การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

วิทยานิพนธ์

ของ

ภาณุวัฒน์ ขามประไพ

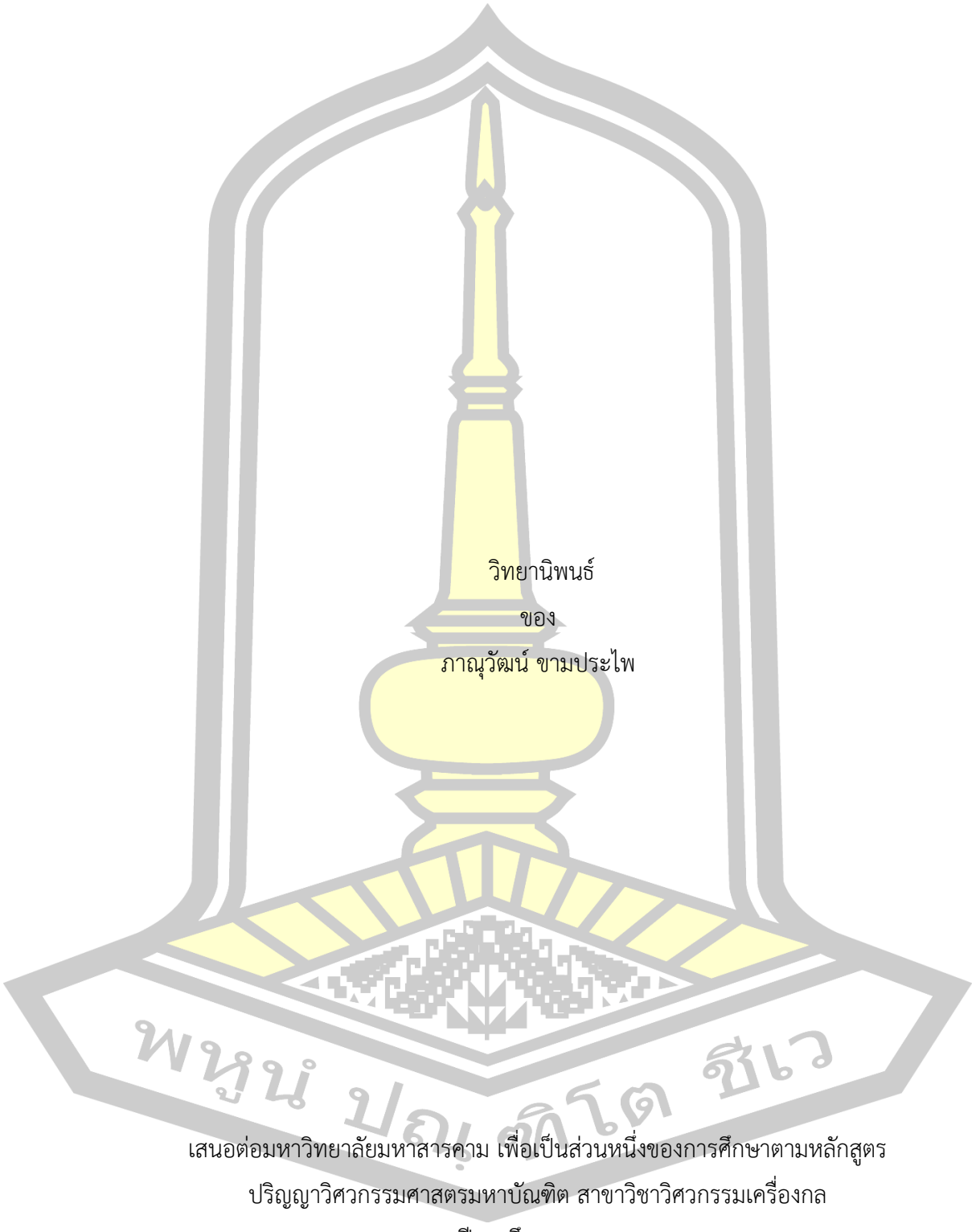
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา



วิทยานิพนธ์

ของ

ภาณุวัฒน์ ขามประไพ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Desing and Developmant of a shelling and cleaning machine for the Inca Peanuts

Panuwat Khamprapai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

Academic Year 2018

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายภาณุวัฒน์ ขามประไพ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. เสรี วงส์พิเชษฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. สุพรรณ ยั่งยืน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. ดร. จักรมาส เลาหวณิช)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. วสันต์ ด้วงคำจันทร์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา
ผู้วิจัย ภาณุวัฒน์ ขามประไพ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลาหวณิช
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีการศึกษา** 2561

