การแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

มาศรุจ พงษ์เทียน

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2566

การแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

มาศรุจ พงษ์เทียน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

มาศรุจ พงษ์เทียน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์
ชื่อผู้เขียน นายมาศรุจ พงษ์เทียน
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการคัดแยกเปลือกหุ้มเมล็ดลำไยออก โดยนำเนื้อในเมล็ดมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากเนื้อในเมล็ดลำไยมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างใกล้เคียงกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมไปถึงยังเป็นการช่วยลดต้นทุนให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ตลอดจนเป็นการจัดการให้มีการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้และเศษวัสดุเกษตรให้เหลือศูนย์จากกลุ่มการแปรรูปเนื้อลำไยอบแห้งและกลุ่มแปรรูปเนื้อลำไยเข้าโรงงานลำไยกระป๋อง โดยวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เฉพาะเพื่อศึกษาการแยกเนื้อในออกจากเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเนื้อในที่แยกได้นั้นจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไย เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวกับการกะเทาะเชิงกลต่อสมรรนะการแยกเปลือกเมล็ดลำไย และเพื่อความสัมพันธ์ของการแยกเปลือกเมล็ดลำไย ซึ่งเมล็ดลำไยที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเมล็ดในฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งได้มาจากโรงคว้านลำไย บ้านเลขที่ 290 หมู่ที่ 14 ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือเมล็ดลำไยที่ปลูกในฤดูกาล มีรูปทรงค่อนข้างกลม เนื่องจากค่าเฉลี่ยความกลมของเมล็ดมีค่าเข้าใกล้ 1 มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 37.36 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ถือว่าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศปกติได้ จึงจำเป็นต้องทำการรีบลดความชื้นให้ต่ำเพื่อสามารถเก็บรักษาในระยะยาวได้ และขนาดของเมล็ดที่ใช้ในการทดสอบแบบเฉลี่ยเท่ากับ 10.62±0.71 มิลลิเมตร โดยทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบ ทำการทดสอบเบื้องต้นเป็นการทดสอบชนิดของตะแกรง ในการออกแบบชนิดของตะแกรง ตะแกรงรูวงกลมมาจากขนาดของเมล็ดลำไยหลังการอบแห้งขนาดเล็กที่สุด ตะแกรงรูวงรีมาจากตะแกรงของเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมมาจากการพัฒนาตะแกรงของเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ โดยมีระยะห่างระหว่างปลายลิ่มกับตะแกรงอยู่ที่ 7.7 มิลลิเมตร มีความเร็วเชิงเส้นอยู่ที่ 4.084 เมตรต่อวินาที การวิเคราะห์เพลาและตะแกรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้แรงกระทำได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับกะเทาะ ซึ่งใช้แรงบิดคือ 15.92 นิวตันต่อเมตร กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 1.485×10^{6} , 3.671×10^{5} นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength วัสดุ AISI 304 ทำให้การกะเทาะใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety

distribution ต่ำสุดมีค่า 6.682×10^{5} , 2.056×10^{11} ได้ค่า resultant displacement สูงสุดมีค่า 1.09×10^{-3} , 1.387×10^{-4} มิลลิเมตร และได้ค่า equivalent strain มีค่าสูงสุด 2.859×10^{-6} , 8.320×10^{-7} และการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย ความเร็วรอบการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ 1,400 รอบต่อนาที ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพการแยก 81.19% ประสิทธิผลการแยก 37.79% อัตราการทำงาน 97 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการตกค้างอยู่ที่ 1.27% การศึกษาการเตรียมเมล็ดลำไยเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น มีคุณค่าทางโภชนาการดั้งนี้ โปรตีน 7.20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.34 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 3.58 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.523 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 3,946 กิโลแคลอรี่ มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมล็ด โดยสารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดจากเนื้อเมล็ดลำไยมีผลทำให้น้ำหนักของสัตว์ปีกเพิ่มขึ้น ส่วนกลิ่นเฉพาะของเนื้อในเมล็ดลำไย ไม่มีผลกระทบต่อความน่าของอาหารสัตว์ปีก โดยสัตว์ปีกมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 49.10 – 53.46 กรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ปีก รวมไปถึงไม่มีผลเสียทำให้สัตว์ปีกตายอีกด้วย แต่ต้องใช้สารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดจากเนื้อเมล็ดลำไยในปริมาณที่เหมาะสม

คำสำคัญ : การแยกเชิงกล, เมล็ดลำไย, วัตถุดิบอาหารสัตว์

Title SEPARATION OF LONGAN KERNAL FROM SEED FOR ANIMAL FEED

Author Mr. Masarud Phongtean

Degree Master of Engineering in Agricultural Engineering

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Dr. Sunate Surbkar

ABSTRACT

This thesis is a study of methods for separating longan seed coats. The pulp inside the seeds is used as raw material for animal feed. This is because the pulp in longan seeds has nutritional value quite similar to that of animal feed corn. Including it also helps reduce costs for animal farmers. As well as managing the use of by-products and agricultural waste to zero from the dried longan pulp processing group and the longan pulp processing group into the canned longan factory. The specific objective of this thesis is to study the separation of the inner pulp from the seed coat. The separated flesh will be used as raw material for animal feed. The objective is to design and develop a longan seed peeling machine. To study the effect of mechanical cracking variables on the performance of separating longan seed husks. and for the relationship between separating longan seed shells The longan seeds used in the test were seeds during the growing season. which came from the longan coring factory, house number 290, Village No. 14, Mae Faek Mai Subdistrict, San Sai District, Chiang Mai Province The following properties are available for longan seeds that are grown during the season. It has a rather round shape. Because the average seed roundness is close to 1, the initial moisture content is 37.36 percent, the base is wet. Considered to be at a relatively high level. As a result, they cannot be preserved in normal atmospheric conditions. Therefore, it is necessary to quickly reduce the humidity to a low level in order to be able to preserve it in the long term. And the average size of the seeds used in the test was 10.62±0.71 millimeters by designing, building, and testing. Preliminary testing was done to test the type of sieve. in designing the type of grating The circular hole sieve comes from the

smallest size of longan seeds after drying. The oval hole grid comes from the grid of a coffee bean sheller. The square hole sieve comes from the development of the sieve of the coffee bean sheller. The distance between the tip of the wedge and the grid is 7.7 millimeters and the linear velocity is 4.084 meters per second. Analysis of shafts and screens using computer programs The force can be used from the results of the study of force used for crackers. which uses a torque of 15.92 newtons per meter Set the clamping point to be fixed, resulting in a maximum von mises stress value of 1.485×10^{6}, 3.671×10^{5} newtons per square meter. which is less than the yield strength of AISI 304 material, allowing chipping to be used without damage. The lowest factor of safety distribution value is 6.682×10^{5}, 2.056×10^{11}. The highest resultant displacement value is 1.09×10^{-3}, 1.387×10^{-4} millimeters and obtained the highest equivalent strain value of 2.859×10^{-6}, 8.320×10^{-7} and performance testing of the longan seed sheller. Longan seed shelling speed of 1,400 rpm provides the best performance. It gives a separation efficiency of 81.19%, a separation efficiency of 37.79%, a working rate of 97 kilograms per hour. and the residue was 1.27%. The study of longan seed preparation for use as animal feed raw material. It has the following nutritional values: 7.20 percent protein, 2.34 percent fat, 3.58 percent fiber, 0.523 percent calcium, and 3,946 kilocalories of energy. It has seed morphology. The polyphenol compounds extracted from longan seed pulp have an effect on increasing the weight of poultry. As for the specific smell of the flesh of longan seeds There is no effect on the taste of poultry feed. The poultry gained an average of 49.10 - 53.46 grams of body weight per bird per day. It has no effect on the production performance of poultry. Including no harmful effects causing the death of poultry. But the polyphenol compounds extracted from longan seeds must be used in the right amount.

Keywords : Mechanical separation, Longan kernel, Animal feed

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงาน เช่น

รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยวิศวกรรมและประธานหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร ที่กรุณาสละเวลา ให้คำปรึกษาให้ ความรู้ คำแนะนำ และช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดจนเอาใจใส่ดูแลสม่ำเสมอ ช่วยตรวจสอบแก้ไข และสนับสนุนเครื่องมือในห้องปฏิบัติการในการทำงายวิจัยเรื่องนี้

รองศาสตราจารย์บัณฑิต หิรัญสถิตพร ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำกระบวนการคัดแยกการเลือกใช้อุปกรณ์ในการออกแบบเครื่องคัดแยกรวมทั้งให้คำแนะนำเรื่องการดำเนินงานซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการดำเนินงานที่ วางแผนไว้ทั้งหมด

รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการสร้างและออกแบบกระบวน การคัดแยก และการใช้อุปกรณ์วิธีการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาสละเวลาโดยทำหน้าที่ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการปรับแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนทุนวิจัยเรื่องนี้

ห้องปฏิบัติการหน่วยบริการทางวิชาการด้านการแปรรูปผลผลิตเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟและอินฟาเรด อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณาจารย์ ข้าราชการ พนักงานมหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ของสาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มีส่วนช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดา - มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุน อบรม ส่งเสริมการศึกษา จนทำให้ผู้จัดทำงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

มาศรุจ พงษ์เทียน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 4

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 4

2.1 กระบวนการแยกเชิงกล-ฟิสิกส์ (mechanical physical separation process) 4

2.1.1 แรงกด (compression force) 4

2.1.2 แรงเฉือน (shear force) 4

2.2 การบีบอัดโดยใช้ลูกรีด (roller press) 5

2.3 การแยกแบบแผ่น (disc attrition mill or burr mill) 5

2.4 การเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์ (centrifugation) 6

2.5 เครื่องกะเทาะวัสดุแข็ง 6

2.5.1 เครื่องกะเทาะแบบโม่หินแนวนอน (disc huller or under-runner disc huller) 6
2.5.2 เครื่องกะเทาะแบบลูกยาง (rubber roll huller) 7
2.5.3 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยงกระทบ (impact huller or centrifugal husks)..... 8
2.6 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุแข็ง 9
2.6.1 ขนาดการหาขนาดของวัสดุแข็ง 9
2.6.2 ความกลมของวัสดุแข็ง 10
2.6.3 พื้นที่ผิวของเมล็ดลำไยสด 10
2.6.4 ความชื้น 10
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
บทที่ 3 15
วิธีการวิจัย 15
3.1 แผนภาพดำเนินการวิจัย 15
3.2 การกำหนดตัวแปรศึกษา 16
3.3 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ 16
3.4 กระบวนการเตรียมเมล็ดลำไยสด 17
3.5 สมบัติของเมล็ดลำไยที่ใช้ทดสอบ 17
3.6 กระบวนการอบแห้งเมล็ดลำไยสด 18
3.7 การออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไยแห้ง 18
3.7.1 กลไกการลำเลียง 19
3.7.1.2 เพลาเครื่องบด 20
3.7.2 กลไกการกะเทาะ 20
3.7.3 กลไกการคัดแยก 24
3.7.4 การออกแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไย 24
3.8 การทดสอบความเร็วรอบในการกะเทาะ 26

3.9 ค่าชี้วัดสมรรถนะการแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกจากเนื้อใน 26
3.9.1 ประสิทธิภาพการแยก 26
3.9.2 ประสิทธิผลการแยก 26
3.9.3 อัตราการทำงาน 27
3.9.4 การตกค้าง 27
4.0 การวิเคราะห์ผล 27
บทที่ 4 28
ผลการวิจัยและวิจารณ์ 28
4.1 ผลการเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดกะเทาะด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 28
4.2 ผลการวิเคราะห์เพลา 28
4.3 ผลการวิเคราะห์ตะแกรง 31
4.5 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน 34
4.5.1 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน 34
4.5.2 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน 37
4.5.3 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 4.5 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน 40
4.5.4 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่อสมรรถนะการทำงาน 43
บทที่ 5 48
สรุปและข้อเสนอแนะ 48
5.1 สรุปผลการทดลอง 48
5.2 ปัญหาที่พบในการศึกษา 48
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป 49
บรรณานุกรม 50
ภาคผนวก 53
ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากลไกการแยกเปลือกเมล็ดลำไย 54

ข. แบบแปลนเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย 64

ค. ข้อมูลการทดลอง 66

ง. การนำเสนอผลงานวิชาการ 84

ประวัติผู้วิจัย 90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตัวแปรศึกษา..... 16

ตารางที่ 2 สมบัติของเมล็ดลำไยสดที่ใช้ทดสอบ..... 17

ตารางที่ 3 รายละเอียดการวิเคราะห์เพลา..... 29

ตารางที่ 4 รายละเอียดการวิเคราะห์ตะแกรง..... 32

ตารางที่ 5 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 1.5 mm)..... 35

ตารางที่ 6 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 3.0 mm)..... 38

ตารางที่ 7 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 4.5 mm)..... 41

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แรงกดที่กระทำกับวัสดุ 4

ภาพที่ 2 ทิศทางของการเกิดแรงเฉือน 4

ภาพที่ 3 ไดอะแกรมอิสระของลูกกลิ้งบด 2 ลูกหมุนสวนกัน 5

ภาพที่ 4 กลไกการแยกแบบแผ่นหิน 5

ภาพที่ 5 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยงกระทบ 6

ภาพที่ 6 เครื่องกะเทาะแบบโม่หินแนวนอน 7

ภาพที่ 7 เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกแบบลูกยาง 8

ภาพที่ 8 ด้าน a, b และ c ของวัสดุ 9

ภาพที่ 9 แผนภูมิการดำเนินงาน 15

ภาพที่ 10 เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย 19

ภาพที่ 11 ถังป้อน 19

ภาพที่ 12 เพลาเครื่องบด 20

ภาพที่ 13 ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม 21

ภาพที่ 14 ตะแกรงรูวงกลม 21

ภาพที่ 15 ตะแกรงรูวงรี 22

ภาพที่ 16 ตะแกรงขนาดเล็ก 22

ภาพที่ 17 ตะแกรงกลาง 23

ภาพที่ 18 ตะแกรงใหญ่ 23

ภาพที่ 19 เพลาและตะแกรง 28

ภาพที่ 20 แผนภาพสีค่า von mises stress เพลา 29

ภาพที่ 21 แผนภาพสีค่า factor of safety เพลา 30

ภาพที่ 22 แผนภาพสีค่า resultant displacement เพลา 30
ภาพที่ 23 แผนภาพสีค่า equivalent strain เพลา 31
ภาพที่ 24 แผนภาพสีค่า von mises stress ตะแกรง 32
ภาพที่ 25 แผนภาพสีค่า resultant displacement ตะแกรง 33
ภาพที่ 26 แผนภาพสีค่า resultant displacement ตะแกรง 33
ภาพที่ 27 แผนภาพสีค่า equivalent strain ตะแกรง 34
ภาพที่ 28 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก 35
ภาพที่ 29 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก 36
ภาพที่ 30 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน 36
ภาพที่ 31 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง 37
ภาพที่ 32 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก 38
ภาพที่ 33 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก 39
ภาพที่ 34 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน 39
ภาพที่ 35 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง 40
ภาพที่ 36 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก 41
ภาพที่ 37 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก 42
ภาพที่ 38 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน 42
ภาพที่ 39 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง 43
ภาพที่ 40 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อ 44
ภาพที่ 41 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อ 45
ภาพที่ 42 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่ออัตราการทำงาน 46
ภาพที่ 43 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อการตกค้าง 47

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่นิยมเพาะปลูกในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร แสดงให้เห็นว่ามีการเพาะปลูกที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยจากวารสารเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2565 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ชี้ให้เห็นว่าในปี 2565 มีเนื้อที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 1,693,261 ไร่ เพิ่มขึ้นจาก 1,650,124 ไร่ ซึ่งคิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตถึงร้อยละ 2.61 และจากวารสารสถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2565 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ได้รายงานอีกว่า ตลอดทั้งปีนั้นสามารถผลิตลำไยได้ทั้งหมดเท่ากับ 1,555,360 ตัน น้อยกว่าในปี 2564 ที่สามารถผลิตได้ 1,567,087 ตัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลผลิตที่ลดลง ในการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของการผลิตลำไยในทุก ๆ ปี โดยการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตในปี 2565 คิดเป็นร้อยละ 0.75 นอกเหนือจากการผลิตและบริโภคภายในประเทศแล้ว ลำไยยังถือเป็นผลไม้ที่นิยมส่งออกเป็นลำดับต้น ๆ ที่สร้างชื่อเสียงและรายได้แก่ประเทศ ลำไยที่ส่งออกนั้นจะอยู่ในรูปแบบทั้งสดและแห้ง โดยรูปแบบสดนั้นตลาดหลัก ๆ ของประเทศไทยที่นิยมส่งออกได้แก่ เวียดนาม จีน และอินโดนีเซีย ส่วนรูปแบบแห้งได้แก่ เวียดนาม จีน และพม่า ตามลำดับ โดยมูลค่าการส่งออกในปี 2565 ในรูปแบบสดเท่ากับ 470,547 ตัน มูลค่า 17,434 ล้านบาท ลดลงร้อยละ 34.57 เทียบกับช่วงเดียวกัน ของปี 2564 ส่วนรูปแบบแห้งนั้นเท่ากับ 159,229 ตัน มูลค่า 7,409 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.87 เทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2564

กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษกิจการเกษตร ระบุราคาขายส่งอาหารสัตว์ปีกสำเร็จรูปแบบผงอยู่ที่ 600 บาทต่อ 30 กิโลกรัม และอาหารสัตว์สำเร็จรูปแบบเม็ดอยู่ที่ 615 บาทต่อ 30 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) หากเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์นำอาหารสัตว์สำเร็จรูปไปแบ่งผสมกับเนื้อในเมล็ดลำไย โดยราคาเมล็ดลำไยจะอยู่ที่กิโลกรัมละ 5-10 บาท (อุษณีย์, 2551) ราคาหลังการกะเทาะเอาเนื้อในเมล็ดลำไยอยู่ที่กิโลกรัมละ 8-12 บาท นอกจากจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์แล้ว ยังสามารถเพิ่มมูลค่าเมล็ดลำไยให้กับเกษตรกลุ่มแปรรูปให้มีรายได้สูงขึ้น

การใช้ประโยชน์เนื้อในเมล็ดลำไยเพื่อเป็นวัตถุอาหารสัตว์นั้น จะต้องมีการแยกเปลือกของเมล็ดลำไยออกก่อนเหลือไว้แค่เพียงเนื้อด้านใน แต่เนื่องจากการแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกนั้นทำได้ยากเนื่องจากมีการยึดเกาะระหว่างเปลือกและเนื้อด้านใน จากงานวิจัยของบัวเรียมและคณะ (2554)

พบว่าเปลือกของเมล็ดลำไยที่มีสีดำนั้น มีผลทำให้ชะลอการเจริญเติบโตของสัตย์ปีกจึงต้องทำการแยกเปลือกออกก่อน การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบงานวิจัยของนิพนธ์และคณะ (2550) ออกแบบสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ โดยใช้หัวโม่เมล็ดกาแฟในการกะเทาะเปลือกแล้วใช้พัดลมในการเป่าเปลือกกาแฟออก พบว่าประสิทธิภาพในการกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟโดยใช้เวลา 1.08 นาที ต่อเมล็ดกาแฟ 5,000 กรัม โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดที่กะเทาะเปลือกสมบูรณ์คือ 94.2 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำการกะเทาะเมล็ดกาแฟได้ 70.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เสียค่าไฟฟ้าในการคัดแยกเป็นจำนวนเงิน 2.8 บาท

เมล็ดลำไยที่ใช้จะในการทดลองเป็นเมล็ดลำไยที่อบด้วยอุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชุดกลไกการกะเทาะมีความสำคัญมากสำหรับการทำการกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไยให้ได้ประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองและหาวิธีที่สามารถทำให้เปลือกเมล็ดลำไยนั้นหลุดออกมา พบว่าการออกแรงกดไปพร้อมกับแรงเฉือนสามารถทำให้เปลือกเมล็ดลำไยหลุดออกมาได้ง่ายที่สุด จึงนำหลักการนี้ไปออกแบบชุดกะเทาะโดยมีลักษณะเป็นตะแกรงกลม และมีเพลาเหล็กหมุนอยู่ด้านใน โดยที่ระยะห่างระหว่างผิวตะแกรงเหล็กกับเพลาเหล็กนั้นต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของเมล็ดลำไยด้วย ในการออกแบบเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไยไม่ได้มีเฉพาะชุดกลไกการกะเทาะเท่านั้น ยังรวมไปถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทั้งหมดเช่นชุดกลไกการป้อนเมล็ดลำไย และลักษณะของรูตะแกรงเพื่อแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกเนื่องจากการแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกนั้นจะเสร็จสมบูรณ์ได้ต้องมีการทำงานหลายขั้นตอน ซึ่งหลังจากการสร้างเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไยเสร็จสมบูรณ์ต้องมีการศึกษาความเร็วรอบของการแยกเปลือกอย่างน้อย 5 ระดับ ศึกษาตะแกรง 3 ขนาด ประสิทธิภาพการแยกเปลือกเมล็ดลำไย ประสิทธิผลการแยกเปลือกเมล็ดลำไย การตกค้างของเมล็ดลำไย อัตราการทำงานของเครื่องรวมไปถึงกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไยที่สามารถป้อนเมล็ดลำไยเข้าไปได้อย่างสะดวก และสามารถกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไยได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการคัดแยกเปลือกหุ้มเมล็ดลำไยออกเพื่อนำเนื้อในเมล็ดมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยได้นำวิธีการคัดแยกมาศึกษาประสิทธิภาพในการคัดแยกเพื่อนำเนื้อในเมล็ดลำไยที่ได้ไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อลดต้นทุนให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ตลอดจนเป็นการจัดการให้มีการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ (by-product) และของเหลือ (waste) เหลือศูนย์ (zero waste) กลุ่มแปรรูปเนื้อลำไยอบแห้งและจากกลุ่มแปรรูปเนื้อลำไยเข้าโรงงานลำไยกระป๋อง

1.2 วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการแยกเนื้อในออกจากเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเนื้อในที่แยกได้จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะคือ

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไย

2. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวกับการกะเทาะเชิงกลต่อสมรรนะการแยกเปลือกเมล็ดลำไย

3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการแยกเปลือกเมล็ดลำไย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ปีกได้วิธีการเตรียมวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น

2. เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ปีกสามารถศึกษาต่อยอดผลการเจริญเติบโตของสัตว์เมื่อใช้เนื้อในเมล็ดลำไยเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

1.4 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

ลำไยที่จะใช้ในการทดลองคือพันธุ์อีดอจากกลุ่มแปรรูปเนื้อลำไยอบแห้ง จังหวัดลำพูน และจากกลุ่มแปรรูปเนื้อลำเข้าโรงงานลำไยกระป๋อง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ขนาดคละกัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 กระบวนการแยกเชิงกล-ฟิสิกส์ (mechanical physical separation process)

กระบวนการแยกโดยใช้แรงทางฟิสิกส์หรือแรงกลเช่นแรงดึงดูดของโลก (gravitaonal force) และแรงเหวี่ยง (centrifugal force) เป็นต้น กระทำต่ออนุภาคหรือต่อของเหลว สาเหตุที่แรงสามารถแยกสารออกจากกันและกันได้เพราะว่ากลุ่มของอนุภาคและของเหลวนั้น มีปฏิกิริยาต่อแรงแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น แรงดึงดูดของโลกสามารถแยกของแข็ง และของเหลวออกจากกันในกระบวนการตกตะกอนได้ เพราะความแตกต่างในค่าความถ่วงจำเพาะของอนุภาคและของเหลว และลักษณะของการตกตะกอนที่แตกต่างกันของอนุภาคในขณะที่เคลื่อนตัวผ่านของเหลว (สาวิตรี, 2546)

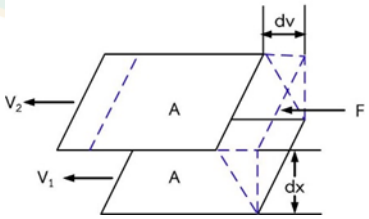
2.1.1 แรงกด (compression force)

แรงกด หมายถึงการกระทำของแรงที่มีทิศตั้งฉากกับวัตถุโดยอัตราส่วนระหว่างแรงที่กดต่อพื้นที่รับแรงเรียกว่าความเค้น (stress) (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 แรงกดที่กระทำกับวัสดุ

2.1.2 แรงเฉือน (shear force)

แรงเฉือน หมายถึงการกระทำของแรงที่มีทิศทางขนานกับพื้นที่รับแรง (ภาพที่ 2) อัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนต่อพื้นที่เรียกว่าความเค้นเฉือน (shear stress)

