 247   | 0.19      |
| 248   | 0.17      |
| 249   | 0.18      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 250   | 0.25      |
| 251   | 0.20      |
| 252   | 0.22      |
| 253   | 0.23      |
| 254   | 0.24      |
| 255   | 0.24      |
| 256   | 0.26      |
| 257   | 0.20      |
| 258   | 0.19      |
| 259   | 0.21      |
| 260   | 0.24      |
| 261   | 0.21      |
| 262   | 0.19      |
| 263   | 0.23      |
| 264   | 0.20      |
| 265   | 0.23      |
| 266   | 0.20      |
| 267   | 0.21      |
| 268   | 0.24      |
| 269   | 0.24      |
| 270   | 0.21      |
| 271   | 0.22      |
| 272   | 0.22      |
| 273   | 0.30      |
| 274   | 0.25      |
| 275   | 0.22      |
| 276   | 0.24      |
| 277   | 0.21      |
| 278   | 0.25      |
| 279   | 0.18      |
| 280   | 0.21      |
| 281   | 0.21      |
| 282   | 0.23      |
| 283   | 0.18      |
| 284   | 0.19      |
| 285   | 0.24      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 286   | 0.18      |
| 287   | 0.19      |
| 288   | 0.25      |
| 289   | 0.21      |
| 290   | 0.28      |
| 291   | 0.24      |
| 292   | 0.20      |
| 293   | 0.25      |
| 294   | 0.24      |
| 295   | 0.24      |
| 296   | 0.22      |
| 297   | 0.21      |
| 298   | 0.20      |
| 299   | 0.23      |
| 300   | 0.23      |
| 301   | 0.19      |
| 302   | 0.27      |
| 303   | 0.24      |
| 304   | 0.24      |
| 305   | 0.25      |
| 306   | 0.24      |
| 307   | 0.20      |
| 308   | 0.22      |
| 309   | 0.22      |
| 310   | 0.18      |
| 311   | 0.27      |
| 312   | 0.19      |
| 313   | 0.23      |
| 314   | 0.23      |
| 315   | 0.19      |
| 316   | 0.19      |
| 317   | 0.18      |
| 318   | 0.18      |
| 319   | 0.18      |
| 320   | 0.22      |
| 321   | 0.27      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 322   | 0.25      |
| 323   | 0.21      |
| 324   | 0.24      |
| 325   | 0.23      |
| 326   | 0.23      |
| 327   | 0.22      |
| 328   | 0.24      |
| 329   | 0.19      |
| 330   | 0.23      |
| 331   | 0.23      |
| 332   | 0.22      |
| 333   | 0.23      |
| 334   | 0.20      |
| 335   | 0.18      |
| 336   | 0.26      |
| 337   | 0.23      |
| 338   | 0.23      |
| 339   | 0.23      |
| 340   | 0.24      |
| 341   | 0.19      |
| 342   | 0.24      |
| 343   | 0.22      |
| 344   | 0.30      |
| 345   | 0.26      |
| 346   | 0.15      |
| 347   | 0.18      |
| 348   | 0.26      |
| 349   | 0.24      |
| 350   | 0.15      |
| 351   | 0.22      |
| 352   | 0.21      |
| 353   | 0.27      |
| 354   | 0.23      |
| 355   | 0.22      |
| 356   | 0.23      |
| 357   | 0.22      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 358   | 0.25      |
| 359   | 0.23      |
| 360   | 0.22      |
| 361   | 0.21      |
| 362   | 0.23      |
| 363   | 0.25      |
| 364   | 0.26      |
| 365   | 0.23      |
| 366   | 0.16      |
| 367   | 0.24      |
| 368   | 0.22      |
| 369   | 0.21      |
| 370   | 0.23      |
| 371   | 0.22      |
| 372   | 0.19      |
| 373   | 0.21      |
| 374   | 0.23      |
| 375   | 0.26      |
| 376   | 0.21      |
| 377   | 0.19      |
| 378   | 0.22      |
| 379   | 0.25      |
| 380   | 0.28      |
| 381   | 0.24      |
| 382   | 0.18      |
| 383   | 0.22      |
| 384   | 0.23      |
| 385   | 0.21      |
| 386   | 0.21      |
| 387   | 0.25      |
| 388   | 0.18      |
| 389   | 0.21      |
| 390   | 0.22      |
| 391   | 0.19      |
| 392   | 0.26      |
| 393   | 0.27      |