บทคัดย่อ

ถั่วดาวอินคาเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมปลูกและแปรรูปอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และกำลังเป็นที่ต้องการของตลาด AEC การกะเทาะเปลือกถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมเมล็ดเพื่อการแปรรูป แต่เนื่องจากถูกจำกัดด้วยเรื่องของรูปร่าง อีกทั้งเปลือกมีด้วยกันถึง 3 ชั้น ดังนั้นจึงถือได้ว่าขั้นตอนการกะเทาะเปลือกเป็นคอขวดอย่างมากในกระบวนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาเป็นเมล็ดใน โดยการศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพ การออกแบบและสร้าง และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องกะเทาะ สำหรับเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ชุดกะเทาะฝัก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกะเทาะ 320 มิลลิเมตร จำนวนแถบทั้งหมด 4 แถบ ซึ่งติดตั้งทำมุมกัน 90 องศา ตามแนวรัศมี ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล โดยอาศัยหลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องกะเทาะ 500 มิลลิเมตร และชุดทำความสะอาดโดยใช้ลมดูดและตะแกรงโยก จากการทดสอบพบว่า ชุดกะเทาะฝักทำงานที่ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 270 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะและตะแกรง 20 มิลลิเมตร และช่องทางออก 2x8 เซนติเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกะเทาะ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 81.59 เปอร์เซ็นต์ ได้เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดเป็น 62.23 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก 3.26 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 70.22 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เครื่องทำความสะอาดฝักทำงานที่ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยว 520 รอบต่อนาที ความเร็วลม 2.8 เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเฉลี่ยอยู่ที่ 97.83 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 2.17 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเฉลี่ยอยู่ที่ 11.61 เปอร์เซ็นต์ เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ชนิดจานหมุนเหวี่ยงแบบ 45 องศา เป้ากระทบแบบพื้นเหล็กเรียบ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยอยู่ที่ 78.93 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็ม 50.07 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย 7.33 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก

ชิ้นเล็กชิ้นน้อย 3.79 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 220.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยว 440 รอบต่อนาที ความเร็วลม 2.8 เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเฉลี่ยอยู่ที่ 98.15 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 1.85 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเฉลี่ยอยู่ที่ 30.92 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของชุดกะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,917.83 กิโลกรัมต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 7.81 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 6,400.15 บาท/ปี โดยคิดค่าใช้จ่ายในการกะเทาะที่ 5 บาทต่อกิโลกรัม การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของชุดกะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดใน พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,495.88 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 7.78 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 10,285.71 บาท/ปี โดยคิดค่าใช้จ่ายในการกะเทาะที่ 10 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ : ถั่วดาวอินคา, เครื่องกะเทาะ, เครื่องทำความสะอาด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE Desing and Developmant of a shelling and cleaning machine for the Inca Peanuts

AUTHOR Panuwat Khamprapai

ADVISORS Assistant Professor Supan Yangyuen , Ph.D.

Assistant Professor Juckamas Laohavanich , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2018

ABSTRACT

Inca peanut is a new economic crop with increasing popularity across Thailand, both for plantation and processing. It is also in high demand in the AEC markets. Shelling is an important step in the preparation of the seeds processing. However, due to the limitation of the shapes and the fact that the seeds have three layers, the shelling process is often a major impediment of the production process. Therefore, this research aims at designing and constructing a shelling and cleaning machine for Inca peanuts, which are kernels. The study comprises 3 parts: a study of the physical properties, the design and construction, and a performance test for the shelling machine. The shelling and cleaning machine was made up of 3 primary parts, which were the shelling a pod set. The shelling set had a diameter of 320 mm. with a ball length of 430 mm. There were 4 straps placed at a 90-degree angle adjacent to the radius. the shelling nut set. The principle of centrifugal force was applied to this machine. The shelling set had a diameter of 500 mm. And the cleaning unit has a blower and a vibrating screen. The test revealed that the shelling a pod works at a shaft speed of 270 rpm. The clearance of 20 mm. with the outlet of 2.0x8.0 cm. This was an appropriate condition for shelling with an average shelling efficiency percentage of 81.59 %. Percentage of Whole nut at 62.23 %; Percentage of broken nut at 3.26 %; The working capacity was 70.22 kg/hr. The cleaning a pod works at a shaft speed of 520 rpm. The air velocity of 2.8 m/s. This was an appropriate condition for cleaning with an average cleaning efficiency percentage was

97.83 % the hull residue was about 2.17 % and the seed loss into air outlet was about 11.61 %. The shelling nut works at the shaft speed of 700 RPM, at the disc impeller angle of 90 degrees and steel-type impact target. This was an appropriate condition for shelling with an average shelling efficiency percentage of 78.39 %. Percentage of Whole kernel at 50.07 %; Percentage of broken small damage kernels at 7.33 %; Percentage of broken pieces kernels at 3.79 %; The working capacity was 220.24 kg/hr. And the cleaning nut works at a shaft speed of 440 rpm. The air velocity of 2.8 m/s. This was an appropriate condition for cleaning with an average cleaning efficiency percentage was 98.15 % the hull residue was about 1.85 % and the seed loss into air outlet was about 30.92 %. The Engineering economics analysis of shelling nut set revealed that the break-even point, payback period and net benefit based on shelling cost at 5 baht/kg were at 1,917.83 kg/y. shelling rate, 7.81 y. and 6,400.15 baht/y. The Engineering economics analysis of shelling kernels set revealed that the break-even point, payback period and net benefit based on shelling cost at 5 baht/kg were at 1,495.88 kg/y. shelling rate, 7.78 y. and 10,285.71 baht/y.