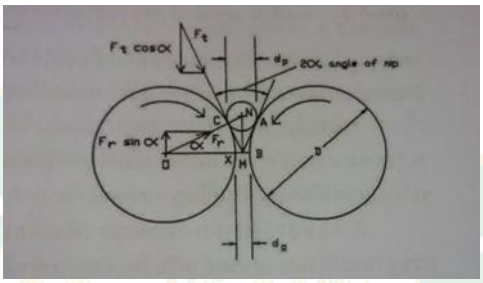


ภาพที่ 2 ทิศทางของการเกิดแรงเฉือน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2561)

2.2 การบีบอัดโดยใช้ลูกรีด (roller press)

การแยกด้วยวิธีนี้ทำงานโดยใช้แรงบีบอัดจากลูกรีดจำนวนสองลูกขึ้นไป (ภาพที่ 3) รีดวัตถุดิบที่วิ่งบนสายพานให้มีขนาดเล็กลงหรือรีดเพื่อนำส่วนที่ไม่ต้องการออก ซึ่งลูกรีดทั้งสองสามารถปรับระยะห่างให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาคัดแยกได้ วิธีการคัดแยกนี้หากวัตถุดิบมีความแข็งมากเกินไปอาจเพิ่มความเสียดทานให้กับพื้นผิวของสายพาน แต่ประสิทธิผลที่ได้จะต่ำ ดังนั้นจึงเหมาะสมกับวัตถุที่มีความเปราะมากกว่า

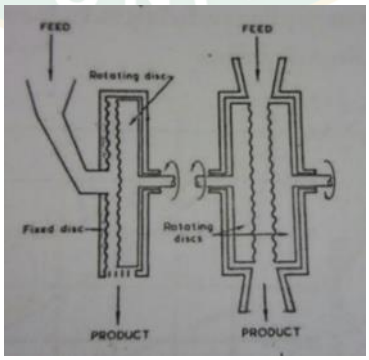


ภาพที่ 3 ไดอะแกรมอิสระของลูกกลิ้งบด 2 ลูกหมุนสวนกัน

ที่มา: สุเนตร (2559)

2.3 การแยกแบบแผ่น (disc attrition mill or burr mill)

การแยกด้วยวิธีนี้อาจเหมาะกับการบดอย่างละเอียดทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงหรือทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบที่มีความแข็งแรงแตกหรือแยกออกจากกันได้ โดยใช้แรงเฉือน (shear force) ร่วมกับแรงกด (crushing) หลักการลดขนาดประกอบด้วยแผ่นเหล็กหรือหินตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไป (ภาพที่ 4) ประกอบกันหมุนในแนวราบและแนวดิ่ง โดยมีแผ่นหนึ่งติดอยู่กับที่และอีกแผ่นจะหมุนเคลื่อนที่หรือทั้งสองแผ่นเคลื่อนที่สวนทางกัน

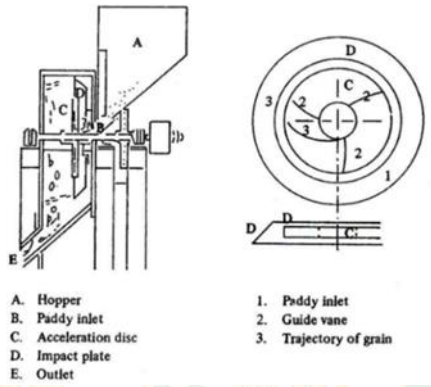


ภาพที่ 4 กลไกการแยกแบบแผ่นหิน

ที่มา: สุเนตร (2559)

2.4 การเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์ (centrifugation)

การแยกด้วยวิธีนี้เป็นการใช้แรงเหวี่ยงของก้านเหวี่ยงใบพัด โดยอาศัยแรงจากมอเตอร์ (ภาพที่ 5) การทำงานจะเป็นการหมุนเหวี่ยงด้วยแรงที่ได้มาจากการหมุนของมอเตอร์ การแยกในลักษณะนี้จะมีความรวดเร็ว และแยกวัตถุดิบได้หลายประเภท



ภาพที่ 5 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยงกระทบ

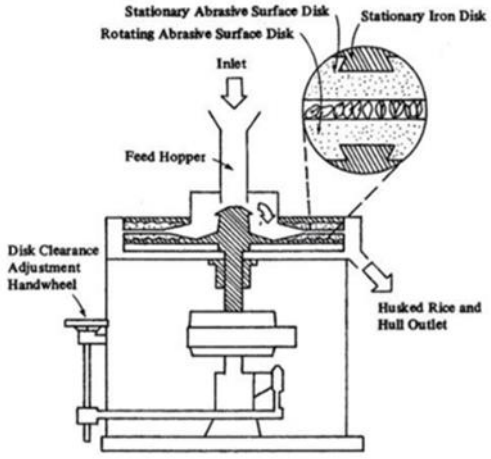
ที่มา: พิพัฒน์ (2554)

2.5 เครื่องกะเทาะวัสดุแข็ง

กรรมวิธีในการกะเทาะเปลือกในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี โดยอาศัยหลักการในการทำให้เกิดแรงกระทำกับวัสดุเช่นเมล็ดลำไย จากการศึกษาและค้นคว้าการกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไย ในการที่จะทำให้เปลือกเมล็ดลำไยหลุดออกนั้นจะต้องอาศัยแรงกดและแรงเฉือนกระทำกับเมล็ดลำไย หรืออาจจะอาศัยแรงเหวี่ยงกระทบเนื่องจากไปกระทบกับผิวสัมผัสด้วยความเร็วหรืออาศัยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสทำให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ด เครื่องกะเทาะเปลือกแบ่งได้หลายประเภทดังนี้

2.5.1 เครื่องกะเทาะแบบโม่หินแนวนอน (disc huller or under-runner disc huller)

หลักการทำงานของเครื่องกะเทาะแบบโม่หินเนวนอนประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลายอย่าง (ภาพที่ 6) จานบนจะยึดแน่นกับโครง ส่วนจานล่างจะหมุนเมล็ดที่ร่วงผ่านลงสู่จานล่างจะถูกตั้งด้วยแรง หมุน และเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางด้วยแรงเหวี่ยงผ่านหน้าหินขัด ส่วนยอดของเมล็ดจะสัมผัสกับผิวโม่หินจานบน ซึ่งจะกดเมล็ดข้าวเปลือกให้เปลือกหลุดออก โดยระยะระหว่างผิวหน้าของจาน ทั้งสองจะปรับให้ห่างกันน้อยกว่าความยาวของเมล็ดที่จะกะเทาะ ข้อดีของเครื่องกะเทาะแบบโม่หินคือติดตั้งและการใช้งานง่ายและต้นทุนการทำงานต่ำ



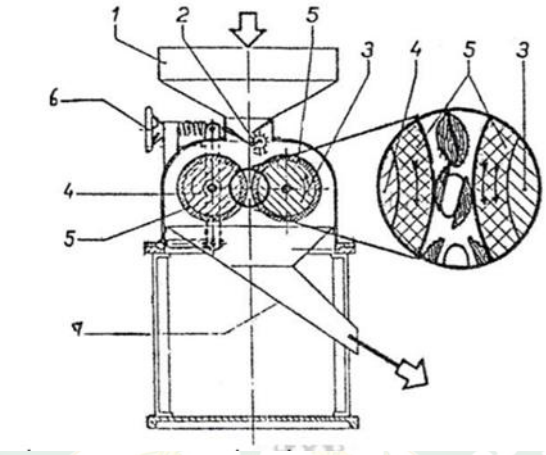
ภาพที่ 6 เครื่องกะเทาะแบบโม่หินแนวนอน

ที่มา : พิพัฒน์ (2554)

2.5.2 เครื่องกะเทาะแบบลูกยาง (rubber roll huller)

สำหรับเมล็ดธัญพืชซึ่งเปลือกไม่ได้ยึดติดกับส่วนที่เป็นเมล็ด ดังนั้นการทำให้เปลือกแยกออกจากเมล็ดโดยใช้แรงเฉือนหรือแรงกดก็เพียงพอ โดยทั่วไปนิยมใช้พื้นผิวสัมผัสที่เป็นยางในการกะเทาะ หลักการทำงานสำหรับเครื่องกะเทาะแบบลูกยางจะประกอบด้วยลูกยางกะเทาะ 2 ลูก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน หมุนในทิศทางที่ตรงข้ามกันและออกแบบให้ความเร็วในการหมุนแตกต่างกัน (ภาพที่ 7) ลูกยางกะเทาะซึ่งมีความเร็วรอบสูงกว่าจะยึดติดกับแบริ่งที่อยู่กับที่ ในขณะที่ลูกยางอีกลูกหนึ่งที่หมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าจะยึดติดกับแบริ่งที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ ดังนั้นระยะห่างระหว่างลูกยางทั้งสองจึงสามารถปรับตั้งได้ ข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกยางทั้งสอง (working zone) ซึ่งระยะห่างระหว่างช่องว่างของลูกยางทั้งสอง (clearance) จะน้อยกว่าความหนาของข้าวเปลือก ความเร็วที่ผิวสัมผัสของเปลือกที่มีความเร็วสูง ทำให้เกิดแรงเฉือน (shearing force) ส่วนอีกด้านหนึ่งของเปลือกที่มีความเร็วต่ำกว่า จะทำให้เกิดแรงแยกเปลือกออกจากเมล็ด (breaking force) ในระหว่างการกะเทาะเปลือก เมล็ดจะต้องไม่ถูกบีบอัดมากเกินไปจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดได้ การกะเทาะเปลือกโดยใช้ลูกยางง่ายต่อการบำรุงรักษา เพราะเครื่องมีขนาดเล็กให้อัตราการกะเทาะสูง และประสิทธิภาพในการกะเทาะสูง เมล็ดเสียหายน้อย ในขณะที่ข้อเสียของเครื่องกะเทาะชนิดนี้คือลูกยางมีอัตราการสึกหรอสูง โดยเฉพาะเมื่อทำงานในฤดูร้อนอีกทั้งราคาของลูกยางสูง ประสิทธิภาพในการกะเทาะของเครื่องชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของความเร็วรอบ

ของลูกยางทั้งสอง ระยะห่างระหว่างลูกยาง ความแข็งของผิวสัมผัสหน้ายาง รวมทั้งความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก



ภาพที่ 7 เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกแบบลูกยาง

ที่มา : พิพัฒน์ (2554)

(1) ที่ใส่ข้าวเปลือก (2) ที่ปรับปริมาณการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือก (3) แกนของจานเหล็ก (4) จานเหล็ก ที่อยู่กับที่ (5) หินขัดที่ติดอยู่กับจานเหล็กที่อยู่กับที่ (6) หินขัดที่ติดอยู่กับจานเหล็กที่หมุน (7) จานเหล็กที่หมุน (8) ทางออกของข้าวกล้อง ข้าวเปลือก และเปลือก (9) ที่ปรับระยะห่างระหว่างจานเหล็ก (ภาพที่ 7)

2.5.3 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยงกระทบ (impact huller or centrifugal husks)

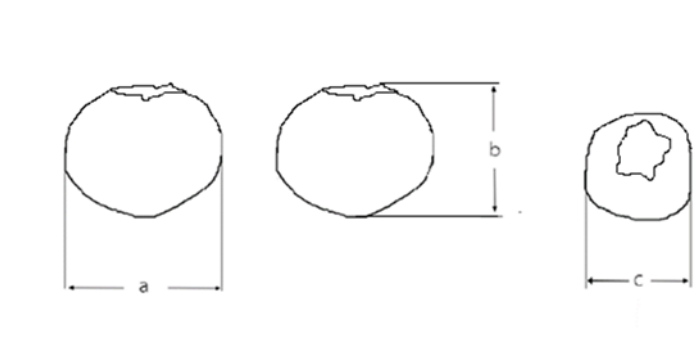
เครื่องกะเทาะเปลือกแบบอาศัยแรงเหวี่ยงกระทบ ทำให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ดได้ จะประกอบด้วยถังป้อน (hopper) จานหมุน (acceleration disc) เป้ากระทบ (impact plate) และฝาครอบ (housing) ข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าที่ตำแหน่งตรงกลางของจานหมุน ข้าวเปลือกจะหมุนไปตามทิศทางการหมุนของจานและไปกระทบกับเป้ากระทบที่ทำจากยางทำให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ดข้าวได้ มุมการกระทบของข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 30 ถึง 45 องศากับแนวระดับของจานหมุนข้าวที่กะเทาะเปลือกออกแล้ว จะเคลื่อนที่โดยความเร็วของลมที่เกิดจากจานหมุน

2.6 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุแข็ง

สมบัติทางกายภาพหมายถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ต้องการศึกษา เช่น ลักษณะรูปทรง รวมไปถึงความชื้นของวัสดุ และสมบัติเชิงกลหมายถึงพฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุ ที่สามารถแสดงออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ เป็นลักษณะของแรงต้านที่อยู่ภายในของโลหะ ที่มีความพยายามในการต้านทานต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุนั้น เช่น ความแข็ง และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบกลไกการแยกได้

2.6.1 ขนาดการหาขนาดของวัสดุแข็ง

การวัดขนาดของวัสดุให้ครอบคลุม ทั้ง 3 ด้าน คือด้านที่ยาวที่สุดคือด้าน a ด้านที่ตั้งฉากกับด้าน a คือด้าน b และด้านที่ทำมุมทแยงกับด้าน a และ b คือด้าน c แล้วจึงหาขนาดโดยนำทั้งสามด้านมาเฉลี่ยกันดังสมการ (1) (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ด้าน a, b และ c ของวัสดุ

$$d_p = \sqrt[3]{a \times b \times c} \qquad \text{...(1)}$$

เมื่อ dp = ขนาดของวัสดุเชิงเรขาคณิต (mm)

a = ด้านที่ยาวที่สุดของชิ้นวัสดุ (mm)

b = ด้านที่ตั้งฉากกับด้าน a (mm)

c = ด้านที่ทำมุมทแยงกับ a กับ b (mm)

2.6.2 ความกลมของวัสดุแข็ง

ความกลมหาได้โดยใช้ตัวแปรเดียวกันกับสมการ (1) โดยความกลมนั้นหาได้จากสมการ (2)

$$\phi = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \quad \text{...(2)}$$

เมื่อ ϕ = ค่าความเป็นทรงกลม

2.6.3 พื้นที่ผิวของเมล็ดลำไยสด

พื้นที่ผิวของเมล็ดลำไยหาได้จากวิธีการนับกริด โดยเริ่มจากติดกระดาษกาวลงบนพื้นที่ผิวของวัสดุที่ต้องการหาพื้นที่ จากนั้นนำกระดาษกาวที่ติดพื้นที่มาติดลงบนกระดาษกราฟแล้วนับจำนวนช่องของกระดาษกราฟเพื่อหาพื้นที่ผิวของวัสดุนั้นออกมา (สุเนตร, 2558)

2.6.4 ความชื้น

ความชื้นของวัสดุแข็งสามารถแสดงได้ทั้งในรูปแบบฐานเปียก และฐานแห้งหาได้จากความชื้นของที่จุดคงที่ของวัสดุลบกับความชื้นที่หายไปในการนำวัสดุแข็งไปอบแห้ง โดยการหาความชื้นฐานเปียกแสดงดังสมการ (3)

$$m = \frac{w_t - w_d}{w_t} \, x \, 100 \quad \text{...(3)}$$

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรางคณา และคณะ (2559) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม โดยคัดเลือกเมล็ดมะขามหวาน จากจังหวัดเพชรบูรณ์ และมะขามเปรี้ยวจากจังหวัดอ่างทอง นำเมล็ดมะขามไปอบที่อุณหภูมิ 50 ℃ นาน 1 วัน จากนั้นแกะเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามออก ดังนั้นการอบด้วยอากาศร้อนน่าจะสามารถแยกเปลือกหุ้มเมล็ดลำไยได้

วันเซ็ง และคณะ (2558) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ โดยนำเมล็ดมะขามมาล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก แล้วนำไปอบในตู้อบแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 60 ℃ นาน 9 ชั่วโมง แล้วนำไปบรรจุสุญญากาศ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 ℃ จนกว่าจะนำมาใช้ และการเตรียมแป้งเมล็ดมะขามเพื่อใช้สกัดกัม (กัม คือพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากเนื้อใน

เมล็ด) โดยนำเมล็ดมะขามไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 ℃ ในอัตราส่วนเมล็ดมะขามต่อน้ำ 1:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเมล็ดมะขามที่ต้มแล้วมาล้างเอาเยื่อที่ติดมาออก และนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟ 800 วัตต์ (lg, ms2342d, thailand) ที่ กำลังแมกนีตรอน 800 วัตต์ นาน 5 นาที เพื่อให้เปลือกของเมล็ดมะขามแตกออก และนำเมล็ดมะขามมากะเทาะเปลือก เพื่อแยกเอาเฉพาะเนื้อภายใน แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด ต่อจากนั้นร่อนเอาเฉพาะขนาดที่มากกว่า 20 mesh ด้วยเครื่องร่อนแยกขนาด จะได้ผงเนื้อเมล็ดมะขาม

Teguia (1995) ศึกษาการนำเมล็ดมะม่วงไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ปีก เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนข้าวโพดที่ไม่เพียงพอต่อการผลิตอาหารสัตว์ปีก ซึ่งเมล็ดมะม่วงเป็นส่วนที่ไม่นิยมใช้ และมีปริมาณมากในแอฟริกา และเอเชียกว่า 80% ของการผลิตมะม่วงทั่วโลก โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามวลของข้าวโพดที่ถูกแทนที่โดยเมล็ดมะม่วง 100, 200 หรือ 300 กรัม ต่อการเจริญเติบโตของลูกไก่เนื้อ ใช้เวลาศึกษา 4 สัปดาห์ ใช้ไก่เพศผสมอายุ 144 วัน พบว่า การใช้เนื้อในเมล็ดมะม่วงบดสามารถใช้ทดแทนแป้งข้าวโพดบดได้ถึง 200 g ต่อกิโลกรัมน้ำหนักไก่โดยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อน้ำหนักตัวของไก่ แต่การใช้มากกว่า 100 g ต่อกิโลกรัมน้ำหนักไก่ จะทำให้การบริโภคอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Farag (2001) ศึกษาสารประกอบ ระดับของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) แทนนิน (tannins) สารไซยาโนจินิก กลูโคซายด์ (cyanogenetic glucosides) ต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนแบบ in vitro และ พลังงานที่สัตว์ได้จากอาหาร เมื่อใช้เมล็ดมะม่วง (magnifera indica l.) ที่ผ่านการต้ม การให้ความร้อนใน autoclave และการฉายรังสี 5, 10, 15 และ 20 kGy พบว่า การต้มและการให้ความร้อนด้วย autoclave มีแนวโน้มดีกว่าการฉายรังสี

Soong and Barlow (2004) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของส่วนที่กินได้และเมล็ดอะโวคาโด ขนุน ลำไย มะม่วง และมะขาม นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอล และอุณหภูมิที่แตกต่างในการให้ความร้อนของเมล็ดมะม่วง พบว่าเมล็ดทุกชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกมากกว่าส่วนที่กินได้ การตรวจหาอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกในสารสกัดจากเอทานอลของกรดแกลลิกเทียบเท่าเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังจากให้ความร้อนถึง 160 ℃ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากกรดแกลลิกเทียบเท่าเพิ่มขึ้นจาก 50.3 เป็น 160 mg/g GAE เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 160 ℃

Odunsi (2005) ศึกษาคุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ของมะม่วง (*mangifera indica l.*) และเนื้อในเมล็ดเพื่อเป็นอาหารไก่ไข่ และไก่เนื้อ พบว่าเมื่อไก่ไข่มีน้ำหนักสูงขึ้น เนื้อในเมล็ดมะม่วงไม่สามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ ในขณะที่ไก่เนื้อกลับให้ผลสำหรับการเป็นอาหารเสริม

Rangkadilok et al. (2007) ศึกษาวิธีการสกัดสารจากเมล็ดลำไยด้วยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) 3 วิธี พบว่าสารสกัดลำไยมีคอริลาจินอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 50.64 mg/g DW กรดกลลิกจาก 9.18 ถึง 23.04 mg/g DW และกรดเอลลาจิกจาก 8.13 ถึง 12.65 mg/g DW ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ลำไย เมล็ดลำไยอบแห้งพันธุ์อีดอมีปริมาณกรดแกลลิกและกรดเอลลาจิกสูง จากการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (dpph) และสารอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical) ในการวิเคราะห์แบบ ORAC เมล็ดลำไยสดและอบแห้งยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าเนื้อผลไม้อบแห้ง และผลไม้ทั้งลูก อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารโพลีฟีนอล 3 ชนิดอาจจะไม่เป็นส่วนสำคัญในการต่อต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำลำไย แต่ฤทธิ์ต้านที่สูงนี้อาจเกิดจากฟีนอล (phenolic) หรือฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ไกลโคไซด์ (glycosides) และแอลลาจิกแทนนิน (fllagitannins) ที่มีอยู่ในผลลำไย นอกจากนี้เมล็ดลำไยยังแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ด้วยค่า IC50 2.9-3.2 mg/ml ดังนั้นการสังเกตเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าสารสกัดจากเมล็ดลำไยอาจเป็นอีกหนึ่งสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีศักยภาพและยังอยู่ในการประยุกต์ใช้เป็นตัวทำละลายแบบใหม่

วลัยพรรณ (2560) ศึกษาการแยกเส้นใยจากใบสับปะรดด้วยเครื่องแยกเส้นใยแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยวิธีการแยกเชิงกลศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยใบสับปะรด ประสิทธิภาพการผลิตเส้นใยใบสับปะรดวิธีการผลิตแผนขัดผิวจาก เส้นใยใบสับปะรดโดยใช้ เส้นใยที่มีความยาวต่างกันคือ 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตรและ 9 เซนติเมตร

วีรเดชและพงศกร (2555) ศึกษาการพัฒนาเครื่องกะเทาะครั่งสาหรับใช้เป็นเครื่องช่วยในการแยกครั่งของเกษตรกร การดำเนินงานเริ่มจากทาการศึกษาและสรุปปัญหาจากเครื่องต้นแบบ การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะครั่ง การหาประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะครั่งและสรุปผลการวิจัย เครื่องที่ออกแบบและพัฒนามีลักษณะแนวตั้งขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตรความยาว 120 เซนติเมตรและความสูง 150 เซนติเมตร โดยใช้หลักการบดวัสดุด้วยลูกกลิ้งจานวน 3 ตัว ซึ่งใช้ต้นกาลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1/3 HP สรุปผลการวิจัยได้ว่าประสิทธิภาพของการกะเทาะครั่งด้วยเครื่องที่พัฒนาใช้เวลา 11.25 นาที ผลผลิตที่ได้ 1.72 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับการกะเทาะ

ครั่งด้วยเครื่องต้นแบบ ใช้เวลา 10 นาที ผลผลิตที่ได้ 0.50 กิโลกรัม ผลผลิตเพิ่มขึ้น 1.22 กิโลกรัม ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 70.93 %

สิงห์คานและนิพนธ์ (2555) ศึกษาการพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดแมคคาเดเมียที่สร้างขึ้นโดยแยกเมล็ดแมคคาเดเมียที่ใช้กะเทาะเป็น 2 ขนาดคือขนาดกลางมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 – 24 มม. และขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 – 29 มิลลิเมตร โดยใช้ทฤษฎีแรงเหวี่ยง ผลปรากฏว่าเมื่อใช้เครื่องที่สร้างขึ้นนีhกะเทาะเมล็ดแมคคาเดเมียสามารถกะเทาะเปลือกกะลาแตกได้จริงโดยการกะเทาะเมล็ดขนาดกลางใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมคือ 3,750 รอบต่อนาที ได้เมล็ดที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปแปรรูปต่อได้ทันที 30.8 % และมีเมล็ดที่ไม่แตก 0.16 % และเมื่อกะเทาะเมล็ดขนาดใหญ่ความเร็วรอบที่เหมาะสมคือ 3,600 รอบต่อนาที ได้เมล็ดที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปแปรรูปต่อได้ทันที 27.6 % และมีเมล็ดที่ไม่แตก 1.2 %