| Label | Thickness |
|-------|-----------|
| 394   | 0.26      |
| 395   | 0.24      |
| 396   | 0.22      |
| 397   | 0.27      |
| 398   | 0.22      |
| 399   | 0.23      |
| 400   | 0.18      |
| 401   | 0.26      |
| 402   | 0.25      |
| 403   | 0.26      |
| 404   | 0.22      |
| 405   | 0.27      |
| 406   | 0.18      |
| 407   | 0.20      |
| 408   | 0.18      |
| 409   | 0.27      |
| 410   | 0.20      |
| 411   | 0.25      |
| 412   | 0.24      |
| 413   | 0.27      |
| 414   | 0.26      |
| 415   | 0.29      |
| 416   | 0.18      |
| 417   | 0.24      |
| 418   | 0.29      |
| 419   | 0.22      |
| 420   | 0.27      |
| 421   | 0.22      |
| 422   | 0.26      |
| 423   | 0.26      |
| 424   | 0.23      |
| 425   | 0.29      |
| 426   | 0.27      |
| 427   | 0.19      |
| 428   | 0.32      |
| 429   | 0.21      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานไอสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | Thickness | Label | Thickness |
|-------|-----------|-------|-----------|
| 430   | 0.24      | 466   | 0.23      |
| 431   | 0.25      | 467   | 0.24      |
| 432   | 0.25      | 468   | 0.25      |
| 433   | 0.21      | 469   | 0.23      |
| 434   | 0.22      | 470   | 0.19      |
| 435   | 0.22      | 471   | 0.23      |
| 436   | 0.22      | 472   | 0.23      |
| 437   | 0.23      | 473   | 0.22      |
| 438   | 0.25      | 474   | 0.22      |
| 439   | 0.20      | 475   | 0.21      |
| 440   | 0.21      | 476   | 0.22      |
| 441   | 0.26      | 477   | 0.23      |
| 442   | 0.25      | 478   | 0.29      |
| 443   | 0.19      | 479   | 0.21      |
| 444   | 0.27      | 480   | 0.21      |
| 445   | 0.27      | 481   | 0.22      |
| 446   | 0.21      | 482   | 0.18      |
| 447   | 0.21      | 483   | 0.17      |
| 448   | 0.20      | 484   | 0.27      |
| 449   | 0.27      | 485   | 0.21      |
| 450   | 0.27      | 486   | 0.27      |
| 451   | 0.22      | 487   | 0.20      |
| 452   | 0.27      | 488   | 0.26      |
| 453   | 0.22      | 489   | 0.19      |
| 454   | 0.18      | 490   | 0.25      |
| 455   | 0.27      | 491   | 0.28      |
| 456   | 0.20      | 492   | 0.26      |
| 457   | 0.19      | 493   | 0.25      |
| 458   | 0.23      | 494   | 0.24      |
| 459   | 0.23      | 495   | 0.22      |
| 460   | 0.23      | 496   | 0.27      |
| 461   | 0.27      | 497   | 0.24      |
| 462   | 0.21      | 498   | 0.18      |
| 463   | 0.23      | 499   | 0.22      |
| 464   | 0.21      | 500   | 0.26      |
| 465   | 0.23      |       |           |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความกว้างของเมล็ดข้าว500เมล็ด