Keyword : Inca peanuts, Shelling machine, Cleaning machine

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจาก โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปี 2559 โดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลหวณิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ คำแนะนา ตลอดทั้งกำลังใจแก่ผู้วิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี วงส์พิเชษฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วสันต์ ด้วงคำจันทร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณศักดิ์ดา วิชาชัย ประธานกรรมการ บริษัท ศักดิ์ดา ซาซ่า อินชิ อินคา (ประเทศไทย) จำกัด 22 หมู่ที่ 5 ตำบลเหล่ากลาง อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่กรุณาให้ข้อมูลต่างๆ และอนุเคราะห์สถานที่ในการทดสอบ ตลอดจนคำแนะนำเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท และน้องๆ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้าง การทดสอบ และอุปกรณ์ในการทดสอบจนทำให้วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่งอย่างด้วยดี จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

หากเนื้อหาและข้อมูลต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษาและทำการวิจัยอื่นๆ ผู้จัดทำขอยกคุณความดีทั้งหลายนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ท้ายที่สุด หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ภาณุวัฒน์ ขามประไพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฑ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 4

1.3 ขอบเขตการศึกษา 4

1.3.1 ตัวแปรควบคุม 4

1.3.2 ตัวแปรต้น 4

1.3.3 ตัวแปรตาม 5

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา 7

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วดาวอินคา 7

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคา 8

2.1.3 การปลูกถั่วดาวอินคา 9

2.1.4 การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคา 9

2.1.5 ประโยชน์ของถั่วดาวอินคา 9

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืชที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรกล 10
2.2.1 ความชื้น 11
2.2.2 รูปร่างและขนาด 12
2.2.3 เกณฑ์อธิบายรูปร่างและขนาด 12
2.2.4 ความกลม 14
2.2.5 ความหนาแน่น 14
2.2.6 ความเสียดทาน 15
2.3 หลักการกะเทาะเปลือกของเมล็ดพืช 16
2.3.1 เครื่องกะเทาะแบบลูกยาง (rubber roll huller) 16
2.3.2 เครื่องกะเทาะแบบจานหิน (the under runner disc huller, or disc huller) 17
2.3.3 เครื่องกะเทาะแบบลูกเหล็ก (engelberg) 17
2.3.4 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal huller) 18
2.3.5 เครื่องกะเทาะโดยอาศัยหลักการผลต่างความเร็วลม 19
2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 19
2.4.1 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้น 19
2.4.2 จุดคุ้มทุน 20
2.4.3 ระยะเวลาคืนทุน 21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคาและเมล็ดพืชอื่น 21
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกะเทาะและทำความสะอาดเมล็ดพืช 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 34
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา 35
3.1.1 การหาขนาดและรูปร่าง 35