กลวัชร และคณะ (2556) ศึกษาการพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดทานตะวันขนาดเล็กใช้สำหรับเกษตรกรเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าจากทานตะวันและลดการนำเข้าเครื่องจากต่างประเทศที่มีราคาสูง จึงได้ดำเนินการต่อยอดจากวิธีการกะเทาะแบบที่นิยมใช้กันอยู่คือ ใช้การกะเทาะด้วยหลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังรอบแนวรัศมีของจานเหวี่ยงที่มีการบุด้วยสายพานผ้าใบ เพื่อลดการแตกของเมล็ดด้วยความเร็วเชิงเส้นประมาณ 35 เมตรต่อวินาที เกิดการกะเทาะเมล็ดได้เมล็ดทานตะวัน 3 ส่วน คือ ส่วนของเมล็ดที่ไม่กะเทาะ ส่วนที่กะเทาะเป็นเมล็ดเต็ม และเมล็ดแตกผสมอยู่รวมกัน แล้วโรยผ่านตู้โรยเพื่อแยกแกลบด้วยลมแยกขนาดโดยอาศัยคุณสมบัติทางด้านรูปร่าง (shape) มาเป็นตัวกำหนดขนาดรูของตะแกรง ออกแบบเป็นตะแกรง 2 ชั้น แยกได้ 3 ขนาด ชั้นบนแยกเมล็ดที่ไม่กะเทาะออก ชั้นกลางแยกเมล็ดที่กะเทาะเป็นเมล็ดเต็มออก ส่วนที่เหลือคือเมล็ดแตกจะร่วงลงชั้นล่าง แต่เครื่องที่มีการใช้อยู่ในท้องตลาดมีปัญหาการปนของเมล็ดที่ไม่กะเทาะหรือกากที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงไม่หมด ด้วยข้อจำกัดของขนาดรูตะแกรงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดไม่พอดีกับขนาดเมล็ดทานตะวันซึ่งมีความไม่สม่ำเสมอกัน จึงไม่สามารถจะทำการคัดแยกได้ทั้งหมด และใช้คนเก็บกากอีกรอบเพื่อแยกกากซึ่งปนอยู่ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ทำการต่อยอดงานวิจัยนี้ด้วยการนำถาดซิกแซ็กที่ใช้สำหรับการแยกกากข้าวออกจากข้าวกล้องในขบวนการสีข้าวมาใช้ทดสอบในการแยกกาก โดยอาศัยความแตกต่างแรงเสียดทานของผิวเมล็ดที่กะเทาะและไม่กะเทาะที่กระทำต่อพื้นผิวที่เมล็ดกองหรือวางอยู่หรือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิต (coefficient of friction) ที่มีความแตกต่างกันประมาณ 3 องศา ผลการทดสอบพบว่า สามารถกะเทาะเมล็ดทานตะวันได้ด้วยอัตรากะเทาะ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 67% เปอร์เซ็นต์เมล็ด

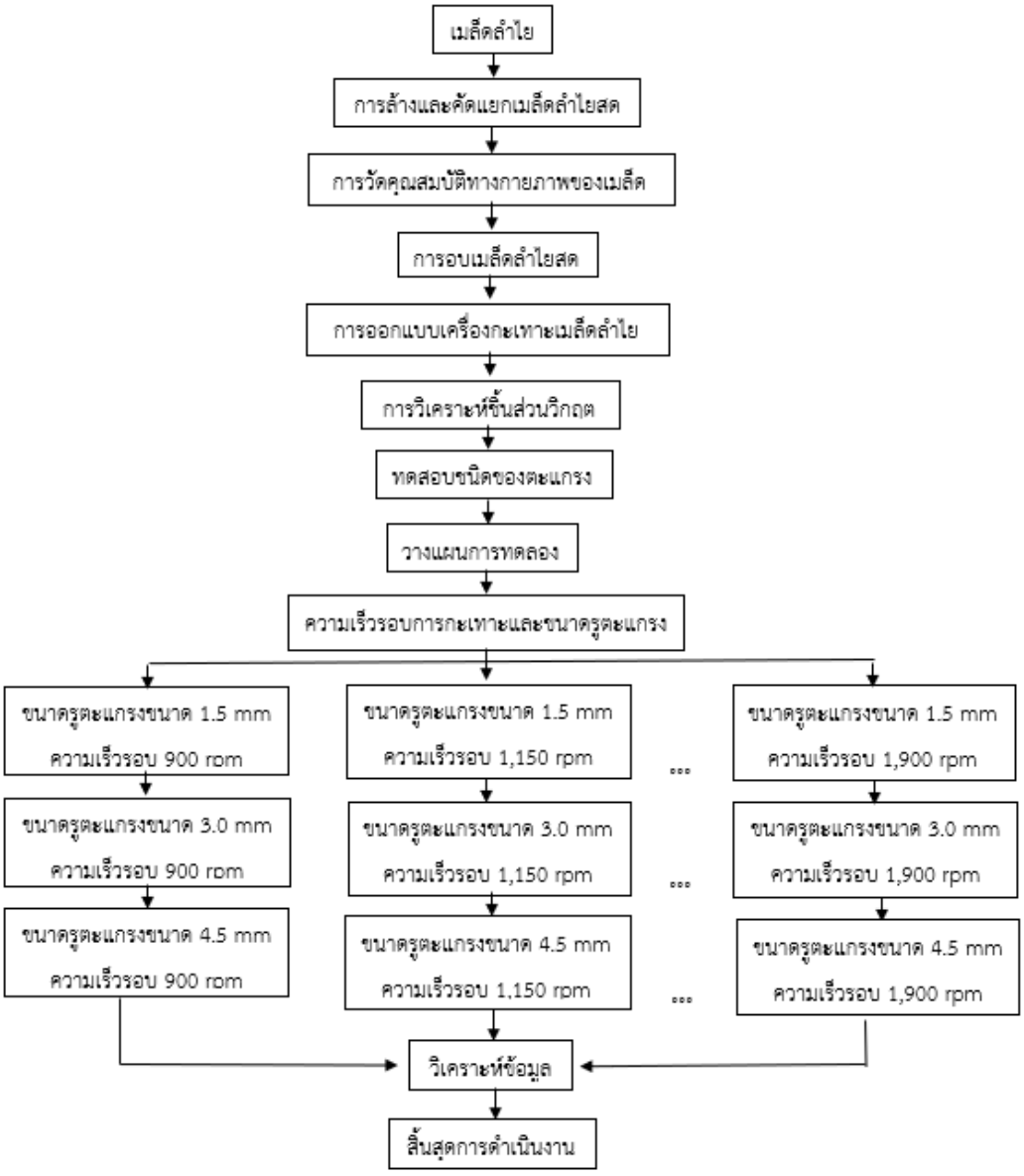
เต็ม 53% และเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตก 14% เปอร์เซ็นต์ที่เมล็ดไม่กะเทาะ 32% และสามารถแยกกากด้วยถาดซิกแซกได้หมดโดยสมบูรณ์ ที่ความเร็วรอบ 110 รอบ/นาที มุมเอียง 3 องศา ความสามารถในการคัดแยก 20 กิโลกรัม/ชั่วโมง/การป้อน 6 ช่อง

รุ่งเรือง และคณะ (2561) ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดกระบกแบบต่อเนื่องประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดลำเลียง ชุดกะเทาะ และระบบส่งกำลังโดยการทดสอบได้แบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะของหัวเจาะที่ให้สมรรถนะและประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด และขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องกะเทาะเมล็ดกระบก ผลการทดสอบในขั้นตอนแรก ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,000 รอบต่อนาที พบว่าหัวเจาะชนิด แบบเรียบเป็นหัวเจาะที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากสมรรถนะและเมล็ดที่กะเทาะได้ ผลการทดสอบขั้นตอนที่สองพบว่าที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,000 รอบต่อนาที และที่อัตราการป้อน 30 เมล็ดต่อนาที เครื่องกะเทาะเมล็ดกระบกมีความสามารถในการทำงาน 10.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมล็ดที่กะเทาะได้ 1.04 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.87 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดกระบกพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการทำงาน 4.5 บาทต่อกิโลกรัม และมีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 393 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดกระบก 720 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.3 ปี

บัวเรียม และคณะ (2554) ทำการศึกษาและวิจัยพบว่าเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากสารอาหารภายในของตัวเมล็ดเองนั้นสามารถให้คุณค่าได้เพียงพอหรือใกล้เคียงกับอาหารสัตว์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด ผลของการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่า ในเมล็ดลำไยมีโปรตีนรวมและไขมันรวมน้อยกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 6.50 กับ 7.20 เปอร์เซ็นต์ และ 1.94 กับ 2.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณเยื่อใยรวมของเมล็ดลำไยมีค่าสูงกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 8.33 กับ 3.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลังงานที่สามารถมอบให้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ของเมล็ดลำไยมีค่าน้อยกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 3,365 กับ 3,712 กิโลแคลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นหากมองถึงคุณค่าทางสารอาหารที่ได้รับ นับว่าเมล็ดลำไยถือเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจในการที่จะนำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากให้พลังงานที่สูง มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวโพดและปลายข้าวและยังมีราคาที่ถูกอีกด้วย

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 แผนภาพดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 9 แผนภูมิการดำเนินงาน

3.2 การกำหนดตัวแปรศึกษา

การศึกษาการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไยด้วยตัวแปรศึกษาที่แตกต่างกัน โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรศึกษา

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
1. ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 2. ขนาดของตะแกรง	1. ประสิทธิภาพการแยก 2. ประสิทธิผลการแยก 3. อัตราการทำงาน 4. การตกค้าง	1. เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย 2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 65 องศาเซลเซียส 3. เวลาที่ใช้ในการอบ 24 ชั่วโมง 4. พันธุ์ลำไยที่ใช้ในการทดสอบ คือ พันธุ์อีดอ

3.3 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์

อุปกรณ์ และเครื่องมือนั้นมีความหมายที่ความใกล้เคียงกัน สามารถกล่าวได้ว่า อุปกรณ์ (device) คือ ส่วนประกอบหนึ่งที่ทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้ อีกทั้งต้องอ่านค่าหรือหาคำตอบเอง ส่วนเครื่องมือ (tool) คือ เครื่องใช้ที่สามารถนำไปใช้ได้ตามหน้าที่ของมันเอง โดยอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้คือ (ภาคผนวก ก.)

- เครื่องชั่งน้ำหนัก (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA3202S-CW ประเทศเยอรมนี) 1 เครื่อง
- ตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Binder รุ่น FD260 ประเทศเยอรมนี) 1 เครื่อง
- เครื่องวัดความเร็วรอบ (ยี่ห้อ Digicon รุ่น DT-250P ประเทศญี่ปุ่น) 1 เครื่อง
- เตาอบแห้งแบบกระบะ 1 เครื่อง
- นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
- เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 1 อัน
- กระป๋องอะลูมิเนียม (Moisture can) 3 กระป๋อง
- ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 และ 48 กิโลกรัม 2 ถัง

- ถุงพลาสติก

- ถุงมือ

3.4 กระบวนการเตรียมเมล็ดลำไยสด

ลำไยที่จะใช้ในการทดลองคือพันธุ์อีดอ หลังจากล้างทำความสะอาดผลสดแล้วจะแกะเอาเมล็ดลำไยออกแล้วล้างทำความสะอาดอีกครั้ง ปล่อยให้สะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการเตรียมเมล็ดลำไยแห้งนั้น จะนำมาจากกลุ่มแปรรูปเนื้อลำไยอบแห้งและจากกลุ่มแปรรูปเข้าโรงงานลำไยกระป๋องแล้วแยกเอาเปลือกและเนื้อในออก

3.5 สมบัติของเมล็ดลำไยที่ใช้ทดสอบ

เมล็ดลำไยที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเมล็ดในฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งได้มาจากโรงคว้านลำไยบ้านเลขที่ 290 หมู่ที่ 14 ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีสมบัติทางกายภาพของเมล็ด สามารถสรุปผลได้ในตารางที่ 2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมล็ดลำไยที่ปลูกในฤดูกาล มีรูปทรงค่อนข้างกลม เนื่องจากค่าเฉลี่ยความกลมของเมล็ดมีค่าเข้าใกล้ 1 ความชื้นถือว่าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศปกติได้ จึงจำเป็นต้องทำการรีบลดความชื้นให้ต่ำเพื่อสามารถเก็บรักษาในระยะยาวได้ และขนาดของเมล็ดที่ใช้ในการทดสอบแบบเฉลี่ยเท่ากับ 13.36 ± 0.52 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 สมบัติของเมล็ดลำไยสดที่ใช้ทดสอบ

สมบัติทางกายภาพของเมล็ดลำไย	ค่าเฉลี่ย ± SD	หน่วย
ขนาด	13.36 ± 0.52	mm
ความกลม	0.92 ± 0.03	-
พื้นที่ผิว	560.39 ± 0.84	mm^2
ความหนาแน่นกอง	773.68 ± 0.07	kg/m^3
ความชื้นของเมล็ดลำไยสด	37.36 ± 1.58	% w.b.

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3 และ 30)

3.6 กระบวนการอบแห้งเมล็ดลำไยสด

การอบแห้ง การอบเมล็ดลำไยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เป็นการลดความชื้น วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเพราะสามารถย่นระยะเวลาในการลดความชื้นได้เร็ว

3.7 การออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไยแห้ง

เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไยที่ออกแบบ (ภาพที่ 10) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ ดังนี้

1. ส่วนลำเลียงมีส่วนประกอบหลักดังนี้

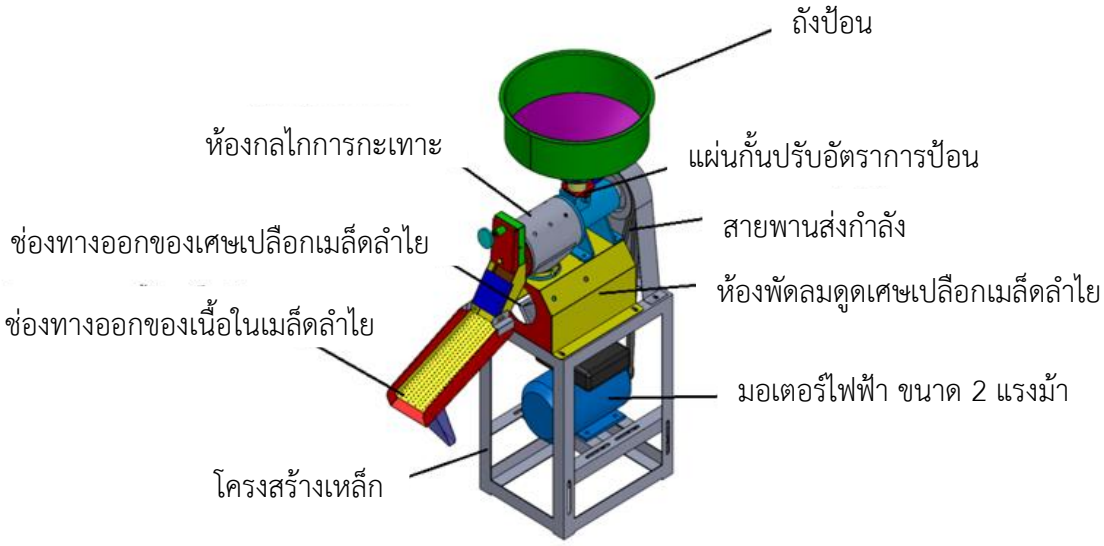
- ถังป้อน
- ท่อลำเลียง
- แผ่นกั้นปรับปริมาณการป้อน
- เพลาเกลียวลำเลียง

2. ส่วนกะเทาะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

- เพลากะเทาะ
- ตะแกรงกลม
- ปากรองรับเมล็ดจากห้องกะเทาะ
- ช่องทางออกเนื้อในเมล็ดลำไย

3. ส่วนคัดแยกเปลือกออกจากเนื้อใน มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

- พัดลม
- ปล่องลม
- ช่องทางออกเศษเปลือกเมล็ดลำไย

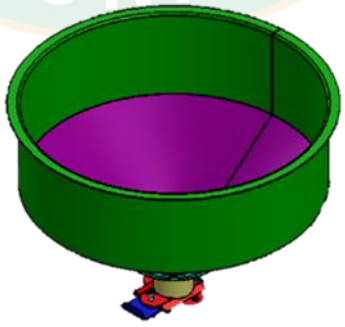


ภาพที่ 10 เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย

3.7.1 กลไกการลำเลียง

3.7.1.1 ถังป้อน

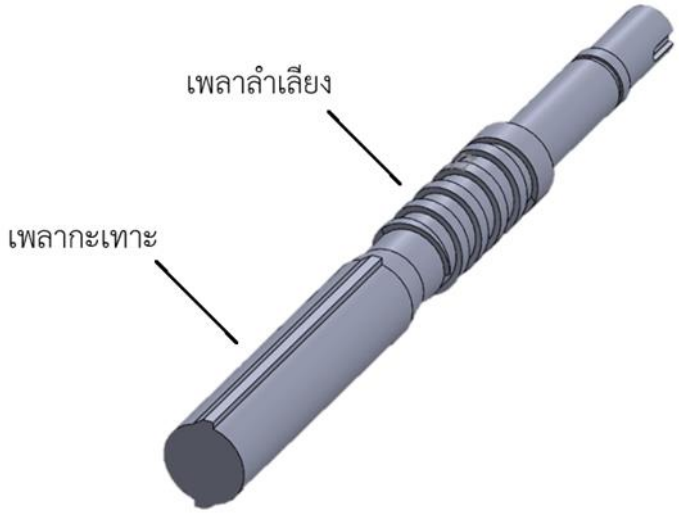
ถังป้อน (feed hopper) มีไว้สำหรับรองรับเมล็ดลำไยก่อนป้อนเข้าสู่ส่วนกะเทาะสามารถรองรับเมล็ดลำไยได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยจะมีแผ่นกั้นที่สามารถเพิ่มและลดปริมาณเมล็ดลำไยที่จะป้อนเข้าส่วนกะเทาะได้ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ถังป้อน

3.7.1.2 เพลาเครื่องบด

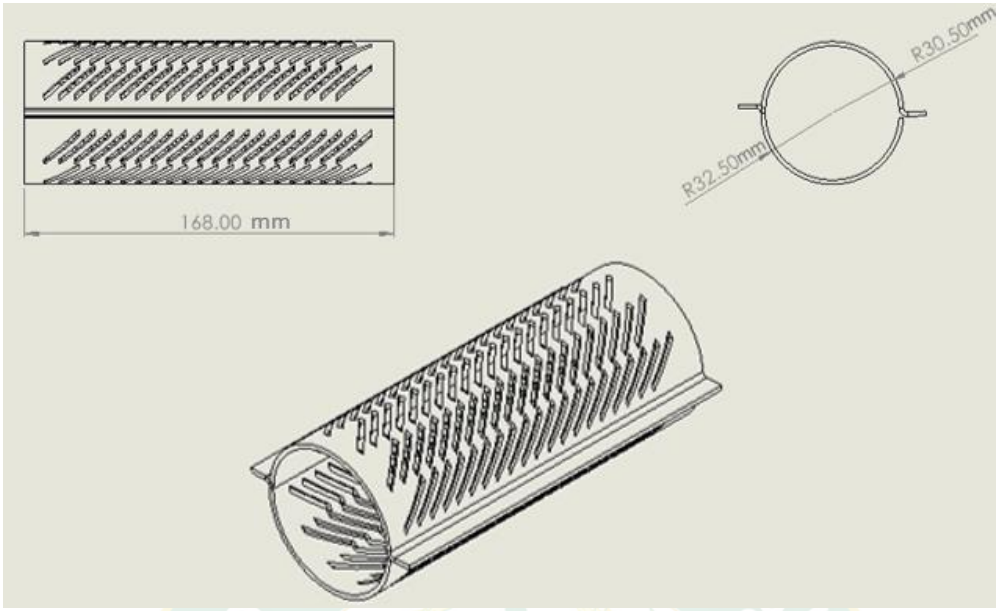
เป็นกลไกที่ใช้ในการลำเลียงเมล็ดลำไยไปยังส่วนกลไกการกะเทาะ โดยจะใช้เกลียวลำเลียงเมล็ดลำไยจากถังรองรับเมล็ดลำไยที่อยู่ส่วนบนของเครื่องไปยังเพลากะเทาะต่อไป (ภาพที่ 12)



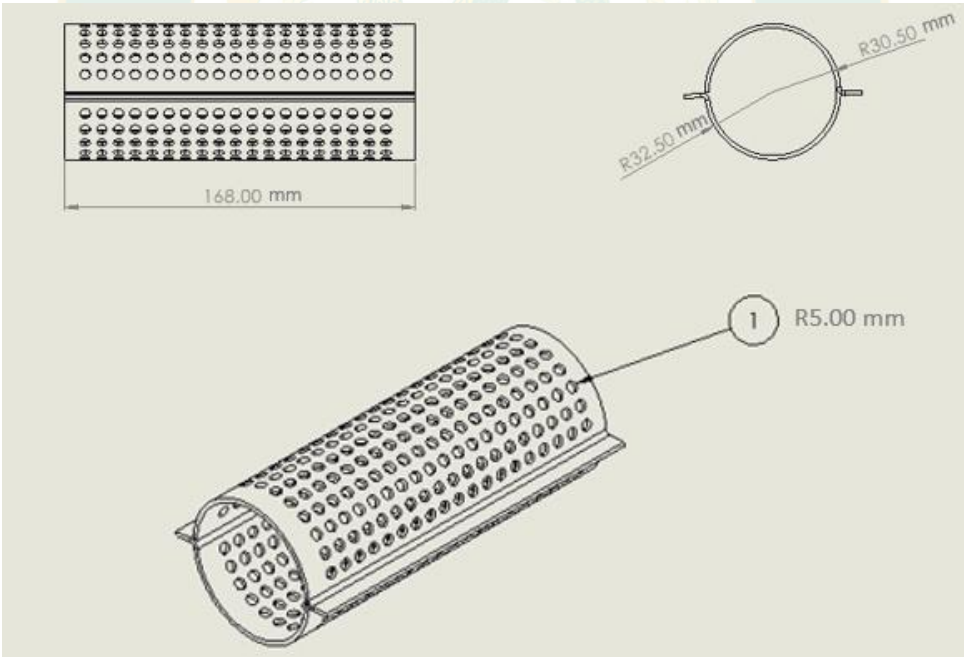
ภาพที่ 12 เพลาเครื่องบด

3.7.2 กลไกการกะเทาะ

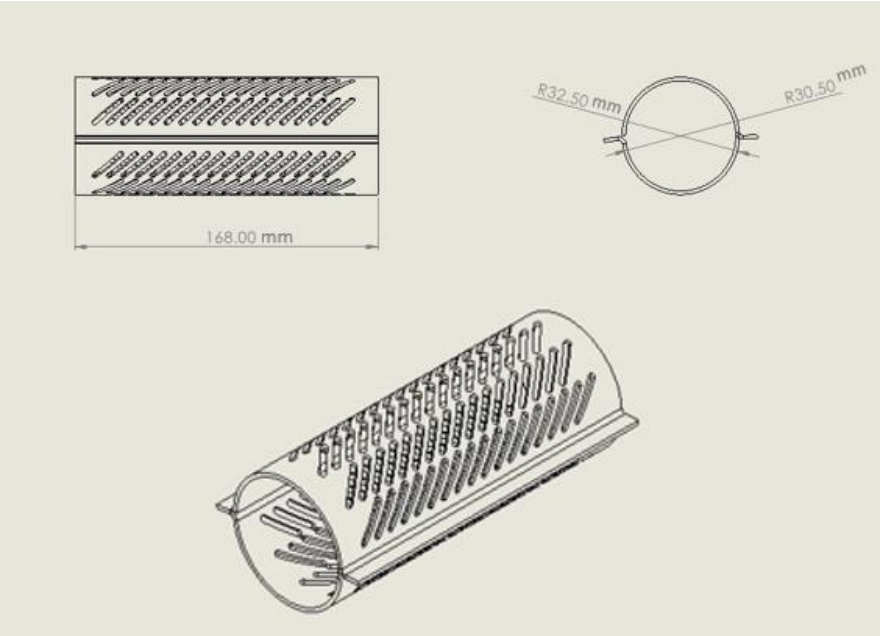
ในการกะเทาะเมล็ดลำไยจะใช้การหมุนของเพลากะเทาะ ทำให้เมล็ดลำไยไปกระทบกับผิวของตะแกรง ทำให้เกิดแรงกดไปพร้อมกับเกิดแรงเสียดสี ทำให้เปลือกเมล็ดลำไยและเนื้อเมล็ดลำไยแยกออกจากกัน ซึ่งลักษณะของรูตะแกรงจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกะเทาะเมล็ดลำไยอย่างมาก ดังนั้นตะแกรงจะต้องมีขนาดและลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการทำการกะเทาะเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่ โดยมีทดสอบชนิดของตะแกรง มีตะแกรงอยู่ 3 ชนิด คือ ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 13) ตะแกรงรูวงกลม (ภาพที่ 14) และตะแกรงรูวงรี (ภาพที่ 15) การเลือกชนิดตะแกรงรูสี่เหลี่ยมปรับปรุงมาจากตะแกรงรูวงรี ตะแกรงรูวงกลมมาจากขนาดของเมล็ดลำไย และตะแกรงรูวงรีมาจากตะแกรงกะเทาะของเครื่องกะเทาะเมล็กาแฟ