| Label | width | Label | width | Label | width |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 0.22  | 36    | 0.16  | 71    | 0.31  |
| 2     | 0.24  | 37    | 0.17  | 72    | 0.25  |
| 3     | 0.26  | 38    | 0.22  | 73    | 0.24  |
| 4     | 0.27  | 39    | 0.15  | 74    | 0.27  |
| 5     | 0.19  | 40    | 0.23  | 75    | 0.31  |
| 6     | 0.19  | 41    | 0.23  | 76    | 0.26  |
| 7     | 0.2   | 42    | 0.21  | 77    | 0.27  |
| 8     | 0.28  | 43    | 0.27  | 78    | 0.28  |
| 9     | 0.29  | 44    | 0.25  | 79    | 0.30  |
| 10    | 0.16  | 45    | 0.28  | 80    | 0.26  |
| 11    | 0.21  | 46    | 0.29  | 81    | 0.25  |
| 12    | 0.19  | 47    | 0.30  | 82    | 0.27  |
| 13    | 0.22  | 48    | 0.24  | 83    | 0.29  |
| 14    | 0.18  | 49    | 0.23  | 84    | 0.28  |
| 15    | 0.21  | 50    | 0.27  | 85    | 0.24  |
| 16    | 0.18  | 51    | 0.27  | 86    | 0.23  |
| 17    | 0.18  | 52    | 0.29  | 87    | 0.29  |
| 18    | 0.21  | 53    | 0.25  | 88    | 0.27  |
| 19    | 0.19  | 54    | 0.28  | 89    | 0.28  |
| 20    | 0.20  | 55    | 0.24  | 90    | 0.23  |
| 21    | 0.21  | 56    | 0.25  | 91    | 0.25  |
| 22    | 0.20  | 57    | 0.25  | 92    | 0.27  |
| 23    | 0.22  | 58    | 0.28  | 93    | 0.29  |
| 24    | 0.18  | 59    | 0.29  | 94    | 0.25  |
| 25    | 0.20  | 60    | 0.25  | 95    | 0.28  |
| 26    | 0.23  | 61    | 0.27  | 96    | 0.17  |
| 27    | 0.17  | 62    | 0.30  | 97    | 0.27  |
| 28    | 0.20  | 63    | 0.29  | 98    | 0.21  |
| 29    | 0.24  | 64    | 0.31  | 99    | 0.27  |
| 30    | 0.19  | 65    | 0.23  | 100   | 0.20  |
| 31    | 0.17  | 66    | 0.24  | 101   | 0.26  |
| 32    | 0.20  | 67    | 0.27  | 102   | 0.19  |
| 33    | 0.18  | 68    | 0.29  | 103   | 0.25  |
| 34    | 0.21  | 69    | 0.25  | 104   | 0.28  |
| 35    | 0.18  | 70    | 0.23  | 105   | 0.23  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | width |
|-------|-------|
| 106   | 0.29  |
| 107   | 0.24  |
| 108   | 0.28  |
| 109   | 0.24  |
| 110   | 0.25  |
| 111   | 0.27  |
| 112   | 0.24  |
| 113   | 0.27  |
| 114   | 0.23  |
| 115   | 0.26  |
| 116   | 0.21  |
| 117   | 0.19  |
| 118   | 0.22  |
| 119   | 0.25  |
| 120   | 0.28  |
| 121   | 0.24  |
| 122   | 0.18  |
| 123   | 0.22  |
| 124   | 0.31  |
| 125   | 0.25  |
| 126   | 0.29  |
| 127   | 0.24  |
| 128   | 0.25  |
| 129   | 0.31  |
| 130   | 0.28  |
| 131   | 0.27  |
| 132   | 0.26  |
| 133   | 0.25  |
| 134   | 0.31  |
| 135   | 0.28  |
| 136   | 0.29  |
| 137   | 0.25  |
| 138   | 0.26  |
| 139   | 0.26  |
| 140   | 0.19  |
| 141   | 0.17  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 142   | 0.20  |
| 143   | 0.18  |
| 144   | 0.21  |
| 145   | 0.18  |
| 146   | 0.16  |
| 147   | 0.17  |
| 148   | 0.22  |
| 149   | 0.24  |
| 150   | 0.23  |
| 151   | 0.27  |
| 152   | 0.26  |
| 153   | 0.25  |
| 154   | 0.27  |
| 155   | 0.29  |
| 156   | 0.23  |
| 157   | 0.24  |
| 158   | 0.25  |
| 159   | 0.23  |
| 160   | 0.19  |
| 161   | 0.23  |
| 162   | 0.23  |
| 163   | 0.22  |
| 164   | 0.22  |
| 165   | 0.27  |
| 166   | 0.25  |
| 167   | 0.29  |
| 168   | 0.24  |
| 169   | 0.29  |
| 170   | 0.28  |
| 171   | 0.31  |
| 172   | 0.27  |
| 173   | 0.23  |
| 174   | 0.28  |
| 175   | 0.26  |
| 176   | 0.28  |
| 177   | 0.22  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 178   | 0.23  |
| 179   | 0.24  |
| 180   | 0.24  |
| 181   | 0.29  |
| 182   | 0.25  |
| 183   | 0.26  |
| 184   | 0.28  |
| 185   | 0.29  |
| 186   | 0.30  |
| 187   | 0.21  |
| 188   | 0.23  |
| 189   | 0.28  |
| 190   | 0.26  |
| 191   | 0.29  |
| 192   | 0.27  |
| 193   | 0.28  |
| 194   | 0.31  |
| 195   | 0.24  |
| 196   | 0.25  |
| 197   | 0.27  |
| 198   | 0.28  |
| 199   | 0.25  |
| 200   | 0.29  |
| 201   | 0.27  |
| 202   | 0.19  |
| 203   | 0.32  |
| 204   | 0.21  |
| 205   | 0.24  |
| 206   | 0.25  |
| 207   | 0.25  |
| 208   | 0.21  |
| 209   | 0.22  |
| 210   | 0.22  |
| 211   | 0.22  |
| 212   | 0.23  |
| 213   | 0.25  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | width |
|-------|-------|
| 214   | 0.29  |
| 215   | 0.25  |
| 216   | 0.28  |
| 217   | 0.23  |
| 218   | 0.25  |
| 219   | 0.29  |
| 220   | 0.27  |
| 221   | 0.23  |
| 222   | 0.28  |
| 223   | 0.28  |
| 224   | 0.29  |
| 225   | 0.31  |
| 226   | 0.23  |
| 227   | 0.24  |
| 228   | 0.28  |
| 229   | 0.27  |
| 230   | 0.27  |
| 231   | 0.24  |
| 232   | 0.24  |
| 233   | 0.27  |
| 234   | 0.23  |
| 235   | 0.26  |
| 236   | 0.21  |
| 237   | 0.19  |