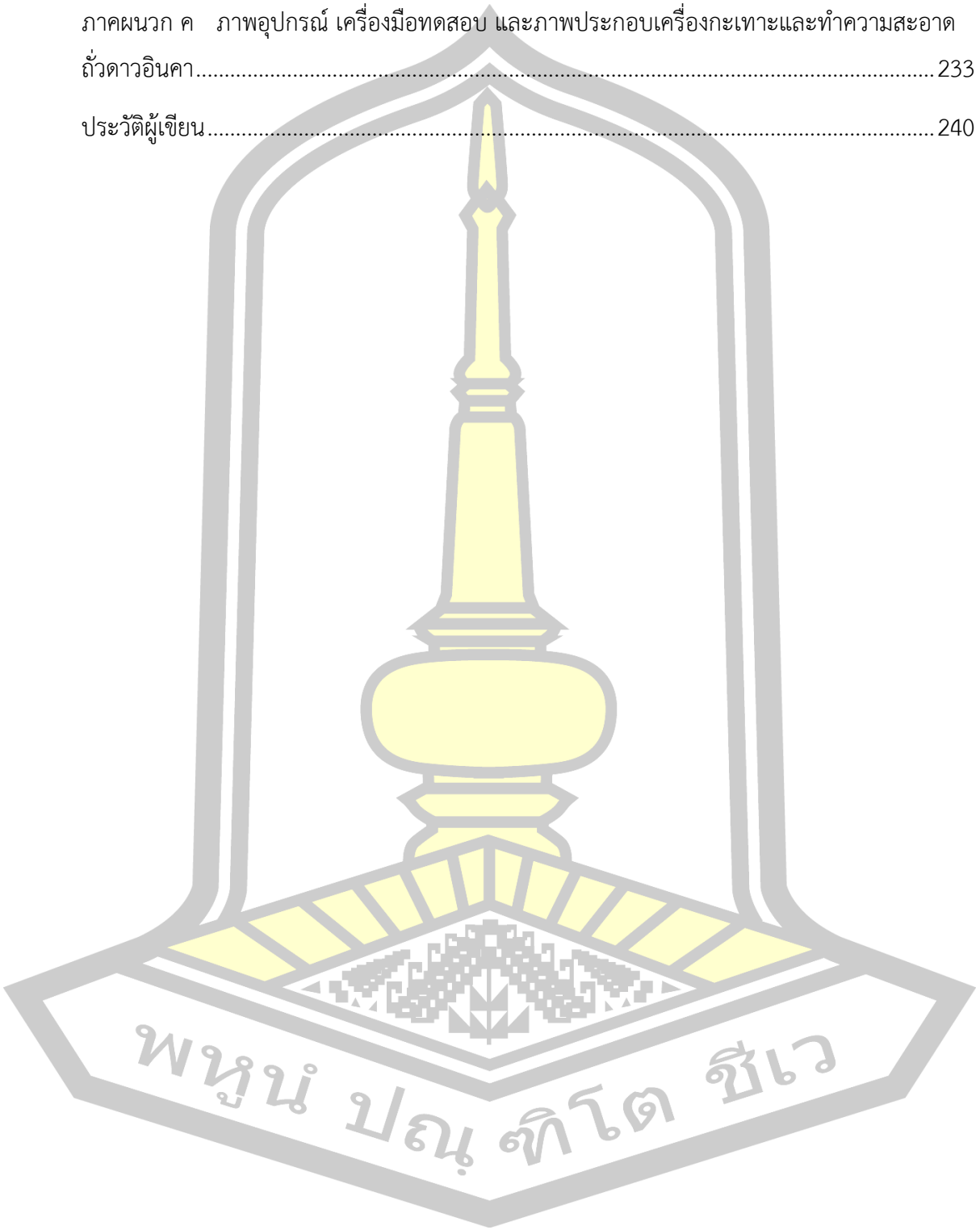
3.1.2 การหาน้ำหนักต่อเมล็ด 36
3.1.3 การหาความหนาแน่น 36
3.1.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ 37
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะ และทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 37
3.2.1 การเลือกหลักการการทำงานที่เหมาะสม 37
3.2.2 การออกแบบและสร้างชุดทดสอบการกะเทาะ และชุดทำความสะอาดถั่วดาวอินคา .. 37
3.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 42
3.3.1 การวางแผนการทดสอบการทำงาน 42
3.3.2 การทดสอบการทำงาน 45
3.3.3 ประเมินและรายงานสรุปผลการดำเนินการ 52
3.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 53
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคา 53
4.1.1 ผลการศึกษาขนาดและรูปร่างของถั่วดาวอินคา 53
4.1.2 ผลการศึกษาน้ำหนักต่อเมล็ดและอัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก .. 55
4.1.3 ผลการศึกษาความชื้นถั่วดาวอินคา 56
4.1.4 ผลการศึกษาความหนาแน่นของถั่วดาวอินคา 57
4.1.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ 57
4.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 59
4.2.1 ผลการเลือกหลักการการทำงานที่เหมาะสม 59
4.2.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 59
4.3 ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 63
4.3.1 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝัก 63
4.3.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดทำความสะอาดฝัก 69

4.3.3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 72
4.3.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 79
4.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 82
4.4.1 กะเทาะจากฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล 83
4.4.2 กะเทาะจากฝักให้เป็นเมล็ดใน 90
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 99
5.1 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา 99
5.2 สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 100
5.2.1 ชุดกะเทาะฝัก 100
5.2.2 ชุดทำความสะอาดฝัก 100
5.2.3 ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 100
5.2.4 ชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 101
5.3 สรุปผลการทดสอบเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 101
5.3.1 เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา 101
5.3.2 เครื่องทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา 101
5.3.3 เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 102
5.3.4 เครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 102
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 103
5.4.1 กะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล 103
5.4.2 กะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดใน 103
5.5 ข้อเสนอแนะ 103
บรรณานุกรม 104
ภาคผนวก 107
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคา 108

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 134

ภาคผนวก ค ภาพอุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบ และภาพประกอบเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา..... 233

ประวัติผู้เขียน..... 240



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 รูปร่างวัตถุต่างๆ และคำอธิบาย 12
ตาราง 2.2 ตารางสรุปคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเมล็ดถั่วดาวอินคา 23
ตาราง 2.3 ตารางสรุปหลักการการกะเทาะและการประเมินผล 31
ตาราง 4.1 ขนาดฝักถั่วดาวอินคา 54
ตาราง 4.2 ขนาดผลย่อยถั่วดาวอินคา 54
ตาราง 4.3 ขนาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา 55
ตาราง 4.4 ขนาดเมล็ดในถั่วดาวอินคา 55
ตาราง 4.5 ผลการศึกษาน้ำหนักต่อเมล็ดและอัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก 56
ตาราง 4.6 ความชื้นถั่วดาวอินคา 56
ตาราง 4.7 ความหนาแน่นของถั่วดาวอินคา 57
ตาราง 4.8 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของฝักถั่วดาวอินคา 58
ตาราง 4.9 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของเมล็ดน้ำตาล 58
ตาราง 4.10 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของเมล็ดใน 59
ตาราง 4.11 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝัก 65
ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดกะเทาะฝัก 66
ตาราง 4.13 ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา 70
ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดทำความสะอาดฝัก 70
ตาราง 4.15 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 74
ตาราง 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 75
ตาราง 4.17 ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 80
ตาราง 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 80
ตาราง 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 87
ตาราง 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 95