ภาพที่ 13 ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม

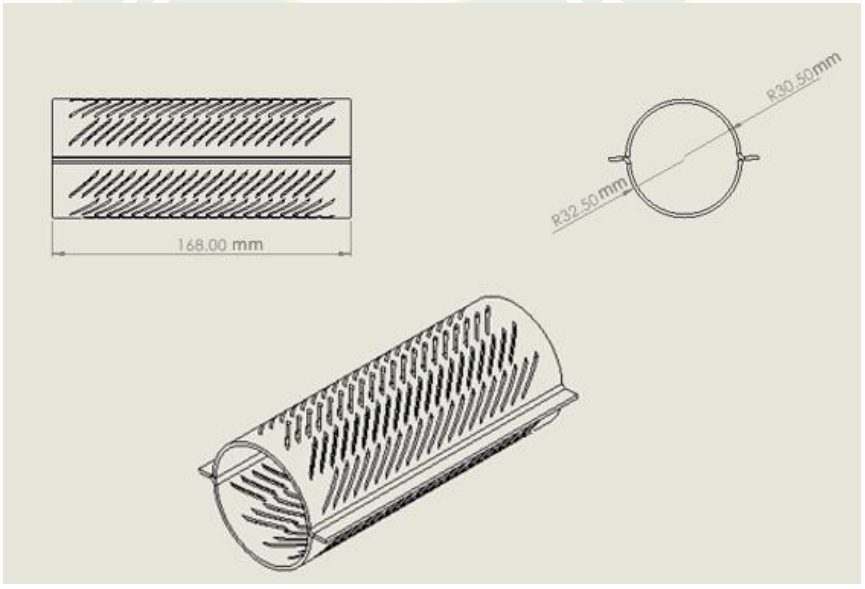


ภาพที่ 14 ตะแกรงรูวงกลม

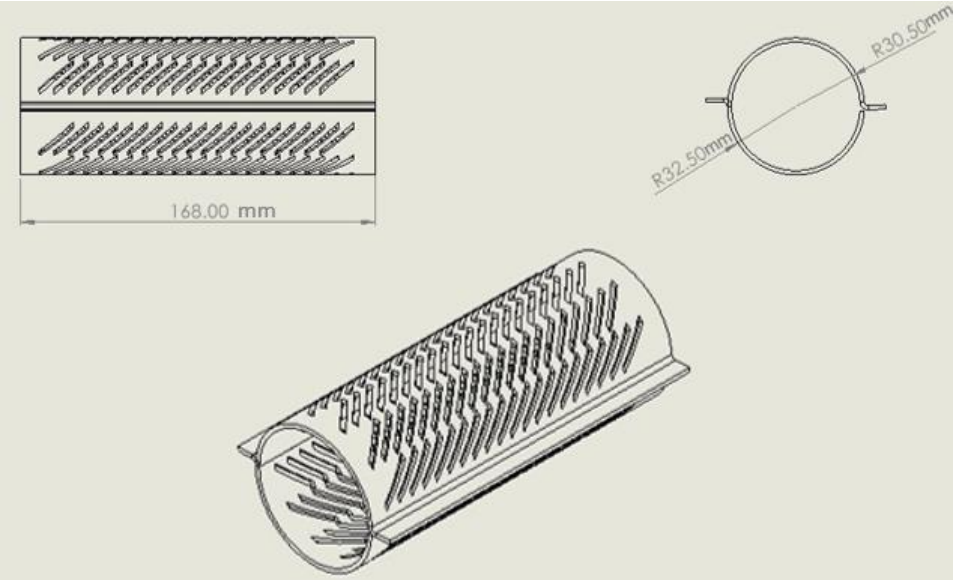


ภาพที่ 15 ตะแกรงรูวงรี

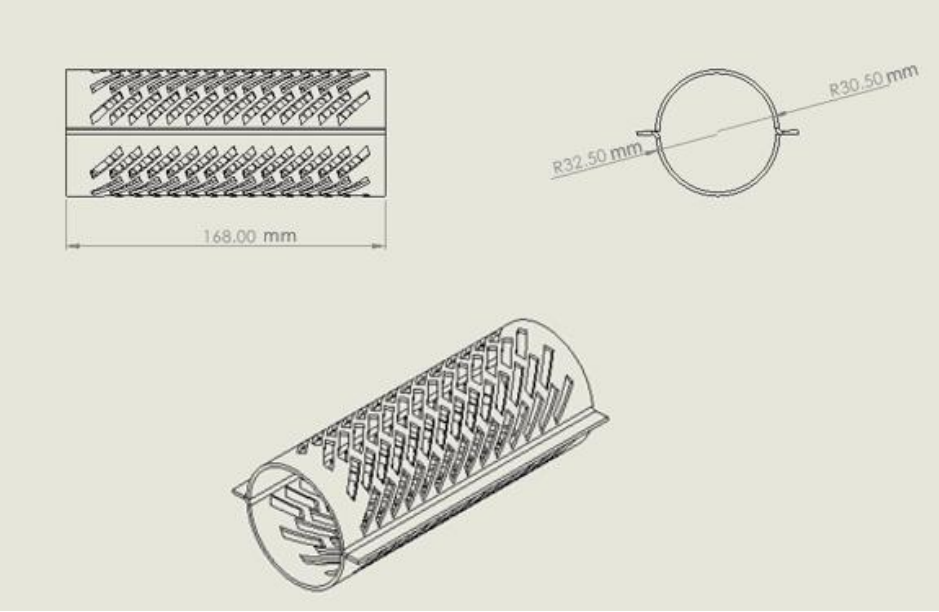
หลังจากทดสอบเบื้องต้น (ตาราง ง.4) พบว่าตะแกรงรูสี่เหลี่ยมให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพการแยก 71.67% ประสิทธิผลการแยก 67.14% อัตราการทำงาน 83.80 กิโลกรัม/ชั่วโมง และการตกค้าง 3.99% เมื่อได้ชนิดของตะแกรงที่ดีที่สุดแล้วนำตะแกรงมาเพิ่มและลดขนาดของตะแกรง มีดังนี้ ตะแกรงขนาดเล็ก (1.5 mm) (ภาพที่ 16) ตะแกรงขนาดกลาง (3.0 mm) (ภาพที่ 17) และตะแกรงขนาดใหญ่ (4.5 mm) (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 16 ตะแกรงขนาดเล็ก



ภาพที่ 17 ตะแกรงกลาง



ภาพที่ 18 ตะแกรงใหญ่

3.7.3 กลไกการคัดแยก

เมล็ดลำไยเมื่อผ่านการกะเทาะแล้วจะได้เปลือกและเนื้อในเมล็ดลำไย ทั้งสองส่วนจะตกลงบนถาดรองรับด้านล่างของห้องกะเทาะ ถาดรองรับจะบังคับเนื้อในเมล็ดลำไย และเศษเปลือกเมล็ดลำไยที่ตกลงมาจากการกะเทาะให้ไหลลงเป็นแนวหน้ากระดานตัดกับการเคลื่อนที่ของลมในปล่องลม เปลือกซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กจะถูกกระแสลมดูดลงมาทางช่องออกของเปลือก ซึ่งพัดลมจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ (V) ขนาด 2 แรงม้า (hp) ส่งกำลังผ่านพู่เลย์และสายพาน ส่วนเนื้อในซึ่งหนักกว่าและมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมจะถูกกระแสลมพัดไปได้ระยะหนึ่งแล้วจะตกลงบนพื้นเอียงของปล่องลม ซึ่งมีความเร็วของกระแสลมน้อยทำให้ เนื้อในของเมล็ดลำไยจะสามารถกลิ้งย้อนกลับกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมได้ เนื้อในจะเคลื่อนที่ออกทางช่องออกของเนื้อในบริเวณด้านหน้าของเครื่องกะเทาะ

3.7.4 การออกแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไย

ในการออกแบบเครื่องกะเทาะจำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติของวัสดุที่ต้องการกะเทาะซึ่งจะมีผลประโยชน์ต่อการออกแบบชุดกลไกการกะเทาะ

3.7.4.1 การคำนวณและออกแบบกำลังเชิงกล

ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมีหลายอย่างแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละประเภทงานที่ทำ ซึ่งหลักการส่งกำลังของเครื่องจักรกล คือ การส่งกำลังจากต้นกำลังหรือสามารถเรียกได้อีกอย่างว่า เพลาขับส่งกำลังไปยังจุดที่ต้องการ เพื่อจะใช้กำลังงานไปใช้งานเรียกว่าเพลาตาม หรือ เพลางาน ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลได้แก่ การส่งกำลังด้วยเฟือง โซ่ สายพาน คับปลิ้ง (coupling) เพลา และลูกเบี้ยว เป็นต้น

3.7.4.2 การเลือกขนาดล้อสายพาน ล้อสายพานหรือพู่เล่ย์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับการถ่ายทอดกำลังเชิงกลจากสายพานโดยล้อสายพานหรือพู่เล่ย์จะมีร่องสำหรับเกี่ยวสายพานอยู่ เมื่อทราบรอบการหมุนของเพลาที่เหมาะสมของการกะเทาะ (ทั้งตัวขับและตัวตาม) แล้ว สามารถกำหนดขนาดของพูเล่ย์ขับ และหาขนาดของพูเล่ย์ที่เป็นตัวตามได้จากสมการ (4)

$$\frac{d}{D} = \frac{N}{n} \qquad \ldots(4)$$

เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวขับมอเตอร์ (6 in)

n = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวขับมอเตอร์ (1430 รอบ/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวตามเพลากะเทาะ (in)

N = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวตามเพลากะเทาะ (900 รอบ/นาที)

จาก

$$\frac{6}{D} = \frac{900}{1430}$$

D = 9.533 in (เลือก 10 in หรือ 254 mm)

หาความเร็วของพูเล่ย์ตัวตามเพลากะเทาะใหม่โดยใช้ D = 10 in

จะได้

$$\frac{6}{10} = \frac{D}{1430}$$

N = 858 รอบ/นาที (เลือก 900 รอบ/นาที)

สรุปใช้ N (ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวตามเพลากะเทาะ) 900 รอบ/นาที

3.7.4.3 แรงบิด (torque)

คือ แรงหมุนของเพลา เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าไปหมุนเพลากะเทาะ แรงบิดสามารถหาได้จากสมการ (5)

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \qquad \ldots(5)$$

เมื่อ P = กำลังที่ต้องการส่ง (1.5 kW)

T = แรงบิดเพลาส่งกำลัง (N.m)

N = ความเร็วรอบ (800 rpm)

π = ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์โดยมีค่าประมาณ (3.14)

จาก

$$T = \frac{1{,}500 \times 60}{2 \times 3.14 \times 900}$$

$$T = 15.92 \text{ N.m}$$

สรุป T (แรงบิด) ที่หาได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของเพลาและตะแกรง

3.8 การทดสอบความเร็วรอบในการกะเทาะ

จากการทดสอบเบื้องต้นทำให้สามารถกำหนดความเร็วกะเทาะต่ำสุด และสูงสุดรอบต่อนาที ดังนั้นจึงกำหนดความเร็วรอบในการกะเทาะ 5 ระดับ และขนาดตะแกรง 3 ระดับ ในการทดสอบวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ทดสอบ 3 ซ้ำ ๆ แต่ละซ้ำใช้เมล็ดลำไยอบแห้ง 3 กิโลกรัม โดยแสดงสมบัติของเมล็ดลำไยสดและแห้งในตารางที่ ค.1 - ค.7

3.9 ค่าชี้วัดสมรรถนะการแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกจากเนื้อใน

เนื่องจากค่าชี้วัดสมรรถนะในการคัดแยกของตัวเครื่องทดสอบนั้นไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้เป็นลักษณะเฉพาะ ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องสีขาวขนาดเล็ก มอก.888-2532 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการวัดสมรรถนะของเครื่องทดสอบ ซึ่งจากมาตรฐานนี้สามารถแบ่งรายละเอียดได้ดังนี้

3.9.1 ประสิทธิภาพการแยก

$$\text{ประสิทธิภาพการแยก} = \frac{B+C}{A} \times 100 \qquad \text{...(6)}$$

3.9.2 ประสิทธิผลการแยก

$$\text{ประสิทธิผลการแยก} = \frac{B}{A} \times 100 \qquad \text{...(7)}$$

3.9.3 อัตราการทำงาน

$$\text{อัตราการทำงาน} = \frac{\mathbf{B+C}}{\mathbf{t}} \quad \text{...(8)}$$

3.9.4 การตกค้าง

$$\text{การตกค้าง} = \frac{\mathbf{A-(B+C+D)}}{\mathbf{A}} \times 100 \quad \text{...(9)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักเมล็ดลำไยที่ป้อนทั้งหมด (กรัม)

B = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)

C = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)

D = น้ำหนักเปลือก (กรัม)

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)

4.0 การวิเคราะห์ผล

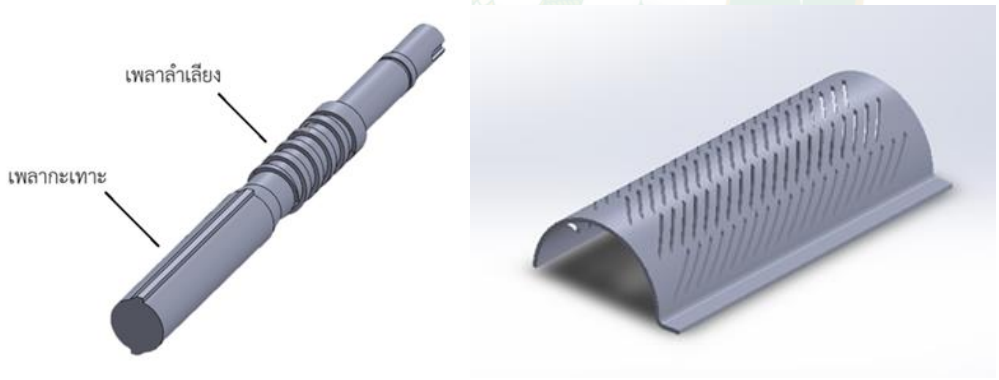
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษากลไกการแยกเปลือกเมล็ดลำไย เพื่อต้องการนำเนื้อในเมล็ดลำไยไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อสร้างรายได้เสริมให้กับผู้ที่มีความสนใจ เช่น ผู้ประกอบการแปรรูปเนื้อลำไย กลุ่มเกษตรกรลำไย ผู้ประกอบการผลิตอาหารสัตว์ และอื่น ๆ ในการศึกษาจะศึกษาทฤษฎีของแรง กลไกของเครื่องกะเทาะแต่ละชนิด การเตรียมเมล็ดลำไย สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของเมล็ดลำไย และผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเปลือกเมล็ดลำไย รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการแยกเปลือกเมล็ดลำไย

4.1 ผลการเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดกะเทาะด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดกะเทาะแบ่งได้เป็น 2 ชิ้นส่วนคือ เพลา และตะแกรง โดยกำหนดแรงที่คำนวณได้จากแรงบิด (สมการที่ 5) ใช้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างคือ สแตนเลสเกรด 304 (AISI 304) ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางที่ ค.8



ภาพที่ 19 เพลาและตะแกรง

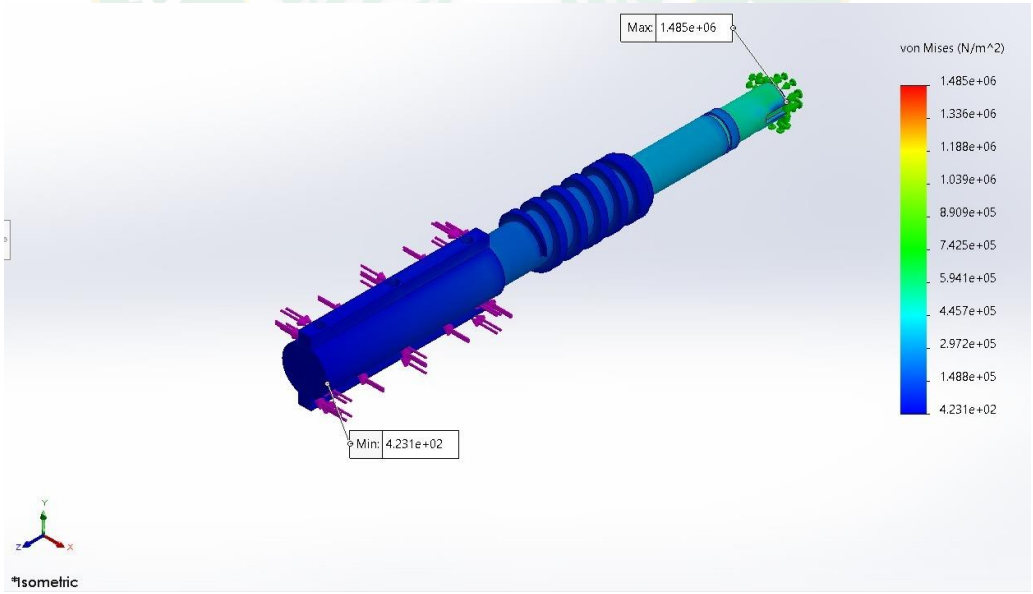
4.2 ผลการวิเคราะห์เพลา

การวิเคราะห์เพลา ใช้แรงกระทำได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับกะเทาะ ซึ่งใช้แรงบิดคือ 15.92 นิวตันต่อเมตร กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 1.485×10^{6} นิวตันต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength วัสดุ AISI 304 ทำให้เพลากะเทาะใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety distribution

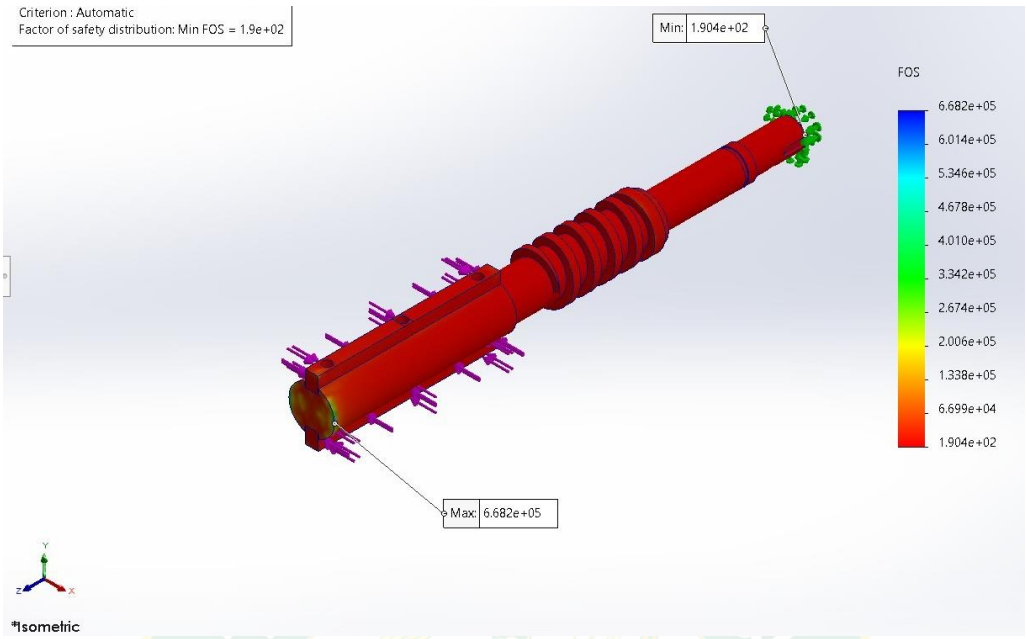
ต่ำสุดมีค่า 6.682×10^{5} ดังแสดงในภาพที่ 21 ได้ค่า resultant displacement สูงสุดมีค่า 1.090×10^{-3} มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 22 และได้ค่า equivalent strain มีค่าสูงสุด 2.859×10^{-6} ดังแสดงในภาพที่ 23 ส่วนในรายละเอียดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดการวิเคราะห์เพลา

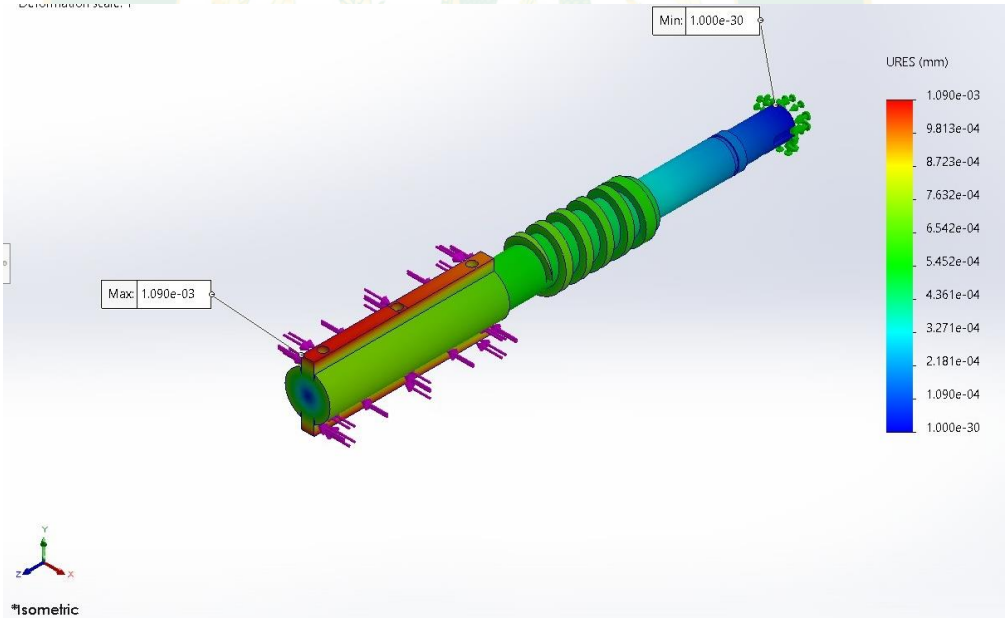
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von mises stress	4.231×10^{2} N/m^2 Node: 4276	-15.7 mm 11.1 mm 195 mm	1.485×10^{6} N/m^2 Node: 4726	-22.7 mm 14.1 mm -174 mm
Displacement	URES: resultant displacement	1.00×10^{-30} mm Node: 17653	-36.1 mm 21.7 mm -171 mm	1.090×10^{-3} mm Node: 197	-38.2 mm 36.1 mm 195 mm
Strain	ESTRN: equivalent strain	3.205×10^{-9} Element: 7590	-26 mm 26.6 mm -195 mm	2.859×10^{-6} Element: 6929	-22.9 mm 7.62 mm -171 mm



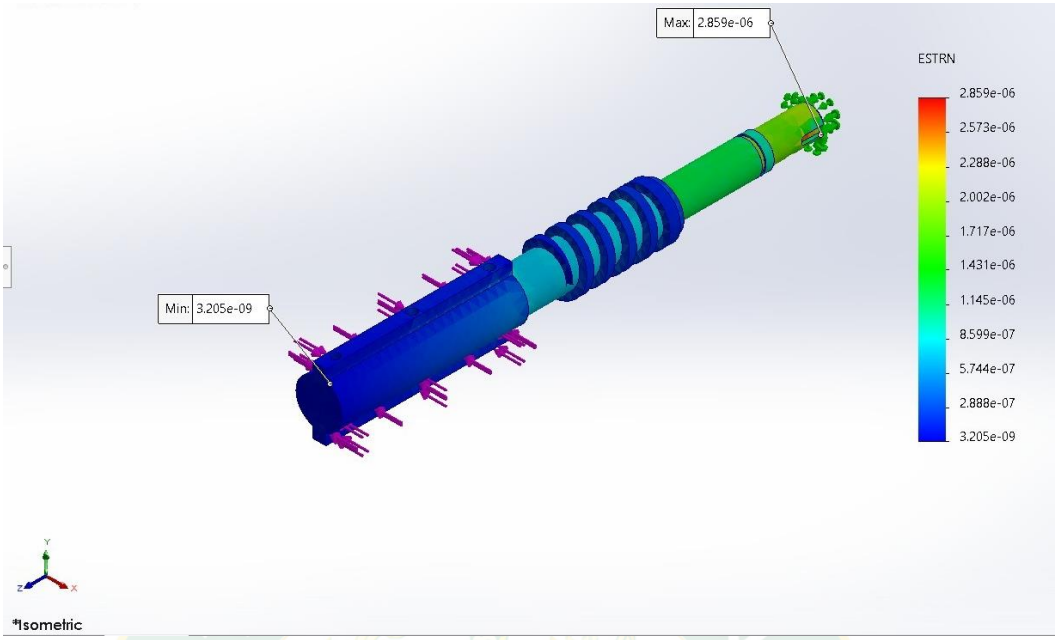
ภาพที่ 20 แผนภาพสีค่า von mises stress เพลา