| 238   | 0.22  |
| 239   | 0.25  |
| 240   | 0.28  |
| 241   | 0.24  |
| 242   | 0.27  |
| 243   | 0.28  |
| 244   | 0.31  |
| 245   | 0.24  |
| 246   | 0.23  |
| 247   | 0.28  |
| 248   | 0.28  |
| 249   | 0.26  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 250   | 0.22  |
| 251   | 0.24  |
| 252   | 0.24  |
| 253   | 0.28  |
| 254   | 0.22  |
| 255   | 0.21  |
| 256   | 0.29  |
| 257   | 0.28  |
| 258   | 0.30  |
| 259   | 0.26  |
| 260   | 0.27  |
| 261   | 0.24  |
| 262   | 0.25  |
| 263   | 0.28  |
| 264   | 0.29  |
| 265   | 0.28  |
| 266   | 0.26  |
| 267   | 0.25  |
| 268   | 0.28  |
| 269   | 0.26  |
| 270   | 0.28  |
| 271   | 0.27  |
| 272   | 0.20  |
| 273   | 0.27  |
| 274   | 0.30  |
| 275   | 0.28  |
| 276   | 0.26  |
| 277   | 0.27  |
| 278   | 0.27  |
| 279   | 0.28  |
| 280   | 0.28  |
| 281   | 0.27  |
| 282   | 0.29  |
| 283   | 0.28  |
| 284   | 0.24  |
| 285   | 0.23  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 286   | 0.29  |
| 287   | 0.27  |
| 288   | 0.26  |
| 289   | 0.20  |
| 290   | 0.21  |
| 291   | 0.18  |
| 292   | 0.19  |
| 293   | 0.23  |
| 294   | 0.16  |
| 295   | 0.21  |
| 296   | 0.28  |
| 297   | 0.23  |
| 298   | 0.24  |
| 299   | 0.29  |
| 300   | 0.30  |
| 301   | 0.31  |
| 302   | 0.23  |
| 303   | 0.25  |
| 304   | 0.26  |
| 305   | 0.27  |
| 306   | 0.28  |
| 307   | 0.27  |
| 308   | 0.31  |
| 309   | 0.23  |
| 310   | 0.25  |
| 311   | 0.24  |
| 312   | 0.27  |
| 313   | 0.29  |
| 314   | 0.23  |
| 315   | 0.24  |
| 316   | 0.25  |
| 317   | 0.26  |
| 318   | 0.29  |
| 319   | 0.31  |
| 320   | 0.30  |
| 321   | 0.28  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | width |
|-------|-------|
| 322   | 0.28  |
| 323   | 0.25  |
| 324   | 0.20  |
| 325   | 0.29  |
| 326   | 0.30  |
| 327   | 0.25  |
| 328   | 0.24  |
| 329   | 0.31  |
| 330   | 0.29  |
| 331   | 0.27  |
| 332   | 0.26  |
| 333   | 0.28  |
| 334   | 0.28  |
| 335   | 0.29  |
| 336   | 0.26  |
| 337   | 0.23  |
| 338   | 0.26  |
| 339   | 0.28  |
| 340   | 0.28  |
| 341   | 0.25  |
| 342   | 0.23  |
| 343   | 0.24  |
| 344   | 0.26  |
| 345   | 0.29  |
| 346   | 0.25  |
| 347   | 0.24  |
| 348   | 0.20  |
| 349   | 0.22  |
| 350   | 0.23  |
| 351   | 0.20  |
| 352   | 0.23  |
| 353   | 0.28  |
| 354   | 0.26  |
| 355   | 0.27  |
| 356   | 0.31  |
| 357   | 0.23  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 358   | 0.27  |
| 359   | 0.26  |
| 360   | 0.29  |
| 361   | 0.22  |
| 362   | 0.23  |
| 363   | 0.22  |
| 364   | 0.23  |
| 365   | 0.24  |
| 366   | 0.26  |
| 367   | 0.25  |
| 368   | 0.24  |
| 369   | 0.23  |
| 370   | 0.27  |
| 371   | 0.27  |
| 372   | 0.28  |
| 373   | 0.28  |
| 374   | 0.27  |
| 375   | 0.22  |
| 376   | 0.22  |
| 377   | 0.23  |
| 378   | 0.25  |
| 379   | 0.29  |
| 380   | 0.25  |
| 381   | 0.28  |
| 382   | 0.23  |
| 383   | 0.25  |
| 384   | 0.29  |
| 385   | 0.27  |
| 386   | 0.23  |
| 387   | 0.23  |
| 388   | 0.29  |
| 389   | 0.27  |
| 390   | 0.24  |
| 391   | 0.27  |
| 392   | 0.28  |
| 393   | 0.30  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 394   | 0.25  |
| 395   | 0.21  |
| 396   | 0.20  |
| 397   | 0.19  |
| 398   | 0.17  |
| 399   | 0.23  |
| 400   | 0.18  |
| 401   | 0.18  |
| 402   | 0.19  |
| 403   | 0.22  |
| 404   | 0.21  |
| 405   | 0.30  |
| 406   | 0.25  |
| 407   | 0.26  |
| 408   | 0.28  |
| 409   | 0.29  |
| 410   | 0.26  |
| 411   | 0.25  |
| 412   | 0.27  |
| 413   | 0.28  |
| 414   | 0.26  |
| 415   | 0.25  |
| 416   | 0.30  |
| 417   | 0.22  |
| 418   | 0.28  |
| 419   | 0.27  |
| 420   | 0.31  |
| 421   | 0.23  |
| 422   | 0.28  |
| 423   | 0.27  |
| 424   | 0.28  |
| 425   | 0.27  |
| 426   | 0.26  |
| 427   | 0.29  |
| 428   | 0.30  |
| 429   | 0.28  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Label | width |
|-------|-------|
| 430   | 0.27  |
| 431   | 0.28  |
| 432   | 0.29  |
| 433   | 0.30  |
| 434   | 0.28  |
| 435   | 0.28  |
| 436   | 0.29  |
| 437   | 0.30  |
| 438   | 0.28  |
| 439   | 0.27  |
| 440   | 0.27  |
| 441   | 0.27  |
| 442   | 0.24  |
| 443   | 0.25  |
| 444   | 0.23  |
| 445   | 0.26  |
| 446   | 0.27  |
| 447   | 0.28  |
| 448   | 0.29  |
| 449   | 0.25  |
| 450   | 0.27  |
| 451   | 0.28  |
| 452   | 0.29  |
| 453   | 0.23  |
| 454   | 0.24  |
| 455   | 0.3   |
| 456   | 0.25  |
| 457   | 0.27  |
| 458   | 0.28  |
| 459   | 0.24  |
| 460   | 0.25  |
| 461   | 0.28  |
| 462   | 0.28  |
| 463   | 0.23  |
| 464   | 0.30  |
| 465   | 0.28  |