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา 2
ภาพประกอบ 1.2 วิธีการกะเทาะเมล็ดถั่วดาวอินคาเพื่อแปรรูป 3
ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วดาวอินคา [7] 8
ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะทั่วไปของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคา 8
ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะการปลูกถั่วดาวอินคา [7] 9
ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างมาตรฐานแผนภาพอธิบายรูปร่างผักผลไม้ [8] 13
ภาพประกอบ 2.5 ตัวอย่างมาตรฐานแผนภาพอธิบายรูปร่างผักผลไม้ [8] 13
ภาพประกอบ 2.6 ภาพอธิบายนิยามความมนและความกลม [8] 14
ภาพประกอบ 2.7 อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม [9] 15
ภาพประกอบ 2.8 ลักษณะการทำงานของเครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งยาง [11] 16
ภาพประกอบ 2.9 เครื่องกะเทาะแบบจานหิน [10] 17
ภาพประกอบ 2.10 เครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งเหล็ก [10] 18
ภาพประกอบ 2.11 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยง [10] 18
ภาพประกอบ 2.12 หลักการทำงานของการกะเทาะเปลือกโดยใช้ผลต่างความเร็วลม [11] 19
ภาพประกอบ 2.13 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [5] 25
ภาพประกอบ 2.14 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [11] 26
ภาพประกอบ 2.15 เครื่องกะเทาะเมล็ดทานตะวัน [10] 26
ภาพประกอบ 2.16 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [18] 27
ภาพประกอบ 2.17 เครื่องกะเทาะลูกเดือยขนาดเล็ก [19] 28
ภาพประกอบ 2.18 ชุดทำความสะอาดและชุดคัดแยกแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน [19] 28
ภาพประกอบ 2.19 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม [4] 29
ภาพประกอบ 2.20 เครื่องกะเทาะเชียนัท [20] 30
ภาพประกอบ 2.21 เครื่องกะเทาะสบู่ดำแบบกึ่งอัตโนมัติ [21] 30
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 34

ภาพประกอบ 3.2 การวัดขนาดถั่วดาวอินคา 35
ภาพประกอบ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 38
ภาพประกอบ 3.4 ส่วนประกอบของเครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา 39
ภาพประกอบ 3.5 ส่วนประกอบของเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 40
ภาพประกอบ 3.6 ส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาด 42
ภาพประกอบ 3.7 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดกะเทาะฝัก 43
ภาพประกอบ 3.8 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดทำความสะอาดฝัก 43
ภาพประกอบ 3.9 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 44
ภาพประกอบ 3.10 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล 44
ภาพประกอบ 4.1 ชุดกะเทาะฝัก 60
ภาพประกอบ 4.2 ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล 61
ภาพประกอบ 4.3 ลักษณะจานเหวี่ยง 61
ภาพประกอบ 4.4 ลักษณะของเป้ากระทบ 62
ภาพประกอบ 4.5 ชุดทำความสะอาดถั่วดาวอินคา 63
ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ 64
ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานและเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร 67
ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มและเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร 68
ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหักและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร 69
ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดและความสามารถในการทำงาน 71

ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด 72
ภาพประกอบ 4.12 ลักษณะถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ 73
ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา..... 76
ภาพประกอบ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วนที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา 77
ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา..... 78
ภาพประกอบ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา 79
ภาพประกอบ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดและความสามารถในการทำงาน 81
ภาพประกอบ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด 82
ภาพประกอบ 4.19 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน..... 88
ภาพประกอบ 4.20 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน 89
ภาพประกอบ 4.21 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน..... 97
ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน 98

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ถั่วดาวอินคา *(plukenetia volubilis L.)* เป็นพืชตระกูล *Euphorbiaceae* เป็นไม้เถามีรูปร่างฝักคล้ายกับรูปดาว มีถิ่นกำเนิดมาจากป่าในลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศเปรู ในทวีปอเมริกาใต้ ปัจจุบันเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น ยารักษาโรค เครื่องสำอาง เครื่องดื่ม เป็นต้น และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญสำหรับมนุษย์ เช่น โอเมก้า 3 6 9 วิตามิน A และ E เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาด AEC และตลาดทั่วโลก [1] ถั่วดาวอินคาเป็นพืชขนาดเล็กสามารถปลูกและดูแลง่าย ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดูแลต่ำ มีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวประมาณ 6-8 เดือน ก็สามารถเก็บเกี่ยวและจำหน่ายผลผลิตได้ โดยใบสดจะมีราคาประมาณ 10-20 บาทต่อกิโลกรัม ใบแห้งมีราคาประมาณ 50-100 บาทต่อกิโลกรัม และในส่วนเมล็ด ถ้าขายทั้งเปลือกราคาจะอยู่ที่ประมาณ 75 บาทต่อกิโลกรัม ถ้ากะเทาะเปลือกราคาอยู่ที่ประมาณ 150-180 บาทต่อกิโลกรัม [2] สามารถเก็บผลผลิตได้ยาวนานประมาณ 15-50 ปี และให้ผลผลิตสูงมากกว่า 4,000 - 5,000 กิโลกรัมต่อ 6 ไร่ [3] ซึ่งจะพบว่าให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ

จากการสอบถามผู้ประกอบการพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูป คือ น้ำมันจากถั่วดาวอินคา โดยได้จากการบีบอัดเมล็ดในถั่วดาวอินคา ซึ่งน้ำมัน 1 ลิตร ได้จากการบีบอัดเมล็ดในจำนวน 6.5 กิโลกรัม สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงมากถึง 3000 บาทต่อลิตร นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาอบแห้งพร้อมทาน ขายในราคา 100 กรัมต่อ 100 บาท ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกะเทาะเอาเปลือกด้านนอกออก เพื่อให้ได้เมล็ดในสีขาวของถั่วดาวอินคา จึงเป็นผลทำให้ผู้ประกอบการประสบปัญหาในกระบวนการการกะเทาะเปลือก เนื่องจากถูกจำกัดด้วยเรื่องของรูปร่าง อีกทั้งเปลือกมีด้วยกันถึง 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกนอกสุด (ฝัก) เปลือกชั้นกลาง (เมล็ดเดี่ยวเปลือกแข็งปานกลางเมื่อแก่จัดจะปรากฏรอยแยกตามธรรมชาติบ้างบางเมล็ด มีสีเหลืองอ่อน) และเปลือกชั้นใน (เมล็ดเดี่ยวเปลือกแข็งไม่มีรอยแยก มีสีน้ำตาลเข้ม) (ภาพประกอบ 1.1) จึงทำให้กระบวนการการกะเทาะและทำความสะอาดมีความยุ่งยากหลายขั้นตอน

ก. เปลือกนอกสุด (ฝัก) ข. เปลือกชั้นกลาง (เมล็ดขาว) ค. เปลือกชั้นใน (เมล็ดน้ำตาล) ง. เมล็ดใน

ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา

ปัจจุบันผู้ประกอบการได้ทดลองนำเครื่องกะเทาะแบบแรงเฉือนแนวตั้ง (ภาพประกอบ 1.2) มากะเทาะฝักเพื่อให้ได้เมล็ดน้ำตาล (ภาพประกอบ 1 ค.) ก่อนแล้วจึงใช้ค้อนทุบกะเทาะให้ได้เมล็ดในโดยใช้แรงงานคน เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีเครื่องกะเทาะฝักแล้วให้ได้เมล็ดในตามที่ต้องการ พบว่ามีความสามารถประมาณ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการกะเทาะประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ มีการแตกหักของเมล็ด และยังมีบางส่วนถูกกะเทาะเป็นเมล็ดใน (ภาพประกอบ 1 ง.) และเมล็ดในแตกหักบางส่วน จนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการกะเทาะมีการปนของเมล็ดในสภาพที่แตกต่างกันหลายแบบยากแก่การคัดแยก และเครื่องดังกล่าวนี้ไม่มีระบบทำความสะอาด จึงเป็นปัญหาต่อเนื่องคือต้องใช้แรงงานคนคัดแยกเอาเมล็ดน้ำตาลออกด้วยมือเป็นหลัก โดยพบว่า มีความสามารถในการคัดแยกเพียง 30-40 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน จึงส่งผลให้เครื่องกะเทาะที่มียังไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ผู้ประกอบการจึงเลือกที่จะใช้แรงงานคนในการกะเทาะฝัก เมล็ดน้ำตาล โดยการใช้ค้อนทุบทีละเมล็ด จนกว่าจะได้เมล็ดใน (ภาพประกอบ 1 ง.) ซึ่งจะมีความสามารถในการทำงานประมาณ 15 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ต่อคน เท่านั้น (ทำงานประมาณ 6-8 ชั่วโมงต่อวัน) ซึ่งมีความสามารถในการทำงานต่ำและล่าช้า ทำให้ได้ปริมาณเมล็ดในของถั่วดาวอินคาในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับระยะเวลาการทำงานจำเป็นต้องใช้แรงงานคนจำนวนมาก แต่ก็ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานตามสภาวการณ์ในปัจจุบัน ดังนั้นถือได้ว่าขั้นตอนการกะเทาะเพื่อให้ได้เมล็ดในสีขาวนี้เป็นคอขวดอย่างมากในกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคา กล่าวคือ การผลิตน้ำมันต้องแบ่งเป็นรอบการผลิตรอบละ 7 วัน โดยต้องใช้เวลาในการกะเทาะเมล็ดทั้งหมดถึง 4-6 วัน (ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงงาน) แล้วจึงจะทำการหีบสกัดน้ำมันในวันที่ 7 อีก 1 วัน จึงจะเห็นได้ว่าปัญหาหลักที่สำคัญคือเกิดจากการกะเทาะที่ส่งผลให้ความสามารถในการผลิตของผู้ประกอบการต่ำมาก ผลิตไม่ทันคำสั่งซื้อ จึงเป็นการเสียโอกาสทางธุรกิจของผู้ประกอบการ