ภาพที่ 21 แผนภาพสีค่า factor of safety เพลา



ภาพที่ 22 แผนภาพสีค่า resultant displacement เพลา



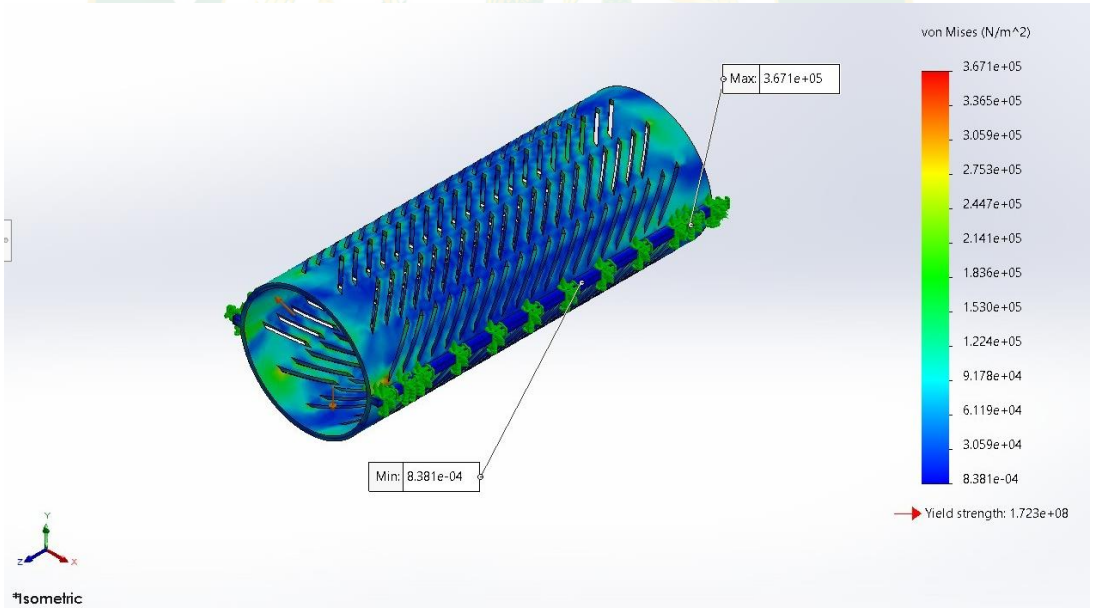
ภาพที่ 23 แผนภาพสีค่า equivalent strain เพลา

4.3 ผลการวิเคราะห์ตะแกรง

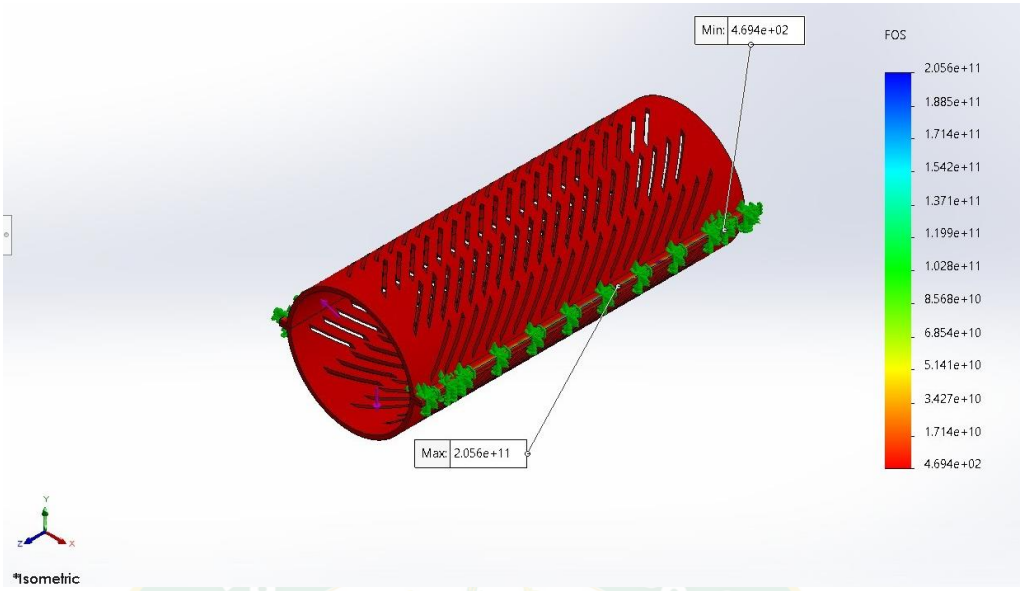
การวิเคราะห์ตะแกรง ใช้แรงกระทำได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับกะเทาะ ซึ่งใช้แรงบิด คือ 15.92 นิวตันต่อเมตร กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 3.671×10^{5} นิวตันต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 24 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength วัสดุ AISI 304 ทำให้ตะแกรงกะเทาะใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety distribution ต่ำสุดมีค่า 2.056×10^{11} ดังแสดงในภาพที่ 25 ได้ค่า resultant displacement สูงสุดมีค่า 1.387×10^{-4} มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 26 และได้ค่า equivalent strain มีค่าสูงสุด 8.320×10^{-7} ดังแสดงในภาพที่ 27 ส่วนในรายละเอียดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดการวิเคราะห์ตะแกรง

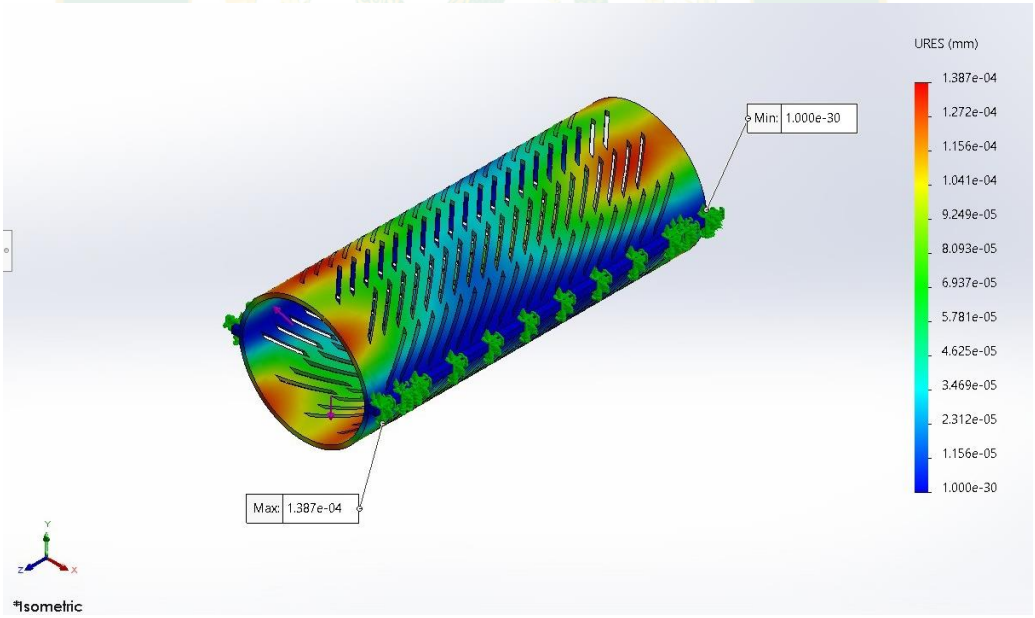
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von mises stress	8.381×10^{-4} N/m^2 Node: 2579	127 mm 125 mm 158 mm	3.671×10^{5} N/m^2 Node: 15485	127 mm 124 mm 104 mm
Displacement	URES: resultant displacement	1.00×10^{-30} mm Node: 1025	123 mm 126 mm 90.6 mm	1.387×10^{-4} mm Node: 14402	118 mm 108 mm 246 mm
Strain	ESTRN: equivalent strain	1.947×10^{-9} Element: 4634	88 mm 154 mm 185 mm	8.320×10^{-7} Element: 2853	123 mm 127 mm 251 mm



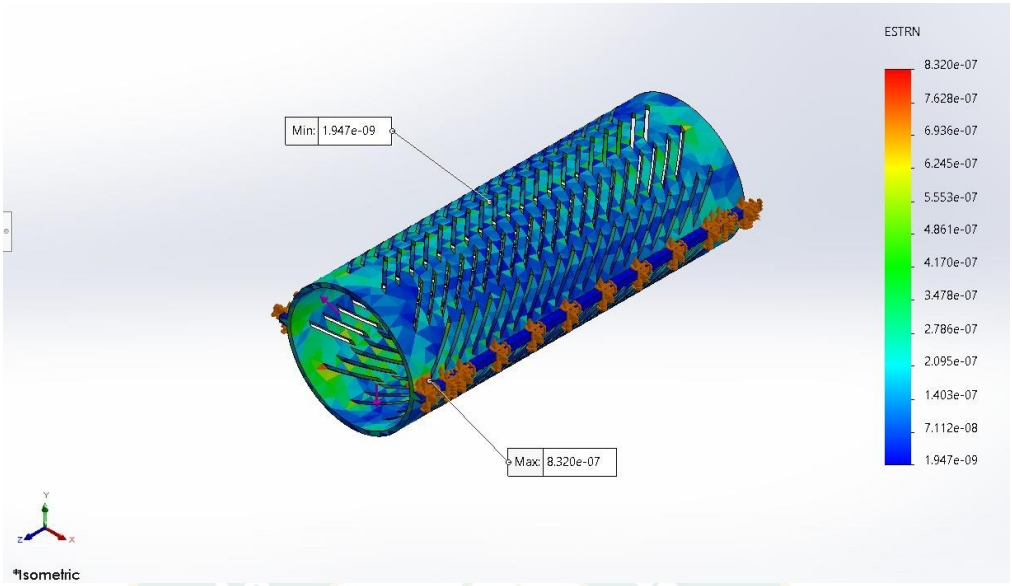
ภาพที่ 24 แผนภาพสีค่า von mises stress ตะแกรง



ภาพที่ 25 แผนภาพสีค่า resultant displacement ตะแกรง



ภาพที่ 26 แผนภาพสีค่า resultant displacement ตะแกรง



ภาพที่ 27 แผนภาพสีค่า equivalent strain ตะแกรง

4.5 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน

ผลการศึกษาการกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบ 900, 1,150, 1,400, 1,650 และ 1,900 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 3 ขนาดที่ 1.5, 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ทดสอบทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้เมล็ดลำไยสดที่ผ่านการเตรียมด้วยการอบด้วยอุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 3 กิโลกรัมต่อซ้ำ และสามารถสรุปผลได้ดังข้อมูลต่อไปนี้

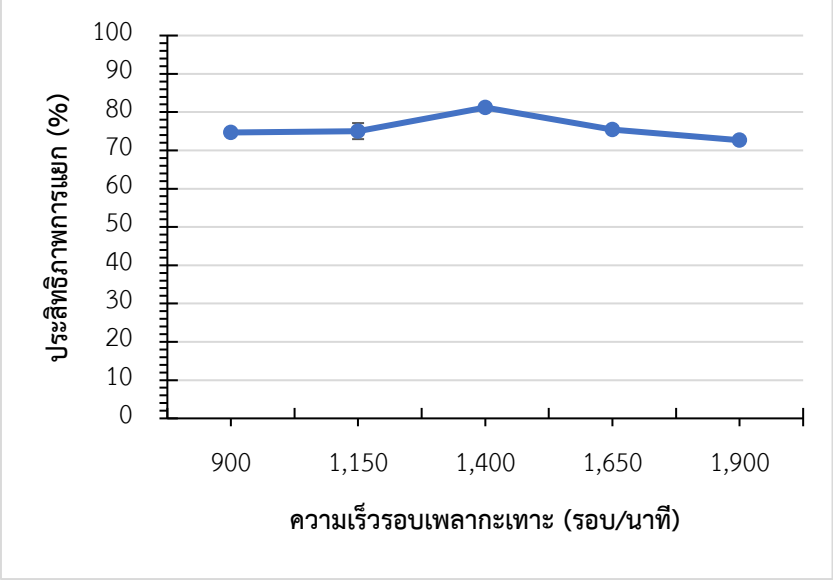
4.5.1 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน

ผลการทดสอบผลการทดสอบขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 28-31 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า อัตราการทำงานแปรผันตรงกับความเร็วการกะเทาะ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้อัตราการทำงานเพิ่มขึ้นตาม ประสิทธิภาพการแยกและประสิทธิผลการแยกก็แปรผันตรงตามความเร็วรอบการกะเทาะ แต่ประสิทธิภาพการแยกจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นเชิงเส้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบที่ 1,400 รอบต่อนาที เนื่องจากยิ่งความเร็วรอบการกะเทาะสูงจะทำให้พัดลมที่มีหน้าที่ดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยหมุนเร็วขึ้นตามไปด้วย ทำให้ทำการแยกเปลือกได้ดีขึ้น ในขณะที่การตกค้างมีค่าต่ำเมื่อความเร็วรอบการกะเทาะเพิ่มขึ้นในช่วง 1,400-1,650 รอบต่อนาที เนื่องจากพัดลมมีความเร็วรอบที่สูงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยมีค่าสูง และส่งผลต่อการตกค้างจึงมีค่าต่ำลง

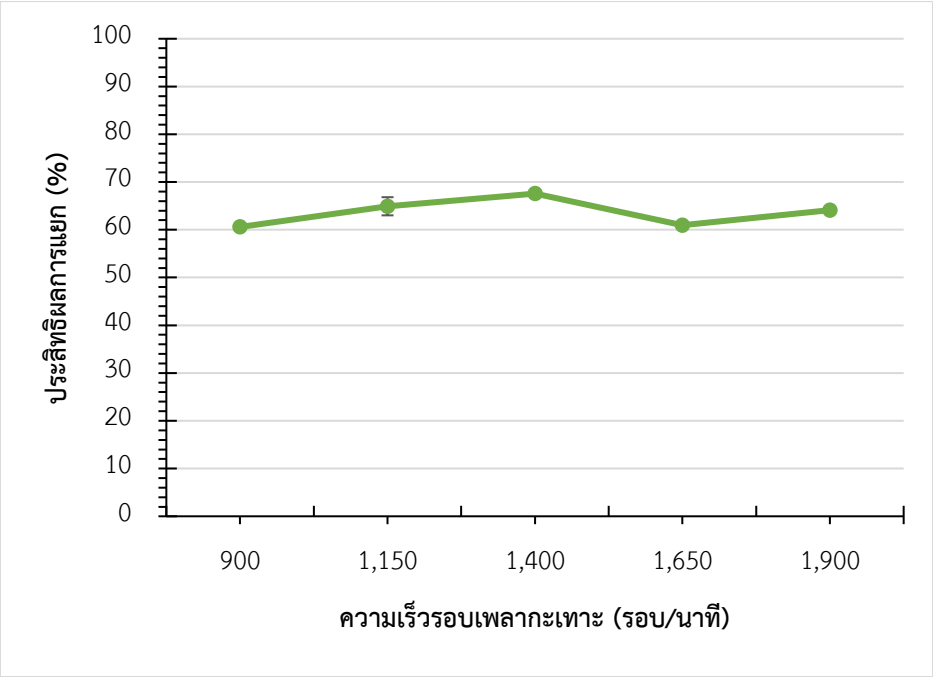
ตารางที่ 5 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 1.5 mm)

ความเร็วรอบ (rpm)	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	74.67±0.57	60.59±0.70	62.58±1.73	3.81±0.67
1150	75.04±2.10	64.92±1.90	90.75±4.17	2.69±0.81
1400	81.19±0.47	67.57±0.78	97.11±3.43	1.27±0.06
1650	75.44±0.17	60.93±0.48	113.25±2.73	1.77±0.51
1900	72.66±0.46	64.11±0.41	120.58±5.72	4.19±0.35

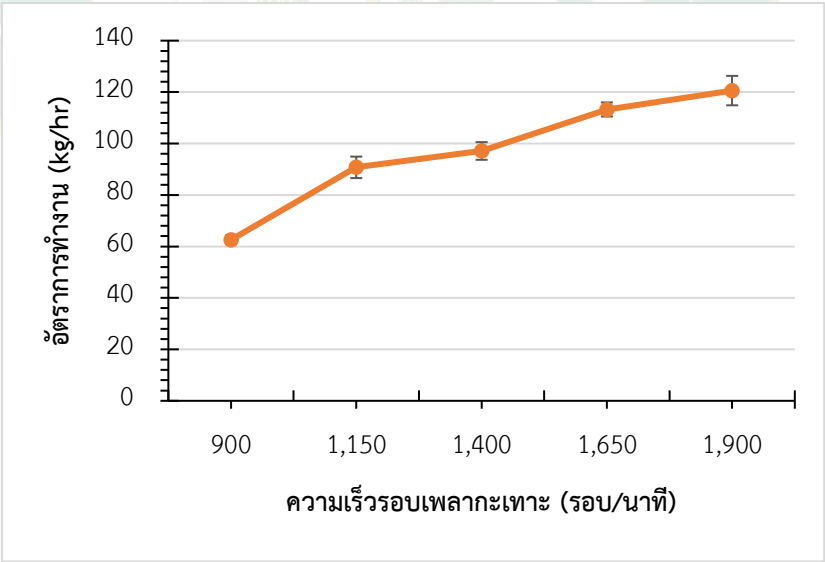
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)



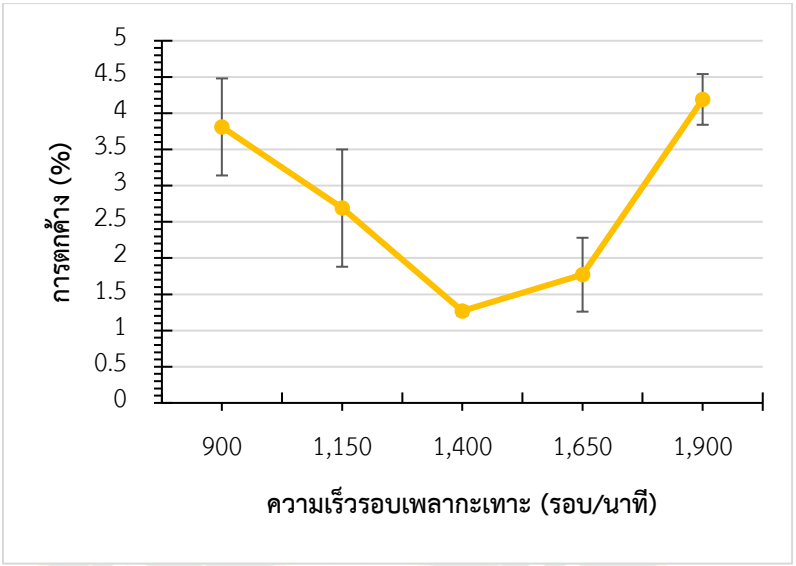
ภาพที่ 28 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก



ภาพที่ 29 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก



ภาพที่ 30 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน



ภาพที่ 31 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง

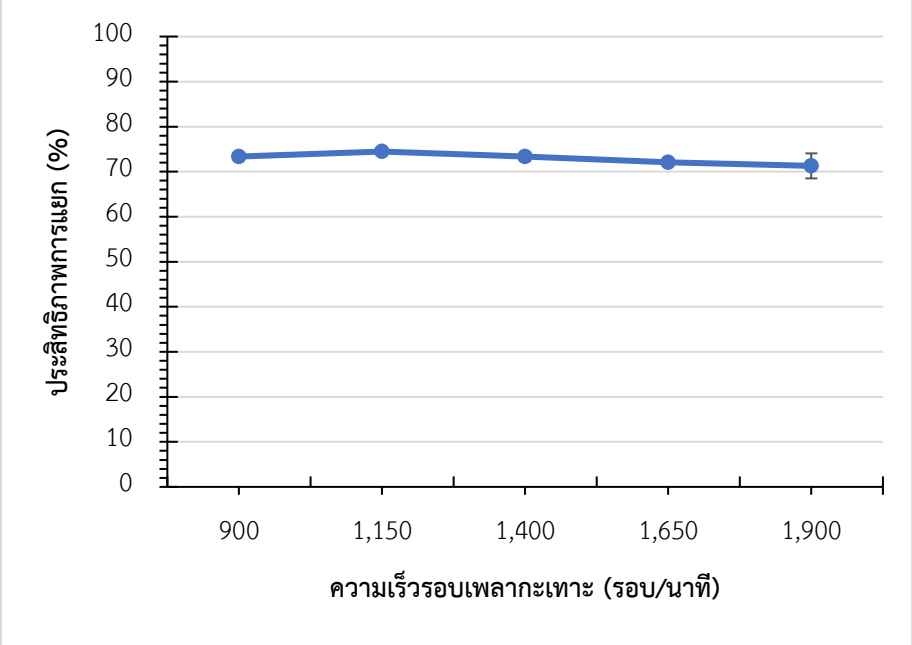
4.5.2 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน

ผลการทดสอบขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 32-35 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า อัตราการทำงานแปรผันตรงกับความเร็วการกะเทาะ ประสิทธิภาพการแยกและประสิทธิผลการแยกก็แปรผันตรงตามความเร็วรอบการกะเทาะ แต่ประสิทธิภาพการแยกจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นเชิงเส้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบที่ 1,150 รอบต่อนาที เนื่องจากยิ่งความเร็วรอบการกะเทาะสูงจะทำให้พัดลมที่มีหน้าที่ดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยหมุนเร็วขึ้นตามไปด้วย ทำให้ทำการแยกเปลือกได้ดีขึ้น แต่ทั้งนี้ที่ความเร็วรอบแตกต่างกันนั้นทำให้ผลของประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่การตกค้างมีค่าต่ำเมื่อความเร็วรอบการกะเทาะเพิ่มขึ้นในช่วง 1,150-1,400 รอบต่อนาที เนื่องจากพัดลมมีความเร็วรอบที่สูงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยมีค่าสูง และส่งผลต่อการตกค้างจึงมีค่าต่ำลง

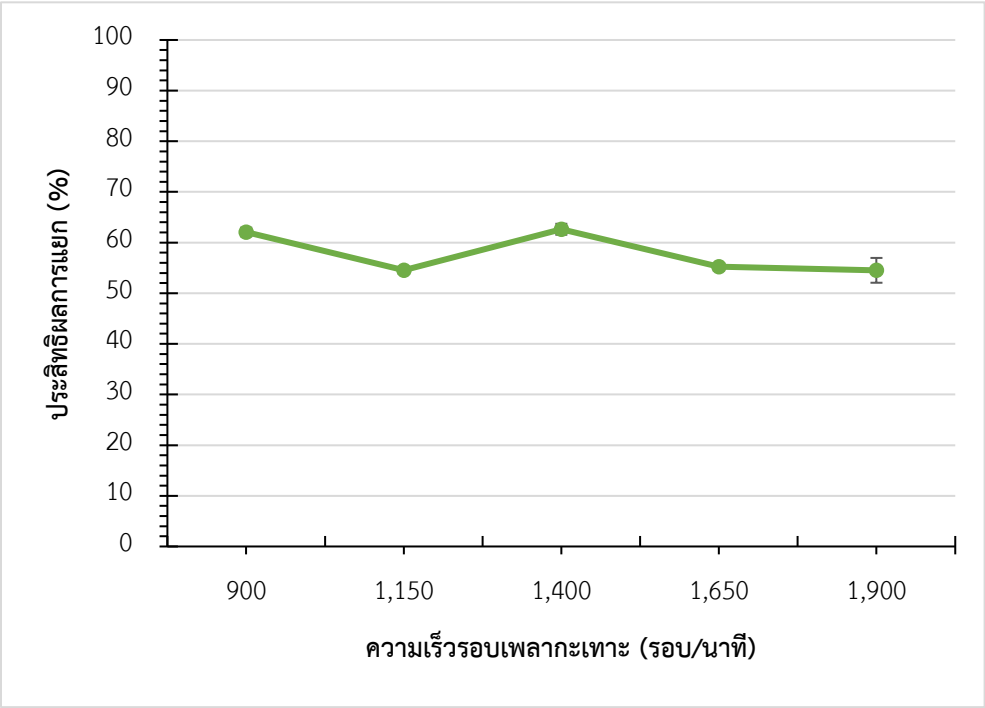
ตารางที่ 6 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 3.0 mm)

ความเร็วรอบ (rpm)	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	73.37±0.54	62.08±0.87	94.74±4.05	3.96±0.63
1150	74.46±0.67	54.54±0.68	87.67±1.94	1.22±0.11
1400	73.33±0.92	62.63±1.08	102.39±1.10	1.98±0.97
1650	72.07±0.56	55.21±0.75	90.36±2.31	4.13±0.19
1900	71.28±2.78	54.52±2.45	112.52±8.61	2.84±1.32