| Label | width |
|-------|-------|
| 466   | 0.24  |
| 467   | 0.25  |
| 468   | 0.27  |
| 469   | 0.24  |
| 470   | 0.27  |
| 471   | 0.23  |
| 472   | 0.26  |
| 473   | 0.21  |
| 474   | 0.19  |
| 475   | 0.22  |
| 476   | 0.25  |
| 477   | 0.28  |
| 478   | 0.22  |
| 479   | 0.22  |
| 480   | 0.23  |
| 481   | 0.25  |
| 482   | 0.29  |
| 483   | 0.31  |
| 484   | 0.25  |
| 485   | 0.26  |
| 486   | 0.27  |
| 487   | 0.28  |
| 488   | 0.22  |
| 489   | 0.18  |
| 490   | 0.20  |
| 491   | 0.23  |
| 492   | 0.17  |
| 493   | 0.20  |
| 494   | 0.24  |
| 495   | 0.19  |
| 496   | 0.17  |
| 497   | 0.27  |
| 498   | 0.27  |
| 499   | 0.25  |
| 500   | 0.27  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                            |             |          |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------------|
| <div>American Standard<br/>Sieve Series ASTM E11:95</div> |             |          |             |
| Wire Mesh Series                                                                                                                           |             |          |             |
| Designation                                                                                                                                |             |          |             |
| Standard                                                                                                                                   | Alternative | Standard | Alternative |
| mm                                                                                                                                         | inch or No. | µm       | inch or No. |
| 125.00                                                                                                                                     | 5.00        | 850      | No. 20      |
| 106.00                                                                                                                                     | 4.24        | 710      | No. 25      |
| 100.00                                                                                                                                     | 4           | 600      | No. 30      |
| 90.00                                                                                                                                      | 3½          | 500      | No. 35      |
| 75.00                                                                                                                                      | 3           | 425      | No. 40      |
| 63.00                                                                                                                                      | 2½          | 355      | No. 45      |
| 53.00                                                                                                                                      | 2.12        | 300      | No. 50      |
| 50.00                                                                                                                                      | 2           | 250      | No. 60      |
| 45.00                                                                                                                                      | 1¾          | 212      | No. 70      |
| 37.50                                                                                                                                      | 1½          | 180      | No. 80      |
| 31.50                                                                                                                                      | 1¼          | 150      | No. 100     |
| 26.50                                                                                                                                      | 1.06        | 125      | No. 120     |
| 25.00                                                                                                                                      | 1           | 106      | No. 140     |
| 22.40                                                                                                                                      | ¾           | 90       | No. 170     |
| 19.00                                                                                                                                      | ¾           | 75       | No. 200     |
| 16.00                                                                                                                                      | ⅝           | 63       | No. 230     |
| 13.20                                                                                                                                      | 0.530       | 53       | No. 270     |
| 12.50                                                                                                                                      | ½           | 45       | No. 325     |
| 11.20                                                                                                                                      | ⅞           | 38       | No. 400     |
| 9.50                                                                                                                                       | ⅜           | 32       | No. 450     |
| 8.00                                                                                                                                       | ⅝           | 25       | No. 500     |
| 6.70                                                                                                                                       | 0.265       | 20       | No. 635     |
| 6.30                                                                                                                                       | ¼           |          |             |
| 5.60                                                                                                                                       | No. 3½      |          |             |
| 4.75                                                                                                                                       | No. 4       |          |             |
| 4.00                                                                                                                                       | No. 5       |          |             |
| 3.35                                                                                                                                       | No. 6       |          |             |
| 2.80                                                                                                                                       | No. 7       |          |             |
| 2.36                                                                                                                                       | No. 8       |          |             |
| 2.00                                                                                                                                       | No. 10      |          |             |
| 1.70                                                                                                                                       | No. 12      |          |             |
| 1.40                                                                                                                                       | No. 14      |          |             |
| 1.18                                                                                                                                       | No. 16      |          |             |
| 1.00                                                                                                                                       | No. 18      |          |             |