การใช้แรงงานคน

ใช้เครื่องกะเทาะ

คัดแยกเปลือกและเมล็ด

เมล็ดในผ่านการกะเทาะ(ต่ำ)

ภาพประกอบ 1.2 วิธีการกะเทาะเมล็ดถั่วดาวอินคาเพื่อแปรรูป

ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีการกะเทาะเมล็ดพืชต่างๆ นั้นมีข้อจำกัด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพืชที่มีความแตกต่างกันตามชนิด อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความชื้นของเมล็ด ความเร็วรอบในการกะเทาะ อัตราการป้อน เป็นต้น ตลอดจนหลักการและวิธีการการกะเทาะซึ่งเป็นตัวกำหนดทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูง เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดต่ำ เนื่องจากถั่วดาวอินยังเป็นพืชที่ใหม่สำหรับประเทศไทย จึงทำให้ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถั่วดาวอินคาโดยตรง แต่พบว่าปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครื่องกะเทาะเมล็ดพืชอื่นๆ เช่น เครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม โดยให้มีชุดคัดขนาดและชุดกะเทาะอยู่ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งชุดคัดขนาดจะเป็นเพลา 2 เพลา คือ เพลาเรียบ 1 เพลา และเพลาเลียว 1 เพลา ความยาว 80 เซนติเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที ส่วนชุดกะเทาะประกอบด้วยใบมีดเคลื่อนที่และใบมีดอยู่กับที่ ติดตั้งบนผิวท่อเหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที พบว่า มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 191.87 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเนื้อในเต็มเฉลี่ย 61.68 เปอร์เซ็นต์ [4] เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน โดยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังรอบแนวรัศมีของจานเหวี่ยงที่มีการบุด้วยสายพานผ้าใบเพื่อลดการแตกของเมล็ด โดยใช้ความเร็วเชิงเส้น 35 เมตรต่อวินาที แล้วทำการคัดแยกด้วยตะแกรงซิกแซก 2 ชั้น พบว่า มีความสามารถในการกะเทาะ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม 53 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 14 เปอร์เซ็นต์ [5]

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเชิงลึกในเรื่องของลักษณะทางกายภาพของถั่วดาวอินคา เช่น ขนาดและรูปร่าง ความชื้น ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิวของวัสดุ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ รวมถึงการศึกษาเทคโนโลยีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำหลักการและวิธีการมาประยุกต์ใช้กับถั่วดาวอินคาในขั้นตอนการกะเทาะและทำความสะอาด

เพื่อให้เกิดองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาที่มีประสิทธิภาพ มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูง เปอร์เซ็นต์การแตกหักต่ำ รวมถึงสามารถทำงานได้เหมาะสมและตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการ เพิ่มความสามารถในขั้นตอนกระบวนการการกะเทาะเพื่อให้ได้เมล็ดในของถั่วดาวอินคาให้ได้ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคา

1.2 วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาเพื่อให้ได้เมล็ดใน โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะ คือ

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ
2. ออกแบบ สร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา
3. ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา
4. วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษานี้ ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา โดยใช้ถั่วดาวอินคาพันธุ์ *Plukenetia corniculata Sm.* ส่วนชื่อไทยนั้นยังไม่มีข้อมูล [6] ใช้กับถั่วที่แก่เต็มที่ ที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-12 %wb จากพื้นที่ปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์เป็นตัวอย่างทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ขั้นตอน คือ การกะเทาะจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล และการกะเทาะจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน ดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีตัวแปรในการศึกษาดังนี้

1.3.1 ตัวแปรควบคุม

1) อัตราการป้อน

1.3.2 ตัวแปรต้น

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล

1) ความเร็วรอบลูกกะเทาะ

2) ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรง

3) ช่องทางออกเมล็ด

4) ความเร็วลมดูดที่แตกต่างกัน

5) มุมเอียงใบโปรยที่แตกต่างกัน

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน

1) ความเร็วรอบลูกกะเทาะ

2) ชนิดของลูกกะเทาะ

3) ชนิดผนังเป้ากระทบ

4) ความเร็วลมดูดที่แตกต่างกัน

5) มุมเอียงใบโปรยที่แตกต่างกัน

6) ระยะชักตะแกรงโยกที่แตกต่างกัน

7) มุมเอียงตะแกรงโยกที่แตกต่างกัน

1.3.3 ตัวแปรตาม

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล

1) ความสามารถในการทำงาน

2) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

3) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด

4) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก

5) เปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ

6) ประสิทธิภาพการคัดแยก

7) เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกที่ช่องทางออกเมล็ด

8) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเมล็ดที่ช่องทางออกเปลือก

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน

1) ความสามารถในการทำงาน

2) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

3) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเมล็ด

4) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย

5) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

6) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ

7) ประสิทธิภาพการคัดแยก

8) เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกที่ช่องทางออกเมล็ด

9) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเมล็ดที่ช่องทางออกเปลือก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ภายหลังเสร็จสิ้นการศึกษาคาดว่าจะสามารถออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการกะเทาะที่ผู้ประกอบการมีอยู่ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเบื้องต้นประมาณ 30-40 กิโลกรัมต่อวัน ช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการกะเทาะเพื่อให้ได้เมล็ดในของถั่วดาวอินคาในปริมาณที่เพียงพอสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคา รวมถึงการลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การเจือปนของเปลือกที่กะเทาะ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับถั่วดาวอินคาให้ได้ตามมาตรฐานความต้องการของโรงงาน