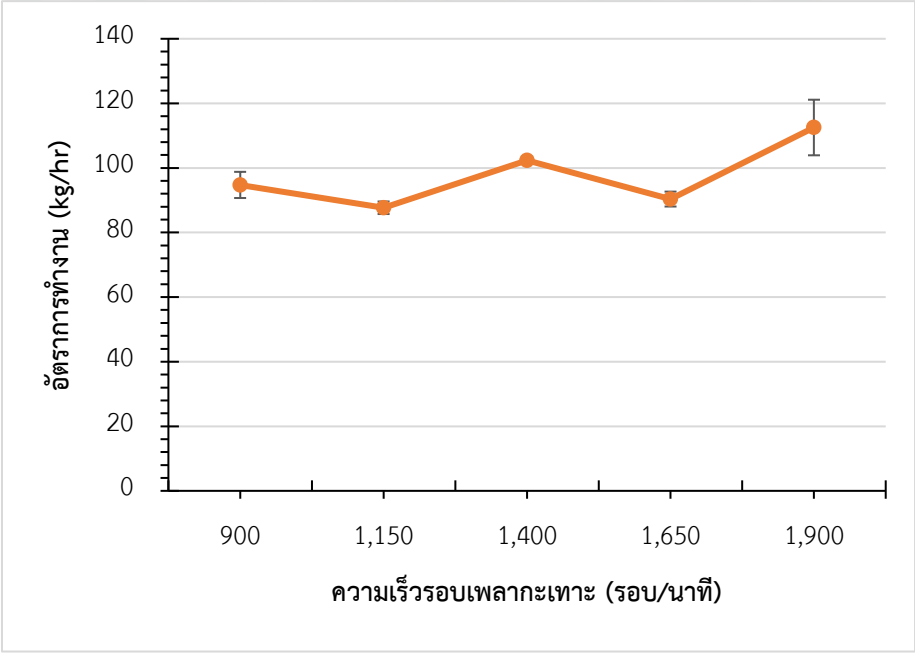
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)



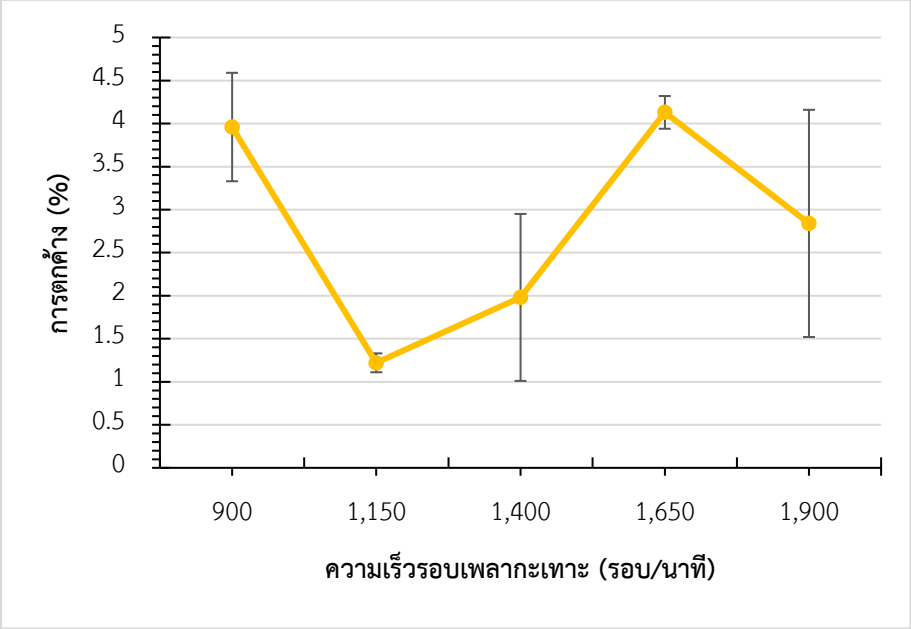
ภาพที่ 32 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก



ภาพที่ 33 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก



ภาพที่ 34 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน



ภาพที่ 35 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง

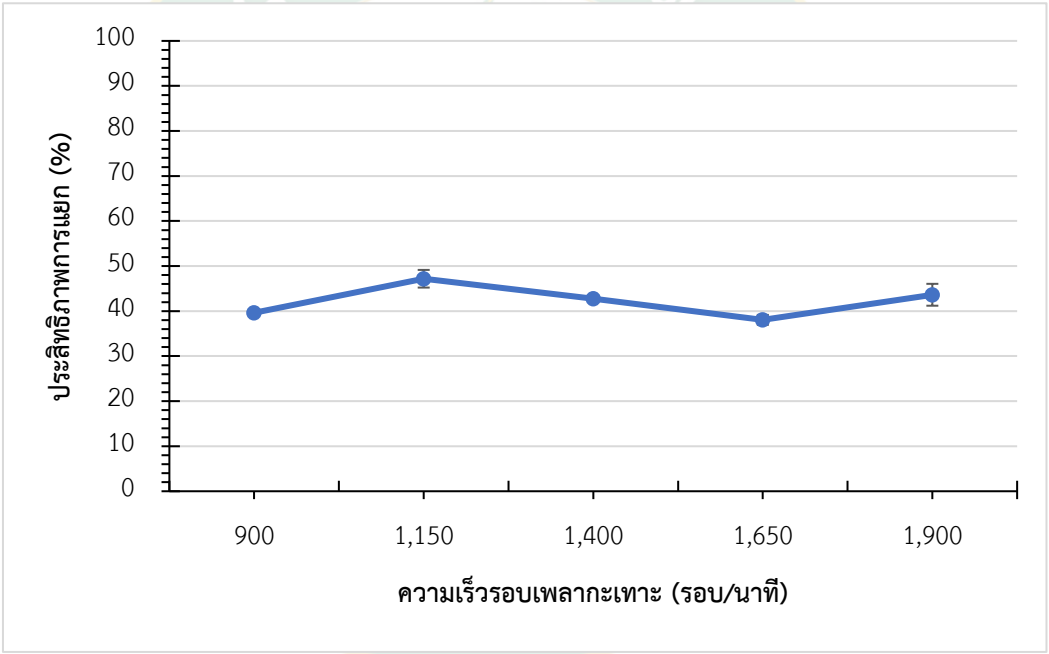
4.5.3 ผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง 4.5 มิลลิเมตรต่อสมรรถนะการทำงาน

ผลการทดสอบขนาดตะแกรง 4.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 36-39 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า อัตราการทำงานแปรผันตรงกับความเร็วการกะเทาะ ประสิทธิภาพการแยกและประสิทธิผลการแยกก็แปรผันตรงตามความเร็วรอบการกะเทาะ แต่ประสิทธิภาพการแยกจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นเชิงเส้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบที่ 1,150 รอบต่อนาที เนื่องจากยิ่งความเร็วรอบการกะเทาะสูงจะทำให้พัดลมที่มีหน้าที่ดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยหมุนเร็วขึ้นตามไปด้วย ทำให้ทำการแยกเปลือกได้ดีขึ้น ในขณะที่การตกค้างมีค่าต่ำเมื่อความเร็วรอบการกะเทาะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพัดลมมีความเร็วรอบที่สูงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดเศษเปลือกเมล็ดลำไยมีค่าสูงและส่งผลต่อการตกค้างจึงมีค่าต่ำลง

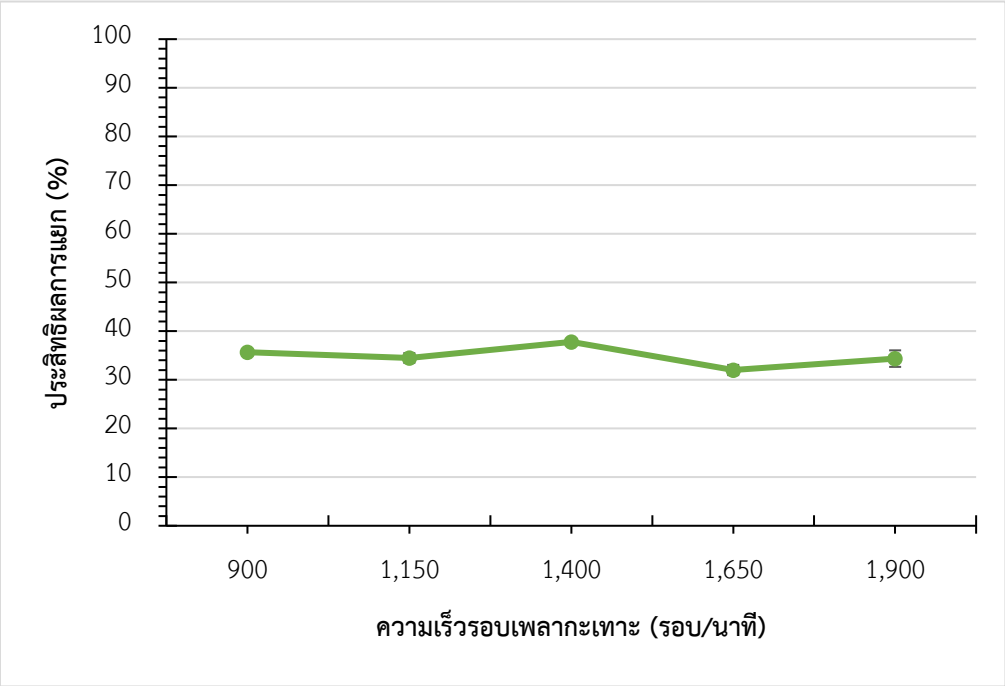
ตารางที่ 7 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการทำงาน (ขนาดตะแกรง 4.5 mm)

ความเร็วรอบ (rpm)	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	39.66±0.09	35.65±0.53	53.56±0.34	2.36±1.31
1150	47.19±1.96	34.48±1.00	60.84±1.04	1.50±0.97
1400	42.75±0.23	37.79±0.53	54.08±3.19	1.40±0.30
1650	38.06±1.10	32.01±1.05	62.28±3.15	1.41±0.18
1900	43.63±2.43	34.35±1.70	119.31±36.51	1.49±0.35

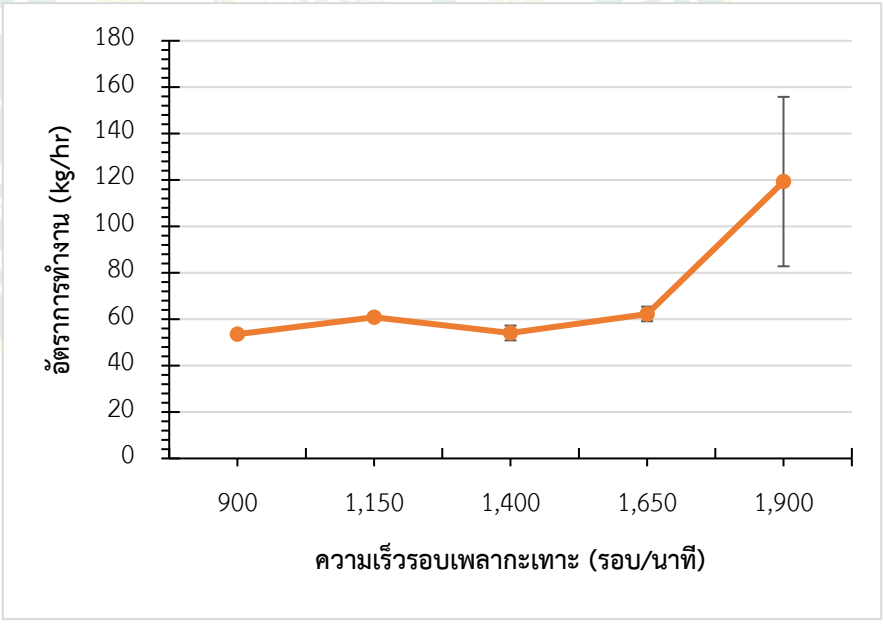
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)



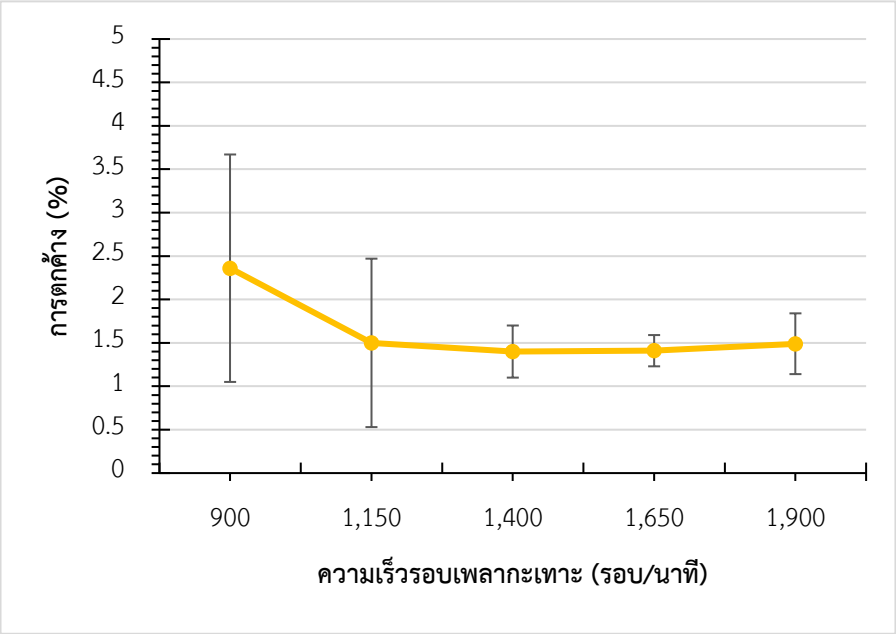
ภาพที่ 36 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิภาพการแยก



ภาพที่ 37 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อประสิทธิผลการแยก



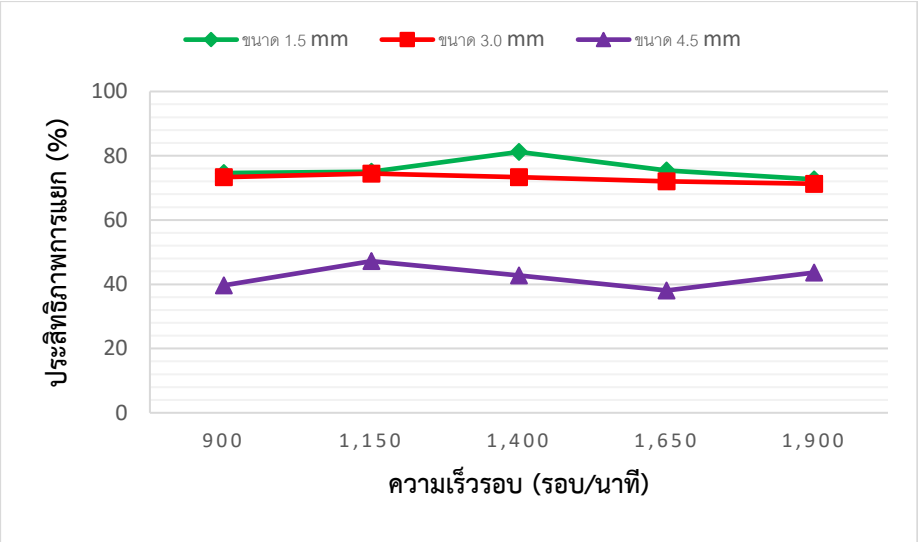
ภาพที่ 38 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่ออัตราการทำงาน



ภาพที่ 39 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อการตกค้าง

4.5.4 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่อสมรรถนะการทำงาน

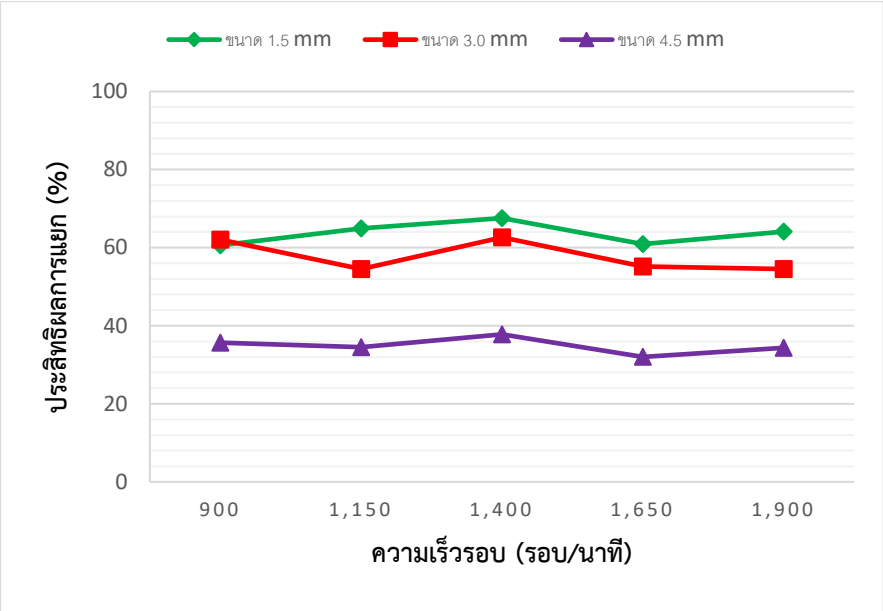
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการแยกของเครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าควรการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่างกัน พบว่าความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร จะให้ประสิทธิภาพการแยกอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึง 81.19% ดังแสดงในภาพที่ 40 ดังนั้นหากทำการทดสอบระยะยาวจะทำการทดสอบกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบการกะเทาะ 1,400 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด ซึ่งหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียจากกระบวนการแปรรูปลำไยให้เหลือศูนย์ และเพื่อใช้เนื้อในเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สุเนตร และคณะ, 2563)



ภาพที่ 40 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อ

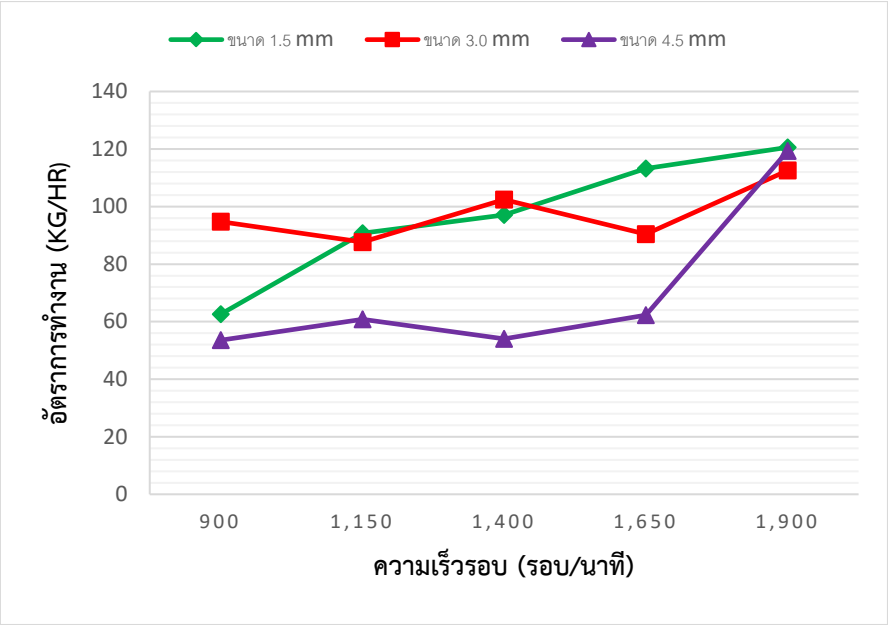
ประสิทธิภาพการแยก

ผลการศึกษาประสิทธิผลการแยกของเครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าควรการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่างกัน พบว่าความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร จะให้ประสิทธิผลการแยกอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึง 62.63% ดังแสดงในภาพที่ 41 ดังนั้นหากทำการทดสอบระยะยาวจะทำการทดสอบกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบการกะเทาะ 1,400 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด ซึ่งหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียจากกระบวนการแปรรูปลำไยให้เหลือศูนย์ และเพื่อใช้เนื้อในเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สุเนตร และคณะ, 2563)



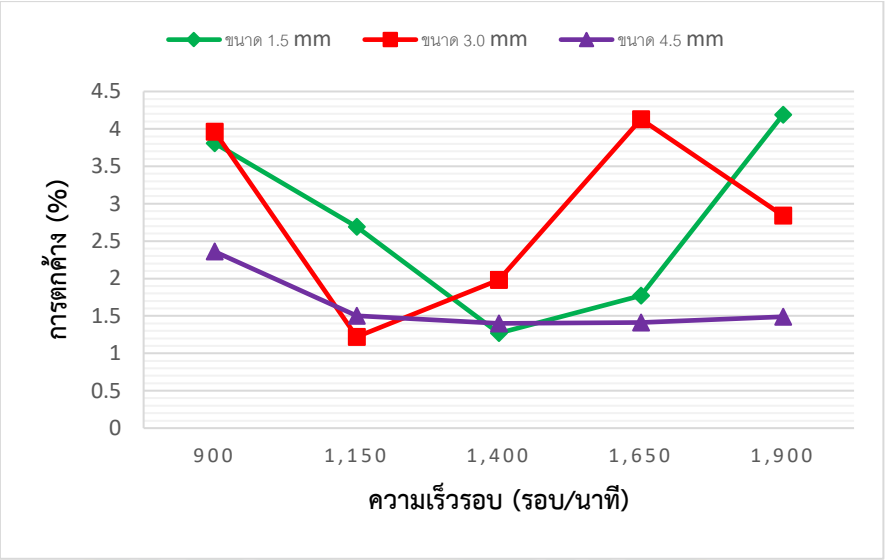
ภาพที่ 41 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อ
ประสิทธิผลการแยก

ผลการศึกษาอัตราการทำงานของเครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าควรการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่างกัน พบว่าความเร็วรอบ 1,900 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร จะให้อัตราการทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึง 120.58 kg/hr ดังแสดงในภาพที่ 42 ดังนั้นหากทำการทดสอบระยะยาวจะทำการทดสอบกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบการกะเทาะ 1,900 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด ซึ่งหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียจากกระบวนการแปรรูปลำไยให้เหลือศูนย์ และเพื่อใช้เนื้อในเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สุเนตร และคณะ, 2563)



ภาพที่ 42 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่ออัตราการทำงาน

ผลการศึกษาการตกค้างของเครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าควรการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบและขนาดตะแกรงต่างกัน พบว่าความเร็วรอบ 1,150 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร จะให้การตกค้างอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำสุด 1.22% ดังแสดงในภาพที่ 43 ดังนั้นหากทำการทดสอบระยะยาวจะทำการทดสอบกะเทาะเมล็ดลำไยที่ความเร็วรอบการกะเทาะ 1,150 รอบต่อนาที และขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด ซึ่งหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียจากกระบวนการแปรรูปลำไยให้เหลือศูนย์ และเพื่อใช้เนื้อในเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สุเนตร และคณะ, 2563)



ภาพที่ 43 ผลการเปรียบเทียบของความเร็วรอบการกะเทาะและขนาดตะแกรงต่อการตกค้าง

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษากลไกการแยกเปลือกเมล็ดลำไย ได้เริ่มจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของเมล็ดลำไย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดกลไกการกะเทาะ รวมถึงศึกษาการเตรียมเมล็ดลำไยเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเมล็ดลำไยที่ทำการศึกษาแบ่งเป็นเมล็ดลำไยสดภายหลังการคว้านเอาเนื้อลำไย เป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากได้เมล็ดลำไยที่ผ่านการเตรียม และมีคุณสมบัติตามต้องการแล้ว จึงใช้เมล็ดลำไยนี้ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไยต่อไป โดยทำการทดสอบแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนการทำงาน ซึ่งจะมีการแปรค่าความเร็วรอบเป็น 5 ระดับ และขนาดตะแกรง 3 ขนาด โดยการทดสอบการกะเทาะที่ความเร็วรอบ 1 ระดับจะทำการทดสอบระดับละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำจะใช้เมล็ดลำไย 3 กิโลกรัม เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วจะเลือกระดับความเร็วรอบการกะเทาะที่ดีที่สุดมาทำการทดสอบระยะยาว โดยทำการทดสอบกะเทาะเมล็ดลำไยทั้งหมด 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำจะใช้เมล็ดลำไย 3 กิโลกรัม ผลการศึกษารวมถึงปัญหาและอุปสรรคมีดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเตรียมเมล็ดลำไยเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมล็ดและสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเมล็ดลำไยมีคุณสมบัติ ประกอบไปด้วยสารสำคัญกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งสามารถช่วยบำรุง มีการต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งป้องกันการก่อมะเร็ง และยับยั้งการกลายพันธุ์ และคุณค่าทางโภชนาและพลังงาน อีกทั้งเมล็ดลำไยเป็นวัสดุพลอยได้จากการแปรรูปลำไยที่มีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตสำหรับสัตว์อีกด้วย

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย ความเร็วรอบการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ 1,400 รอบต่อนาที ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพการแยก 81.19% ประสิทธิผลการแยก 37.79% อัตราการทำงาน 97 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการตกค้างอยู่ที่ 1.27%

5.2 ปัญหาที่พบในการศึกษา

1. เนื่องจากเตาอบกระบะที่ใช้ในกระบวนการเตรียมเมล็ดลำไยมีการกำหนดอุณหภูมิในการอบ ถ้าทำการปรับปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป ส่งผลให้สูญเสียเชื้อเพลิงอย่างไร้ประโยชน์ แล้วจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบสูงกว่าที่กำหนด

2. การทดลองเริ่มดำเนินการในช่วงฤดูฝน ทำให้บางวันสภาพภูมิอากาศมีเมฆครึ้ม และมีพายุฝน ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ส่งผลให้ความชื้นของเมล็ดที่ทำการอบแห้งสามารถระเหยออกไปได้ช้า

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

1. การเพิ่มช่วงความยาวของตะแกรงกลม และเพลากะเทาะอาจช่วยให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้นได้เนื่องจากเวลาการกะเทาะที่เยอะขึ้น

2. ลักษณะลิ่มของเพลากะเทาะที่มีอยู่เดิมอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการกะเทาะเมล็ดลำไยมากนัก จึงควรมีการออกแบบลักษณะของเพลากะเทาะให้เหมาะสมมากกว่านี้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

3. ควรขยายช่องสำหรับป้อนเมล็ดลำไยเข้าสู่ห้องเพลาลำเลียงเพื่อทำให้ปริมาณเมล็ดลำไยที่ป้อนเข้าเครื่องกะเทาะมีความสม่ำเสมอ จะทำให้อัตราการทำงานสูงขึ้น

4. การรองรับเศษเปลือกเมล็ดลำไยควรใช้ถุงผ้าขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของช่องลมทำให้ลมสามารถถ่ายเทได้สะดวก เศษเปลือกเมล็ดลำไยที่หลุดจากการกะเทาะจะถูกดูดออกมาด้วยลมที่แรงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้นด้วย

5. ควรทำการเปลี่ยนพัดลมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากขนาดของพัดลมที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้มีความแรงในการดูดเพิ่มขึ้น จึงสามารถลดปริมาณเศษเปลือกที่ปะปนมากับช่องทางออกของเมล็ดได้มากขึ้น

6. ควรศึกษาการใช้ประโยชน์โดยสัตว์เปรียบเทียบกันระหว่างการตากแดด และการอบแห้ง

7. ควรมีการศึกษาระยะห่างระหว่างปลายลิ่มกับตะแกรง

บรรณานุกรม

กลวัชร ทิมินกุล, วุฒิพล จันสระคู, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, พิพล วุฒิสินธ์, อนุชิต ฉ่ำสิงห์ และนันทวรรณ สโรบล. (2556). วิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวันพร้อมอุปกรณ์คัดแยก. ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14.