|                                     |        |                        |                |
|-------------------------------------|--------|------------------------|----------------|
| Sieve Diameters and Frame Materials |        |                        |                |
| Diameter                            | Height | Depth to Mesh or Plate | Frame Material |
| 3 in                                | Full   | 1¼ in                  | Br or SS       |
| 8 in                                | Full   | 2 in                   | Br or SS       |
| 8 in                                | Half   | 1 in                   | Br or SS       |
| 12 in                               | Full   | 3 in                   | Br or SS       |
| 12 in                               | Half   | 1 in                   | Br or SS       |
| 18 in                               | Full   | 3½ in                  | SS             |

รูปที่ ก.1 ขนาดช่องเปิดของตะแกรงทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าไฟฟ้าองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรของการไฟฟ้านครหลวง

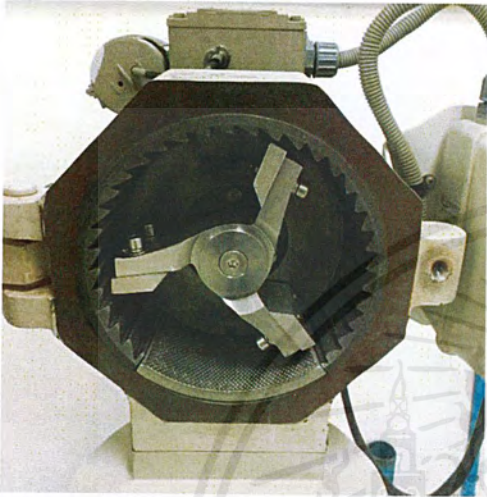
| อัตรารายเดือน                                       |                                |                          |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                                                     | ค่าพลังงานไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) | ค่าบริการ<br>(บาท/เดือน) |
| 6.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป                     | 3.4407                         | 312.24                   |
| 6.1.2 แรงดัน 12 – 24 กิโลโวลต์                      | 3.6107                         | 312.24                   |
| 6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์                    |                                | 20.00                    |
| 10 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก<br>(หน่วยที่ 1-10 ) | 2.8271                         |                          |
| เกินกว่า 10 หน่วย<br>(หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)        | 3.9177                         |                          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัตถุตีบและผลิตภัณฑ์ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 ห้องบดและค้อนเหวี่ยงของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง



รูปที่ ข.2 เครื่องป้อน



รูปที่ ข. 3 เครื่องร้อนตะแกรง

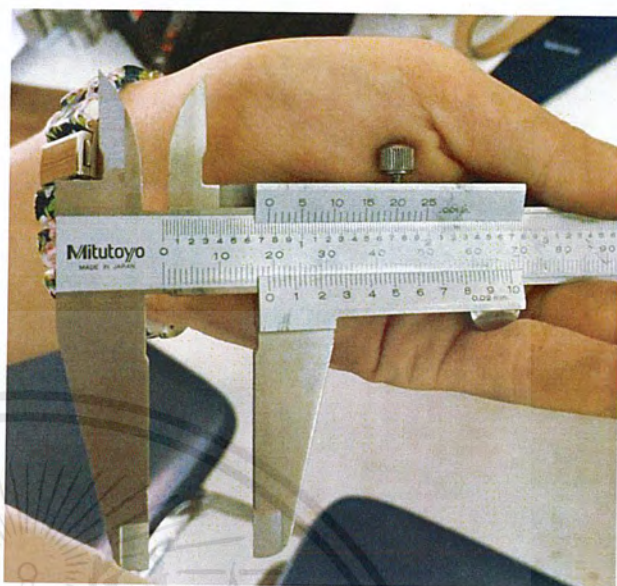


รูปที่ ข. 4 ข้าวขาวดอกมะลิ105 ชนิดข้าวขาวพันธุ์ 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการลดขนาดข้าว  
ขาวดอกมะลิ 105 ชนิดข้าวขาวพันธุ์ 15%



รูปที่ ข. 6 เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo

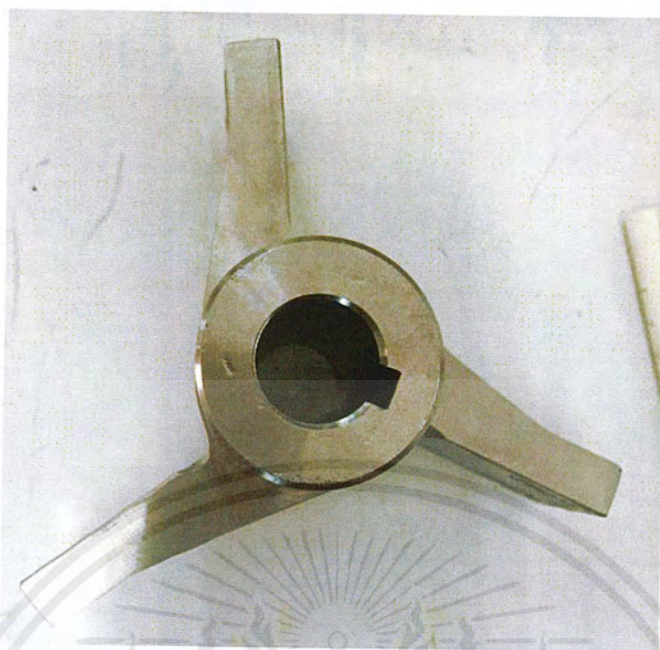


รูปที่ ข. 7 ตะแกรงทดสอบ (Test Sieve)

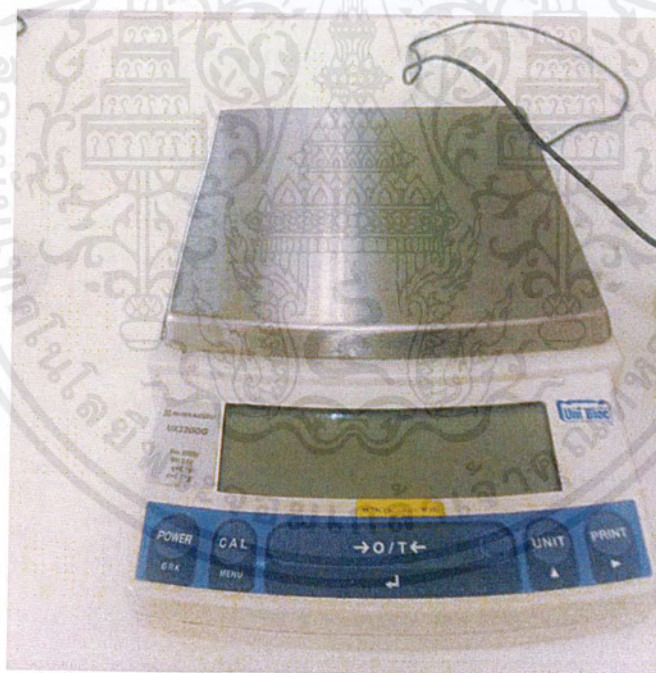


รูปที่ ข. 8 แคลมป์มิเตอร์ ยี่ห้อ Kyoritsu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