นิพนธ์ แสงจันทร์, สมชาย บุญยัง, เปรม อินคำ, อนันต์ มาดี และอดุลย์ พุกอินทร์. (2550). เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 2 (1), 84-87.

บัวเรียม มณีวรรณ์, ทองเลียน บัวจูม, เผ่าพงษ์ ปูระณะพงษ์ และโยธิน นันตา. (2554). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยในไก่พื้นเมือง. การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 7.

พิพัฒน์ อมตฉายา. (2554). "การพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดยางพารา. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2561). แรงเฉือน. จาก http://www.foodnetworksolution.com.

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, วุฒิชัย ชาวสวนแพ และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2561). การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดกระบกแบบต่อเนื่อง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี, 2, 119-128

วรางคณา สมพงษ์, ภาสกร ธีระศิลป์วีสกุล, คณิน ศรีสาลีกุลรัตน์. (2559). การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (Tamarindus indica L.) ด้วยไมโครเวฟ และการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 288-298.

วลัยพรรณ สุรวัฒนวิเศษ. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขัดผิวจากเส้นใยสับปะรด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์. สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์.

วีรเดช เกตุมรรค และพงศกร สุรินทร์. (2555). การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะครั่ง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 2(2), 63-76.

วันเซ็ง สิทธิกิจโยธิน และดวงฤดี เชิดวงศ์เจริญสุข. (2558). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว. วารสารวิทยาศาสตร์ บูรพา, 16(1), 47-55.

สาวิตรี จันทรานุรักษ์. (2546). กระบวนการแยกเชิงกล-ฟิสิกส์. กระบวนการแยกเชิงกลในอุสาหกรรม. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1-4.

สุกัญญา เขียวสะอาด, อัศวิน ดาดูเคล, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ, และพิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์. (2563). วิธีการและสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดลำไย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(11), 2052-2063.

สุเนตร สืบค้า, รชต สุวิทย์ชยานนท์, บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร, พิสุทธิ์ กลิ่นขจร, แสนวสันต์ ยอดคำ, บัวเรียม มณีวรรณ์, และระวิน สืบค้า. (2563) การศึกษากระบวนการแยกเปลือกเมล็ดลำไยเพื่อใช้เนื้อในเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 27(3), 191-204.

สุเนตร สืบค้า. (2559). "การบีบอัดโดยใช้ลูกรีด และการแยกแบบแผ่น. วิศวกรรมการแปรสภาพทางการเกษตร. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 375-382.

สุเนตร สืบค้า, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และระวิน สืบค้า. (2558). การหาพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของวัสดุทางการเกษตรที่มีรูปร่างไม่แน่นอน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 63-75.

สุรินทร์ นิลสำราญจิต และสุริยา ตาเที่ยง. (2558). สัณฐานวิทยาเมล็ดและสารประกอบโพลีฟีนอลของลำไย. วารสารเกษตร, 31(2), 167-175.

สิงห์คาน แสนยากุล และนิพนธ์ วงค์ทา. (2555). เครื่องกะเทาะเมล็ดแทคคาเดเมีย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). เศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี (2565). พื้นที่การเพาะปลูกและผลผลิตลำไย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อนุรักษ์ เขียวขจรเขต. (2563). ผลของการผสมเนื้อในเมล็ดลำไยป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโตในปลานิล (Oreochromis niloticus). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2039-2051.

อุษณีย์ วินิตเขตคำนวณ. (2551). สารสกัดจากเมล็ดลำไย. จาก https://www.dailynews.co.th.

Farag, M. D. E. D. H. (2001). The enhancement of the nutritive value of mango seed kernels for poultry by thermal treatment and radiation processing. Archives of Animal Nutrition 54(1): 61-79.

Odunsi, A. (2005). Response of laying hens and growing broilers to the dietary inclusion of mango (Mangifera indica L.) seed kernel meal. Tropical Animal Health and Production 37(2): 139-150.

Rangkadilok, Sitthimonchai, Worasuttayangkurn, Mahidol, Ruchirawat andSatayavivad. (2007). Evaluation of free radical scavenging and antityrosinase activities of standardized longan fruit extract. Food and Chemical Toxicology 45(2): 328-336.

Soong, Y.-Y. and P. J. Barlow (2004). Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. Food chemistry 88(3): 411-417.

Teguia, A. (1995). Substituting ground mango kernels (Mangifera indica L) for maize in broiler starter diets. Animal Feed Science and Technology 56(1-2): 155-158.

ภาคผนวก

ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากลไกการแยกเปลือกเมล็ดลำไย

ภาพที่ ก.1 เครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย

ภาพที่ ก.2 ตะแกรงรูวงกลม

ภาพที่ ก.3 ตะแกรงรูวงรี

ภาพที่ ก.4 ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมขนาด 1.5 mm

ภาพที่ ก.5 ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมขนาด 3.0 mm

ภาพที่ ก.6 ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมขนาด 4.5 mm

ภาพที่ ก.7 ตะแกรงของกะเทาะเมล็ดกาแฟ

ภาพที่ ก.8 เมล็ดลำไยสด

ภาพที่ ก.9 เมล็ดลำไยหลังการอบแห้ง

ภาพที่ ก.10 เนื้อในเมล็ดลำไย

ภาพที่ ก.11 เปลือกเมล็ดลำไยหลังการกะเทาะ

ภาพที่ ก.12 ตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Binder รุ่น FD260)

ภาพที่ ก.13 เตาอบแห้งแบบกระบะ

ภาพที่ ก.14 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (ยี่ห้อ Sartorious รุ่น CP 3202 S)

ภาพที่ ก.15 เครื่องวัดความเร็วรอบ (ยี่ห้อ Digicon รุ่น DT-250P)

ภาพที่ ก.16 อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

(ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D700)

ภาพที่ ก.17 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

ภาพที่ ก.18 ไมโครมิเตอร์

ภาพที่ ก.19 นาฬิกาจับเวลา

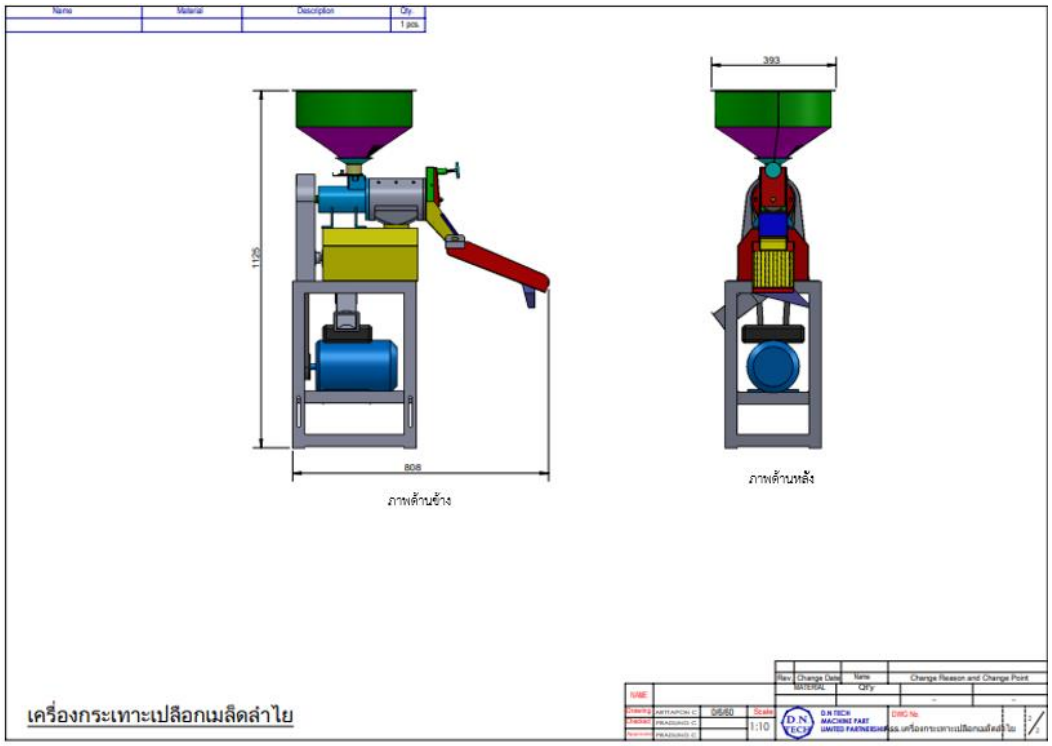
ภาพที่ ก.20 ถาดรองรับ

ภาพที่ ก.21 กระป๋องอลูมิเนียม (Moisture Can)

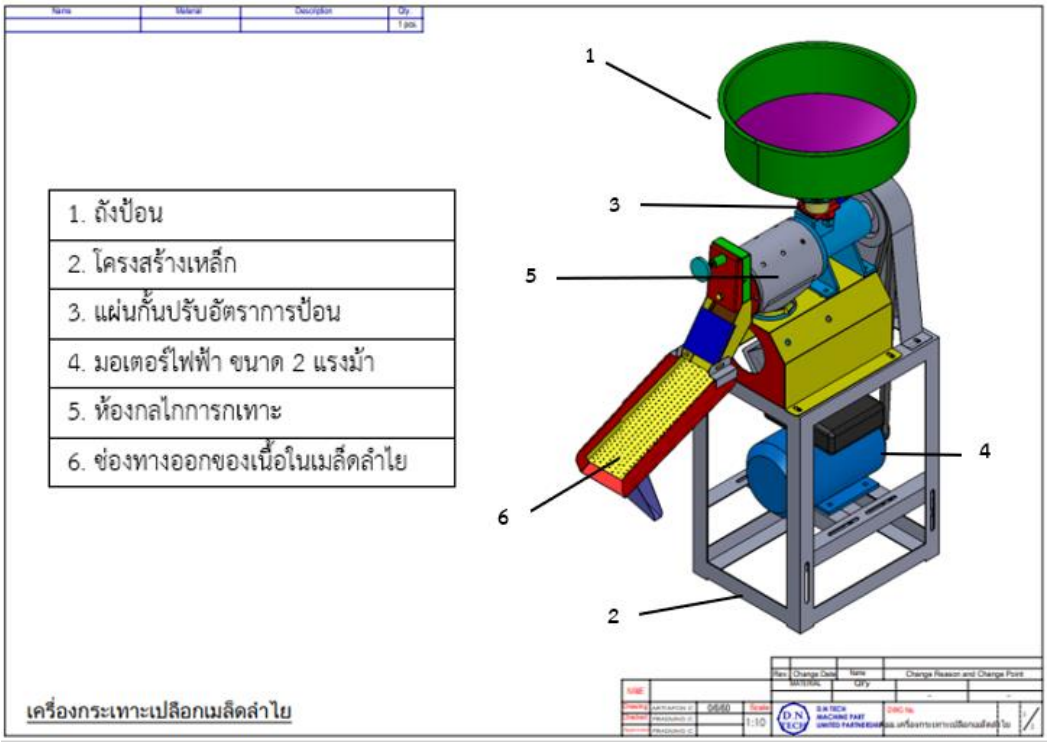
ภาพที่ ก.22 ถังรองรับ

ภาพที่ ก.23 กระชอน

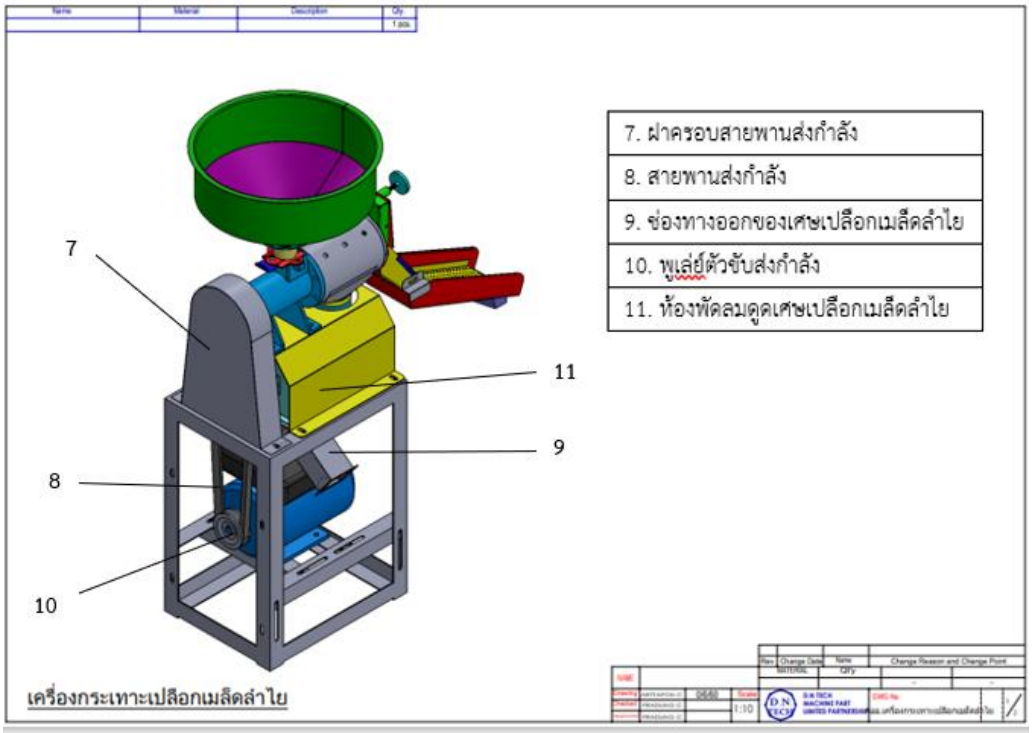
ข. แบบแปลนเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย



ภาพที่ ข.1 แบบแปลนเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย



ภาพที่ ข.2 แบบแปลนเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย



ภาพที่ ข.3 แบบแปลนเครื่องกะเทาะเมล็ดลำไย

ค. ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ขนาดและพื้นที่ผิวเมล็ดลำไยสด

เมล็ด	ขนาด (mm)			dp (mm)	ความกลม	พื้นที่ผิว (mm^2)
	ด้าน a	ด้าน b	ด้าน c			
1	15.98	15.40	11.89	14.30	0.90	642.37
2	13.78	13.62	11.08	12.76	0.93	511.57
3	15.28	14.83	11.51	13.77	0.90	594.96
4	14.52	16.06	11.36	13.84	0.95	601.16
5	14.90	13.60	11.35	13.20	0.89	547.11
6	15.60	14.54	12.05	13.98	0.90	613.83
7	13.67	13.33	10.49	12.41	0.91	483.63
8	15.34	15.39	11.35	13.89	0.91	605.76
9	14.99	14.72	11.35	13.58	0.91	579.07
10	14.80	14.71	11.81	13.70	0.93	589.31
11	14.36	14.58	10.84	13.14	0.92	542.28
12	13.71	13.21	10.76	12.49	0.91	489.89
13	14.07	15.23	12.71	13.97	0.99	612.38
14	14.03	14.13	11.50	13.16	0.94	543.91
15	14.24	14.53	11.09	13.19	0.93	546.26
16	13.72	14.78	11.31	13.19	0.96	546.08
17	14.81	13.58	11.25	13.13	0.89	541.17
18	15.43	14.63	11.58	13.78	0.89	595.86
19	15.20	15.67	12.62	14.43	0.95	654.00
20	14.00	13.57	10.65	12.65	0.90	502.31

ตารางที่ ค.1 ขนาดและพื้นที่ผิวเมล็ดลำไยสด (ต่อ)

เมล็ด	ขนาด (mm)			dp (mm)	ความกลม	พื้นที่ผิว (mm^2)
	ด้าน a	ด้าน b	ด้าน c			
21	14.36	14.44	10.84	13.10	0.91	538.80
22	13.51	13.67	11.00	12.67	0.94	503.66
23	14.84	14.42	11.50	13.50	0.91	572.35
24	15.11	14.04	10.69	13.14	0.87	542.00
25	13.49	14.25	12.44	13.37	0.99	561.51
26	14.52	15.00	11.17	13.45	0.93	567.99
27	14.17	15.03	11.15	13.34	0.94	558.90
28	13.71	13.98	11.16	12.88	0.94	521.28
29	13.67	14.53	10.94	12.95	0.95	526.78
30	13.98	14.70	12.85	13.82	0.99	599.90
Mean				13.36	0.92	560.39
SD				0.52	0.03	0.84

ตารางที่ ค.2 ความหนาแน่นกองของเมล็ดลำไยสด

ซ้ำที่	น้ำหนัก (Kg)	ปริมาตร (m^3)	ความหนาแน่นกอง (Kg $/m^3$)
1	0.7737	0.001	773.74
2	0.7736	0.001	773.61
3	0.7737	0.001	773.70
Mean			774
SD			0.10

ตารางที่ ค.3 ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลำไยสด

ซ้ำที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักของน้ำที่ระเหยออก (กรัม)	ความชื้นฐานเปียก (%w.b.)
1	10.07	6.13	3.94	39.13
2	10.55	6.66	3.89	36.87
3	10.20	6.52	3.68	36.08
Mean		6.44	3.84	37.36
SD		0.27	0.14	1.58

ตารางที่ ค.4 ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลำไย+ขั้ว

ซ้ำที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักของน้ำที่ระเหยออก (กรัม)	ความชื้นฐานเปียก (%w.b.)
1	10.08	4.86	5.22	51.79
2	11.42	5.42	6.00	52.54
3	10.24	5.19	5.05	49.32
Mean		5.16	5.42	51.21
SD		0.28	0.51	1.69

ตารางที่ ค.5 ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลำไยอบแห้ง

ซ้ำที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักของน้ำที่ระเหยออก (กรัม)	ความชื้นฐานเปียก (%w.b.)
1	10.47	9.31	1.16	11.08
2	10.98	9.73	1.25	11.38
3	10.66	9.43	1.23	11.54
Mean			1.21	11.33
SD			0.05	0.23

ตารางที่ ค.6 ขนาดและพื้นที่ผิวเมล็ดลำไยอบแห้ง

เมล็ด	ขนาด (mm)			dp (mm)	ความกลม	พื้นที่ผิว (mm^2)
	ด้าน a	ด้าน b	ด้าน c			
1	12.80	12.00	10.90	11.87	0.93	442.73
2	11.40	12.60	9.10	10.93	0.96	375.38
3	11.40	8.80	12.40	10.75	0.94	363.19
4	10.90	8.60	11.40	10.22	0.94	328.21
5	10.70	11.00	9.00	10.19	0.95	326.29
6	11.30	10.70	9.60	10.51	0.93	346.80
7	11.90	11.30	9.30	10.77	0.91	364.48
8	10.00	10.00	7.50	9.09	0.91	259.20
9	10.20	10.20	7.80	9.33	0.91	273.19
10	12.70	13.50	10.90	12.32	0.97	476.40
11	12.10	12.20	10.10	11.42	0.94	409.80

ตารางที่ ค.6 ขนาดและพื้นที่ผิวเมล็ดลำไยอบแห้ง (ต่อ)

เมล็ด	ขนาด (mm)			dp (mm)	ความกลม	พื้นที่ผิว (mm^2)
	ด้าน a	ด้าน b	ด้าน c			
12	10.10	10.90	8.10	9.63	0.95	290.91
13	11.20	10.40	9.20	10.23	0.91	328.82
14	10.60	11.10	8.70	10.08	0.95	318.93
15	11.70	12.70	8.80	10.94	0.93	375.47
16	12.10	11.60	9.80	11.12	0.92	388.37
17	10.70	11.30	9.30	10.40	0.97	339.54
18	12.00	13.40	10.40	11.87	0.99	442.39
19	10.40	12.00	8.70	10.28	0.99	331.71
20	12.30	11.60	9.50	11.07	0.90	384.58
21	10.70	12.60	8.60	10.51	0.98	346.55
22	11.70	10.80	9.50	10.63	0.91	354.67
23	10.40	11.30	8.70	10.07	0.97	318.68
24	11.80	12.60	9.20	11.10	0.94	386.92
25	12.00	11.60	9.30	10.90	0.91	372.97
26	11.80	11.10	9.20	10.64	0.90	355.57
27	11.40	13.00	9.40	11.17	0.98	391.66
28	10.90	11.20	8.80	10.24	0.94	329.37
29	10.70	10.90	8.80	10.09	0.94	319.49
30	11.60	10.50	8.90	10.27	0.89	331.35
Mean				10.62	0.94	354.24
SD				0.71	0.03	1.60

ตารางที่ ค.7 ความหนาแน่นกองของเมล็ดลำไยอบแห้ง

ซ้ำที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ความหนาแน่นกอง (กิโลกรัมต่อ/ลบ.ม.)
1	0.58459	0.001	584.59
2	0.58477	0.001	584.77
2	0.58463	0.001	584.63
Mean			585
SD			0.1

ตารางที่ ค.8 คุณสมบัติของสเตนเลสเกรด 304 (AISI 304)

Property Name	Value	Units
Elastic modulus	1.9×10^{11}	N/m^2
Poisson's ratio	029	NA
Shear modulus	7.5×10^{10}	N/m^2
Mass density	8000	kg/m^3
Tensile strength	5.1702×10^{8}	N/m^2
Yield strength	2.0681×10^{8}	N/m^2
Thermal expansion coefficient	1.8×10^{-5}	/Kelvin
Thermal conductivity	15	W/(m.K)
Specific heat	500	J/(kg.K)

ตารางที่ ค.9 ชนิดของตะแกรง

ชนิดของตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
สี่เหลี่ยม	1	3000.46	2115.29	1994.12	0.02	701.12	1.5
	2	3000.16	2157.99	2016.82	0.09	757.66	1.54
	3	3001.29	2178.05	2032.91	0.11	732.74	1.58
	เฉลี่ย	3000.6367	2150.4433	2014.6167	0.073333	730.5067	1.54
วงรี	1	3002.48	1126.29	1114.08	0.03	1604.95	4.03
	2	3001.75	1168.79	1153.23	0.01	1630.86	4.06
	3	3000.32	1145.37	1137.89	0.04	1621.27	4.08
	เฉลี่ย	3001.52	1146.82	1135.07	0.03	1619.03	4.07
วงกลม	1	3000.74	1640.24	1569.89	0.03	1203.86	3.32
	2	3000.68	1599.34	1543.99	0	1285.41	4.08
	3	3000.47	1605.16	1561.13	0.01	1212.61	3.61
	เฉลี่ย	3000.63	1614.91	1158.34	0.01	1233.96	3.67

ตารางที่ ค.10 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 1.5 mm

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
900	เล็ก (1.5 mm)	1	3,001.62	2,224.17	1,796.95	0.31	640.12	2.07
		2	3,000.31	2,239.68	1,838.29	0.35	662.18	2.20
		3	3,001.75	2,258.54	1,820.13	0.37	634.55	2.18
		เฉลี่ย	3,001.23	2,240.80	1,818.46	0.34	645.62	2.15
1,150	เล็ก (1.5 mm)	1	3,001.34	2,308.31	2,003.29	0.22	612.32	1.45
		2	3,000.08	2,182.97	1,888.41	0.17	711.93	1.49
1,150	เล็ก (1.5 mm)	3	3,001.53	2,264.29	1,952.94	0.11	680.35	1.53
		เฉลี่ย	3,000.98	2,251.86	1,948.21	0.17	668.20	1.49
1,400	เล็ก (1.5 mm)	1	3,002.04	2,452.97	2,054.37	0.16	511.87	1.50
		2	3,000.90	2,425.27	2,021.76	0.19	537.84	1.56

ตารางที่ ค.10 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 1.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
1,400	เล็ก (1.5 mm)	3	3,000.79	2,431.09	2,007.62	0.21	529.13	1.46
		เฉลี่ย	3,001.24	2,436.44	2,027.92	0.19	526.28	1.51
1,650	เล็ก (1.5 mm)	1	3,001.76	2,265.75	1,844.96	0.09	671.42	1.19
		2	3,001.23	2,258.32	1,825.09	0.07	683.56	1.23
		3	3,001.55	2,268.48	1,816.84	0.03	697.32	1.18
		เฉลี่ย	3,001.51	2264.18	1828.96	0.06	684.10	1.20
1900	เล็ก (1.5 mm)	1	3001.77	2166.55	1915.05	0.12	710.43	1.14
		2	3001.21	2181.37	1938.18	0.15	703.86	1.05
		3	3001.46	2193.95	1919.59	0.18	670.82	1.07
		เฉลี่ย	3001.48	2180.62	1924.27	0.15	695.04	1.09

ตารางที่ ค.10 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 1.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	เล็ก (1.5 mm)	1	74.11	59.87	64.48	4.56
		2	74.66	61.27	61.09	3.27
		3	75.25	60.54	62.17	3.61
		เฉลี่ย	74.67	60.59	62.58	3.81
1,150	เล็ก (1.5 mm)	1	76.92	66.75	95.53	2.68
		2	72.77	62.95	87.91	3.50
		3	75.44	65.07	88.80	1.89
		เฉลี่ย	75.04	64.92	90.75	2.69
1,400	เล็ก (1.5 mm)	1	81.72	68.43	98.13	1.23
		2	80.82	67.37	93.29	1.25
		3	81.02	66.90	99.92	1.34
		เฉลี่ย	81.19	67.57	97.11	1.28

ตารางที่ ค.10 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 1.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
1,650	เล็ก (1.5 mm)	1	75.48	61.46	114.24	2.15
		2	75.25	60.81	110.17	1.98
		3	75.58	60.53	115.35	1.19
		เฉลี่ย	75.44	60.94	113.25	1.77
1900	เล็ก (1.5 mm)	1	72.18	63.80	114.04	4.15
		2	72.69	64.58	124.66	3.86
		3	73.10	63.96	123.04	4.55
		เฉลี่ย	72.66	64.11	120.58	4.19

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
900	กลาง (3.0 mm)	1	3,001.26	2,217.09	1,888.09	0.14	643.58	1.47

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
900	กลาง (3.0 mm)	2	3,001.78	2,204.03	1,865.89	0.12	691.91	1.39
		3	3,001.65	2,185.10	1,836.41	0.16	705.84	1.33
		เฉลี่ย	3,001.56	2,202.07	1,863.46	0.14	680.44	1.40
1,150	กลาง (3.0 mm)	1	3,002.06	2,258.64	1,657.09	0.06	703.04	1.51
		2	3,001.51	2,219.37	1,637.54	0.07	746.67	1.55
		3	3,001.25	2,227.26	1,616.07	0.04	739.84	1.53
		เฉลี่ย	3,001.61	2,235.09	1,636.90	0.06	729.85	1.53
1,400	กลาง (3.0 mm)	1	3,001.34	2,171.97	1,851.74	0.05	738.11	1.26
		2	3,001.28	2,203.38	1,872.11	0.06	745.32	1.29
		3	3,001.25	2,227.26	1,915.41	0.03	739.84	1.32
		เฉลี่ย	3,001.29	2,200.87	1,879.75	0.05	741.09	1.29
1,650	กลาง (3.0 mm)	1	3,002.10	2,179.87	1,682.03	0.20	704.32	1.41
		2	3,001.35	2,163.41	1,651.97	0.05	710.28	1.44
		3	3,000.54	2,145.40	1,637.42	0.07	728.04	1.46

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
1,650	กลาง (3.0 mm)	เฉลี่ย	3,001.33	2,162.89	1,657.14	0.11	714.21	1.44
1,900	กลาง (3.0 mm)	1	3,001.06	2,224.01	1,710.29	0.05	735.70	1.09
		2	3,001.59	2,136.71	1,635.16	0.09	769.32	1.20
		3	3,001.71	2,057.65	1,563.98	0.14	824.93	1.14
		เฉลี่ย	3,001.45	2,139.46	1,636.48	0.09	776.65	1.14

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	กลาง (3.0 mm)	1	73.88	62.91	90.50	4.68
		2	73.43	62.16	95.14	3.52
		3	72.80	61.18	98.58	3.68
		เฉลี่ย	73.37	62.08	94.74	3.96

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
1,150	กลาง (3.0 mm)	1	75.24	55.20	89.75	1.34
		2	73.94	54.56	85.91	1.18
		3	74.21	53.85	87.35	1.14
		เฉลี่ย	74.46	54.53	87.67	1.22
1,400.00	กลาง (3.0 mm)	1	72.37	61.70	103.43	3.04
		2	73.42	62.38	102.49	1.75
		3	74.21	63.82	101.24	1.14
		เฉลี่ย	73.33	62.63	102.39	1.98
1,650	กลาง (3.0mm)	1	72.62	56.03	92.77	3.92
		2	72.08	55.04	90.14	4.25
		3	71.50	54.57	88.17	4.23
		เฉลี่ย	72.07	55.21	90.36	4.14
1,900	กลาง (3.0mm)	1	74.11	56.99	122.43	1.38
		2	71.19	54.48	106.84	3.18
		3	68.55	52.10	108.30	3.96

ตารางที่ ค.11 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 3.0 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
1,900	กลาง (3.0mm)	เฉลี่ย	71.28	54.52	112.52	2.84

ตารางที่ ง.12 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 4.5 mm

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
900	ใหญ่ (4.5 mm)	1	3,001.79	1,187.44	1,062.45	0.02	1,698.55	1.28
		2	3,000.91	1,192.47	1,088.01	0.05	1,763.81	1.34
		3	3,001.51	1,190.68	1,059.32	0.03	1,759.11	1.33
		เฉลี่ย	3,001.40	1,190.20	1,069.93	0.03	1,740.49	1.32
1,150	ใหญ่ (4.5 mm)	1	3,001.72	1,352.50	1,005.13	0.03	1,637.76	1.36
		2	3,001.24	1,428.34	1,065.29	0.04	1,511.48	1.39
		3	3,001.95	1,468.42	1,034.51	0.02	1,470.96	1.44

ตารางที่ ง.12 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 4.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	น้ำหนักเมล็ดลำไยแห้งทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยไม่รวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเนื้อในเมล็ดลำไยที่แตกหักรวมเปลือก (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกเปลือก (นาที)
1,150	ใหญ่ (4.5 mm)	เฉลี่ย	3,001.64	1,416.42	1,034.98	0.03	1,540.07	1.40
1,400	ใหญ่ (4.5 mm)	1	3,001.11	1,283.37	1,139.43	0.03	1,665.25	1.35
		2	3,001.45	1,289.73	1,116.15	0.07	1,673.57	1.42
		3	3,001.38	1,276.23	1,146.49	0.06	1,689.41	1.51
		เฉลี่ย	3,001.31	1,283.11	1,134.02	0.05	1,676.08	1.43
1,650	ใหญ่ (4.5 mm)	1	3,001.77	1,106.41	952.20	0.03	1,852.79	1.01
		2	3,001.32	1,149.14	934.45	0.04	1,815.36	1.12
		3	3,000.76	1,171.12	995.47	0.05	1,782.19	1.18
		เฉลี่ย	3,001.28	1,142.22	960.71	0.04	1,816.78	1.10
1,900	ใหญ่ (4.5 mm)	1	3,001.99	1,226.70	976.90	0.02	1,720.28	0.58
		2	3,001.57	1,339.85	1,038.13	0.05	1,627.63	1.01
		3	3,002.10	1,362.74	1,078.05	0.07	1,593.76	0.54
		เฉลี่ย	3,001.89	1,309.76	1,031.03	0.05	1,647.22	0.71

ตารางที่ ง.12 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 4.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
900	ใหญ่ (4.5 mm)	1	39.56	35.39	53.17	3.86
		2	39.74	36.26	53.80	1.49
		3	39.67	35.29	53.72	1.72
		เฉลี่ย	39.66	35.65	53.56	2.35
1,150	ใหญ่ (4.5 mm)	1	45.06	33.49	59.67	0.38
		2	47.59	35.49	61.66	2.05
		3	48.92	34.46	61.19	2.08
		เฉลี่ย	47.19	34.48	60.84	1.50
1,400	ใหญ่ (4.5 mm)	1	42.76	37.97	57.04	1.75
		2	42.97	37.19	54.50	1.27
		3	42.52	38.20	50.71	1.19
		เฉลี่ย	42.75	37.78	54.08	1.40

ตารางที่ ง.12 ผลของความเร็วรอบการกะเทาะต่อสมรรถนะการแยกเนื้อในเมล็ดลำไยเมื่อใช้ตะแกรงขนาดเล็กหรือขนาด 4.5 mm (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดตะแกรง	ซ้ำที่	ประสิทธิภาพการแยก (%)	ประสิทธิผลการแยก (%)	อัตราการทำงาน (kg/hr)	การตกค้าง (%)
1,650	ใหญ่ (4.5mm)	1	36.86	31.72	65.73	1.42
		2	38.29	31.13	61.56	1.23
		3	39.03	33.17	59.55	1.58
		เฉลี่ย	38.06	32.01	62.28	1.41
1,900	ใหญ่ (4.5mm)	1	40.86	32.54	126.90	1.83
		2	44.64	34.59	79.60	1.13
		3	45.40	35.91	151.42	1.52
		เฉลี่ย	43.63	34.35	119.31	1.49

ง. การนำเสนอผลงานวิชาการ

การประชุมงานวิชาการ “ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับนานาชาติครั้งที่ 13 และการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 21” ซึ่งงานประชุมได้จัดขึ้น ณ โรงแรมแคนทารีโคราช อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างวันที่ 30 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2563

เรื่องที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ “เครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย”

TSAE 2020

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 21

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

มาศรุจ พงษ์เทียน

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการระดับชาติ ภาคบรรยาย

เรื่อง “เครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย”

วันที่ 30-31 กรกฎาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

(นางดาเรศร์ กิตติโยภาส)
นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงษ์ แพสุวรรณ)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ
ครั้งที่ 21 วันที่ 30 – 31 กรกฎาคม 2563
จัดประชุมโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

เครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไย

Separator longan cotyledon device

มาศรุจ พงษ์เทียน[1]*, บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร[1], เสมอชวัญ ตันติกุล[1], สุเนตร สืบค้า[1]
Masarud Phongtean[1]*, Bandit Hirunstiporn[1], Samerkhwan Tantikul[1], Sunate Surbkar

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, จังหวัดเชียงใหม่, 50290
Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290
**Corresponding author: E-mail: masarudeden@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทำงานของเครื่องแยกเนื้อในเมล็ดลำไยออกจากเมล็ด การออกแบบเครื่องแยกเนื้อในประกอบไปด้วย โครงสร้างเครื่อง กลไกการกะเทาะ และกลไกการคัดแยก การทำงานของเครื่องเริ่มจากการป้อนเมล็ดลำไยลงไปในช่องป้อนเมล็ดลำไย หลังจากนั้นเมล็ดลำไยจะถูกลำเลียงเข้าไปโดยเพลาลำเลียงเมล็ดเพื่อไปยังห้องกะเทาะ เมล็ดลำไยที่ถูกกะเทาะจะถูกลำเลียงออกมาด้านหน้าของเครื่อง ผลจากการศึกษาขนาดของตะแกรงกะเทาะ (เล็ก, กลางและใหญ่) และความเร็วรอบในการกะเทาะ 900, 1,150, 1,400, 1,650, และ1,900 rpm ต่อสมรรถนะการทำงาน พบว่าเครื่องทำงานที่ดีที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,400 rpm ตะแกรงขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพการแยกอยู่ที่ 81.19 % มีประสิทธิผลการแยกอยู่ที่ 37.78 % มีความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 97.11 kg hr^{-1} มีเปอร์เซ็นการตกค้างภายในเครื่อง 1.28 %

คำสำคัญ: การแยกเชิงกล; เมล็ดลำไย; วัตถุดิบอาหารสัตว์

Abstract

This paper presents the operation of separator of longan cotyledon from seed. The design of the separator consists of structure cracking mechanism and the separation mechanism. The operation of the machine started by feeding longan seeds into the longan seed feeder after that, the longan seeds were transported by the shaft to transport the seeds to the chambers. The broken longan seeds were be conveyed to the front of the machine. The results of the study of the size of crackers (small, medium and large) and the speed of cracking 900, 1,150, 1,400, 1,650, and 1,900 rpm on the performance found that the machine worked best at a speed of 1,400 rpm. The small sieve gave the separation efficiency is 81.18% the separation efficiency is 37.78% and the working capacity was 97.11 kg hr^{-1}. There was 1.28% of residual percentage in the separator.

Keywords: Machanic separation; longan seeds; Animal food material

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่นิยมเพาะปลูกในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร แสดงให้เห็นว่ามีการเพาะปลูกที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) นอกเหนือจากการผลิตและบริโภคภายในประเทศแล้ว ลำไยยังถือเป็นผลไม้ที่นิยมส่งออกเป็นลำดับต้น ๆ ซึ่งสร้างชื่อเสียงและรายได้แก่ประเทศ ลำไยที่ส่งออกนั้นจะเป็นในรูปแบบทั้งสดและแห้ง แต่การแปรรูปนั้นมีของเหลือทิ้งคือเปลือกและเมล็ด บัวเรียมและคณะ (2554) ทำการศึกษาและวิจัย พบว่าเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากสารอาหารภายในของตัวเมล็ดเองนั้นสามารถให้คุณค่าได้เพียงพอหรือใกล้เคียงกับอาหารสัตว์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด ผลของการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่า ใน

เมล็ดลำไยมีโปรตีนรวมและไขมันรวมน้อยกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 6.50 กับ 7.20% และ 1.94 กับ 2.34% ตามลำดับ ส่วนปริมาณเยื่อใยรวมของเมล็ดลำไยมีค่าสูงกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 8.33 กับ 3.58% ตามลำดับ และพลังงานที่สามารถย่อยให้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ของเมล็ดลำไยมีค่าน้อยกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย คือ 3,365 กับ 3,712 cal kg^{-1} ตามลำดับ จึงได้นำเมล็ดมาใช้ประโยชน์คือการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ระบุราคาขายส่งอาหารสัตว์ปีกสำเร็จรูปแบบผงอยู่ที่ 474 บาทต่อ 30 kg และอาหารสัตว์สำเร็จรูปแบบเม็ดอยู่ที่ 502 บาทต่อ 30 kg (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) หากเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์นำอาหารสัตว์สำเร็จรูปไปแบ่งผสมกับเนื้อในเมล็ดลำไย โดยราคาเมล็ดลำไยจะอยู่ที่กิโลกรัมละ 5-10 บาท (อุษณีย์, 2551) ราคาหลังการกะเทาะเอาเนื้อในเมล็ดลำไยอยู่ที่กิโลกรัมละ 8- 12 บาท นอกจากจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์แล้ว ยังสามารถเพิ่มมูลค่าเมล็ดลำไยให้กับเกษตรกลุ่มแปรรูปให้มีรายได้สูงขึ้น การใช้ประโยชน์เนื้อในเมล็ดลำไยเพื่อเป็นวัตถุอาหารสัตว์นั้น จะต้องมีการแยกเปลือกของเมล็ดลำไยออกก่อน เหลือไว้แค่เพียงเนื้อด้านใน แต่เนื่องจากการแยกเปลือกเมล็ดลำไยออกนั้นทำได้ยากเนื่องจากมีการยึดเกาะระหว่างเปลือกและเนื้อด้านใน จึงได้คิดค้นเครื่องกะเทาะเนื้อในเมล็ดไยเพื่อให้ใช้งานได้อย่างสะดวก ประหยัดเวลาเหมาะสำหรับครัวเรือนหรือชุมชนขนาดเล็ก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบเครื่องแยกเปลือกเมล็ดลำไย
2. เพื่อศึกษาขนาดของตะแกรงและความเร็วรอบ

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบโครงสร้าง

ถังป้อน (hopper) มีไว้สำหรับรองรับเมล็ดลำไยก่อนป้อนเข้าสู่ส่วนกะเทาะสามารถรองรับเมล็ดลำไยได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม โดยจะมีแผ่นกั้นที่สามารถเพิ่มและลดปริมาณเมล็ดลำไยที่จะป้อนเข้าส่วนกะเทาะได้ (Figure 1)

Figure 1. Hopper

เพลาเครื่องขบ (Figure 2) เป็นกลไกที่ใช้ในการลำเลียงเมล็ดลำไยไปยังส่วนกลไกการกะเทาะ โดยจะใช้เกลียวลำเลียงเมล็ดลำไยจากถังรองรับเมล็ดลำไยที่อยู่ส่วนบนของเครื่องไปยังเพลากะเทาะต่อไป

Figure 2. Shaft grinder

กลไกการกะเทาะ

ในการกะเทาะเมล็ดลำไยจะใช้การหมุนของเพลากะเทาะ ทำให้เมล็ดลำไยไปกระทบกับผิวของตะแกรง ทำให้เกิดแรงกดไปพร้อมกับเกิดแรงเสียดสี ทำให้เปลือกเมล็ดลำไยและเนื้อเมล็ดลำไยแยกออกจากกัน ซึ่งลักษณะของรูตะแกรงจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกะเทาะเมล็ดลำไยอย่างมาก ดังนั้นตะแกรงจะต้องมีขนาดและลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการทำการกะเทาะเพื่อให้ได้ ประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่ โดยมีตะแกรงอยู่ 3 ขนาด คือ ตะแกรงขนาดเล็ก (1.5 mm) (Figure 3) ตะแกรงกลาง (3.0 mm) (Figure 4) และตะแกรงใหญ่ (4.5 mm) (Figure 5)

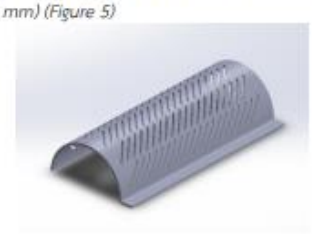


Figure 3. Small sieve

Figure 4. Medium sieve

Figure 5. Large sieve

กลไกการคัดแยก

เมล็ดลำไยเมื่อผ่านการกะเทาะแล้วจะได้เปลือกและเนื้อในเมล็ดลำไย ทั้งสองส่วนจะตกลงบนถาดรองรับด้านล่างของห้องกะเทาะ ถาดรองรับจะบังคับเนื้อในเมล็ดลำไย และเศษเปลือกเมล็ดลำไยที่ตกลงมาจากการกะเทาะให้ไหลลงเป็นแนวหน้ากระดานตัดกับการเคลื่อนที่ของลมในปล่องลม เปลือกซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กจะถูกกระแสลมดูดลงมาทางช่องออกของเปลือก ซึ่งพัดลมจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า 220 V ขนาด 2 hp ส่งกำลังผ่านพู่เลย์และสายพาน ส่วนเนื้อในซึ่งหนักกว่าและมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมจะถูกกระแสลมพัดไปได้ระยะหนึ่งแล้วจะตกลงบนพื้นเอียงของปล่องลม ซึ่งมีความเร็วของกระแสลมน้อยทำให้ เนื้อในของเมล็ดลำไยจะสามารถกลิ้งย้อนกลับกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมได้ เนื้อในจะเคลื่อนที่ออกทางช่องออกของเนื้อในบริเวณด้านหน้าของเครื่องกะเทาะ

การออกแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดลำไย

การเลือกขนาดล้อสายพาน ล้อสายพานหรือพู่เล่ย์ (Pulley) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับการถ่ายทอดกำลังเชิงกลจากสายพานโดยล้อสายพานหรือพู่เล่ย์จะมีร่องสำหรับเกี่ยวสายพานอยู่ เมื่อทราบรอบการหมุนของเพลาที่เหมาะสมของการกะเทาะ (ทั้งตัวขับและ ตัวตาม) แล้ว สามารถกำหนดขนาดของพูเล่ย์ขับ และหาขนาดของพูเล่ย์ที่เป็นตัวตามได้จากสมการ (1)

$$\frac{d}{D} = \frac{N}{n} \qquad (1)$$

เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวขับ (6 in.)
n = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวขับ (1495 rpm)
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวตาม (in.)
N = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวตาม (800 rpm)

จาก $$\frac{6}{D} = \frac{800}{1495}$$

$D = 11.21$ in. (เลือก 12 in. หรือ 304.8 mm)

แรงบิด (Torque) คือ แรงหมุนของเพลา เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าไปหมุนเพลากะเทาะ แรงบิดสามารถหาได้จากสมการ (2)

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \qquad (2)$$

เมื่อ P = กำลังที่ต้องการส่ง (1.5 kW)
T = แรงบิดเพลาส่งกำลัง (N.m)
N = ความเร็วรอบ (800 rpm)
π = ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์โดยมีค่าประมาณ (3.14)

จาก $$T = \frac{1,500 \times 60}{2 \times 3.14 \times 800}$$

$T = 17.91$ N.m

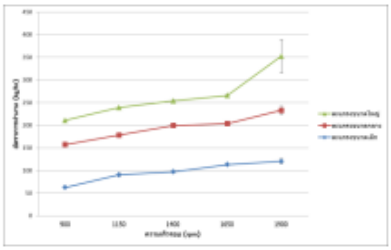


Figure 9 working capacity

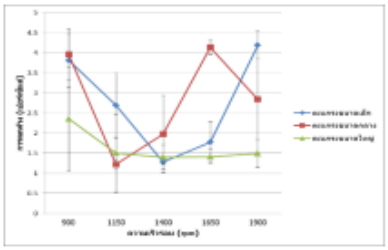


Figure 10. residual

วิจารณ์

ขนาดของตะแกรงเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการแยกลดลง ความเร็วรอบในการกะเทาะสูงจะทำให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้น แต่การตกค้างที่ดีที่สุดไปได้ขึ้นอยู่กับขนาดของตะแกรงและความเร็วรอบ

สรุป

ความเร็วรอบการกะเทาะเมล็ดลำไยที่ 1,400 รอบต่อนาทีให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพการแยก 81.72 % มีประสิทธิผลการแยกอยู่ที่ 37.78 % อัตราการทำงาน 97.11 กิโลกรัม/ชั่วโมง การตกค้าง 1.28 % ขนาดตะแกรงที่ใช้คือขนาดเล็ก แต่การตกค้างและประสิทธิผลที่ดีที่สุดอยู่ที่ตะแกรงขนาดกลาง ที่ความเร็วรอบ 1,150 และ 1,400 รอบต่อนาที การตกค้างอยู่ที่ 1.22 % ประสิทธิผลอยู่ที่ 62.63 %

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุเนตร สืบค้า, รศ.ปัณฑิต หิรัญสถิตย์พร, รศ.เสมอขวัญ ค้นคิกุล ที่ช่วยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้ความรู้

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกาตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). เศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี (2561). "พื้นที่การเพาะปลูกและผลผลิตลำไย." กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 9 from http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/longan 61.pdf

อุษณีย์ วินิพเชตคำนวณ. (2551). "สารสกัดพิเศษจากเมล็ดลำไย." from https://www.dailynews.co.th/article/189731

บัวเรียม มณีวรรณ์, ทองเลียบ บัวจูม, เผ่าพงษ์ ปุระณะพงษ์และโยธิน นับตา. (2554). "การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยในไก่พื้นเมือง." การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 7.

รชต สุวิทย์ชยาบนท์. 2561. การศึกษากลไกการแยกเปลือกเมล็ดลำไย. ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, จังหวัดเชียงใหม่.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายมาศรุจ พงษ์เทียน
เกิดเมื่อ	08 สิงหาคม 2534
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญาตรี สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีเทพประชาสรรค์ จังหวัดเพชรบูรณ์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) โรงเรียนพุขามครุฑมณีอุทิศ จังหวัดเพชรบูรณ์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (ม.1,2) โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จศรีนครินทร์ จังหวัดลพบุรี ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการทำงาน	-