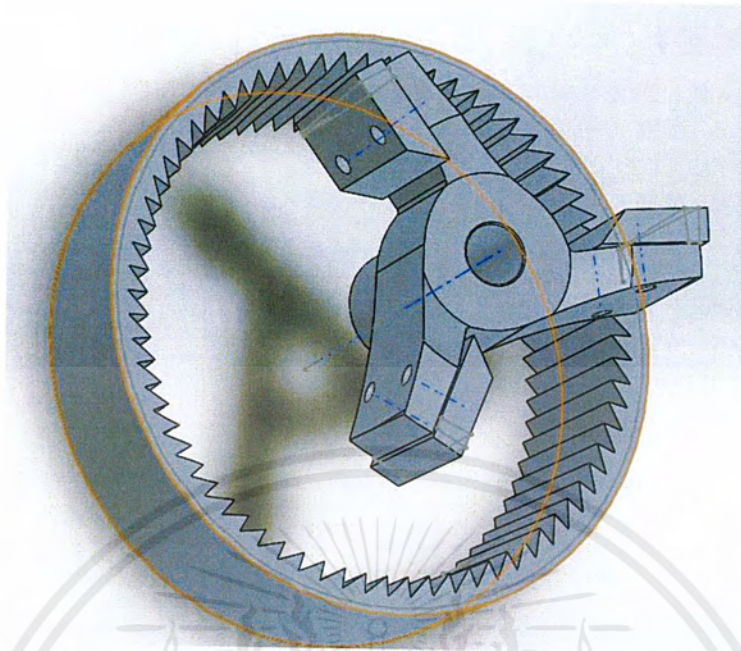


รูปที่ ข. 9 แกนค้อนเหวี่ยงของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

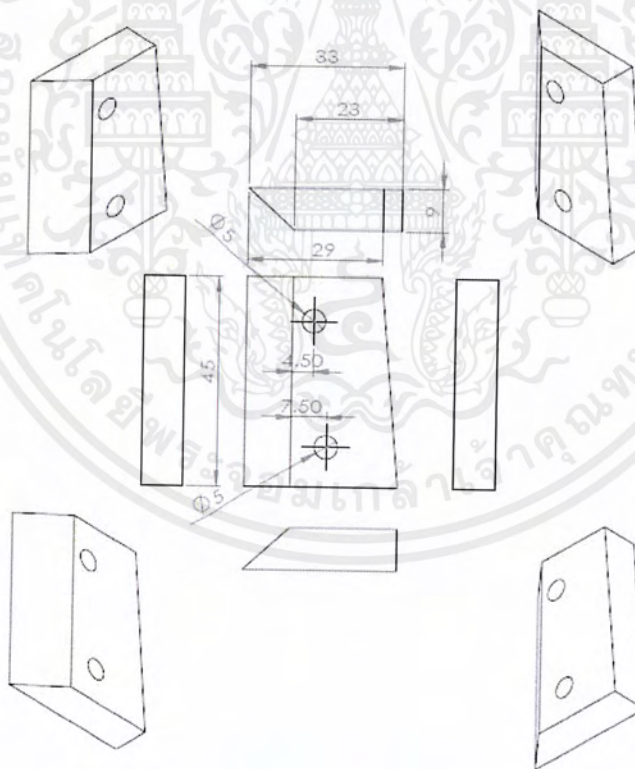


รูปที่ ข. 10 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UX3200G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 ภาพแสดงลักษณะแกน ใบมีดและห้องโมด้วยโปรแกรมSolid Work



รูปที่ ข.12 ภาพแสดงใบมีดของเครื่องลดขนาดแบบค้อนเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

แสงนวล ทองเพียร. 2548. พันธุ์ข้าวหอม และมาตรฐานข้าวหอมไทย. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. หน้า 4-39.

สำนักงานมาตรฐานการเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าว. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี2558. กรุงเทพฯ.

Dariusz Dziki, Bozena Gładyszewska, Renata Rozyto, Renata Polak, Stanisław Rudy, Andrzej Krzykowski. 2012. Department of thermal technology. University of life sciences. Lublin. Poland.

Deepak Gupta. Design and analysis of a horizontal shaft impact crusher. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of technology. National institute of technology Rourkela. India.

M.S. El Shal ,M.A. Tawfik ,A.M. El Shal ,K.A. Metwally. 2010. Study the effect of some operational factors on hammer mill. Misr J. Ag. Eng., 27(1): 54 – 74.

Ventaka S.P. Bitra, Alvin R. Womec, Nehru Chevanan, Petre I. Miu, C. Igathinathane, Shahab Sokhansanj, David R. Smith. 2009. Direct mechanical energy measures of hammer mill comminution of switchgrass, wheat straw, and corn stover and analysis of their particle size distributions. USA.