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคามีชื่อสามัญว่า sacha inchi, sacha peanut, mountain peanut, supua หรือ Inca peanut อยู่ในวงศ์ยางพารา Euphorbiaceae ไม่ใช่พืชวงศ์ถั่ว Leguminosae หรือ Fabaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ (*plukenetia volubilis L.*) มีต้นกำเนิดจากประเทศเปรู ทวีปอเมริกาใต้ต่อมามีการตกลงแลกเปลี่ยนสินค้าและเมล็ดพันธุ์กับประเทศจีน ปลูกในเมืองสิบสองปันนา มณฑลยูนาน จากนั้นได้ขยายมาปลูกที่ประเทศไทย และลาว เพราะมีภูมิอากาศเหมาะสม ซึ่งสายพันธุ์ที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 1 ชนิด คือ *Plukenetia corniculata Sm.* ส่วนชื่อไทยยังไม่มีข้อมูล [6] เริ่มแรกประเทศจีนได้มีการนำเข้ามาปลูกทางภาคเหนือของประเทศไทยต่อมาเริ่มมีการปลูกอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง จึงทำให้รู้จักและปลูกอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้ถั่วดาวอินคาเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ที่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้กับเกษตรกรสำหรับการสร้างรายได้เลี้ยงชีพในปัจจุบัน [1]

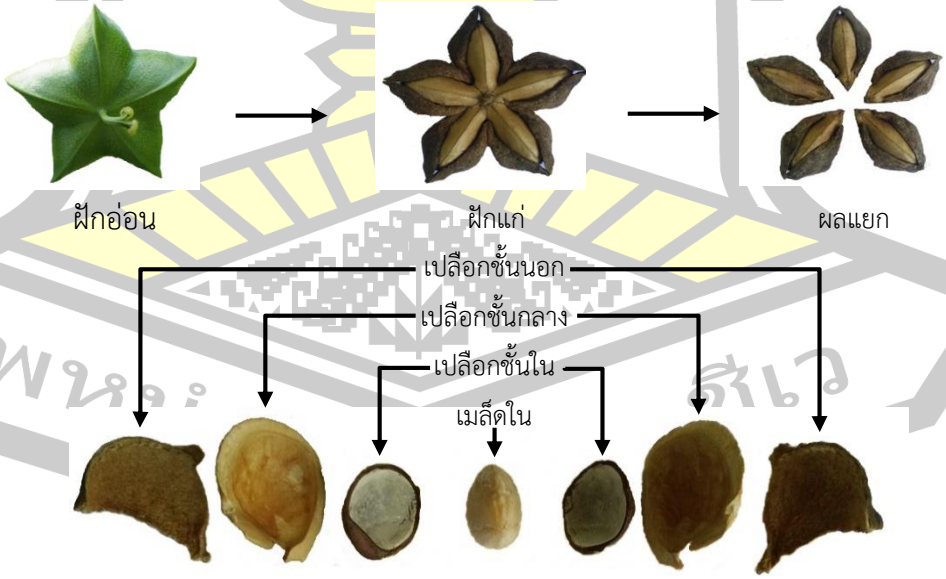
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคาเป็นไม้เถาทรงพุ่ม เจริญเติบโตในสภาพอากาศอุ่นที่อุณหภูมิ 10-36 องศาเซลเซียส เจริญเติมโตได้ในที่มีความสูงตั้งแต่ 100-200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล มีอายุประมาณ 10-50 ปี ต้นที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 2-3 เมตร [3] มีดอกขนาดเล็กมีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ที่ฐานของช่อดอก เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 5 เดือนหลังจากปลูก และติดเมล็ดเมื่ออายุ 8 เดือน ใบเป็นใบเดี่ยวมีรูปร่างคล้ายรูปหัวใจ ปลายใบเรียวแหลม ฝักมีรูปร่างเป็นแฉกคล้ายกับรูปดาว โดยหนึ่งฝักมีประมาณ 4-6 แฉก มีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักประมาณ 3-5 เซนติเมตร ผลอ่อนจะมีสีเขียวและสีจะเข้มขึ้นตามอายุ เมื่อผลแก่เต็มที่จะมีสีน้ำตาลดำ โดยปกติจะทิ้งให้แห้งคาต้นก่อนเก็บเกี่ยว เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วนำมาตากแดดอีก 1 วัน จึงนำผลผลิตไปจำหน่าย [6] ลักษณะทั่วไปของถั่วดาวอินคาดังภาพประกอบ 2.1

ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วดาวอินคา [7]

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคา

ฝักมีรูปร่างเป็นแฉกคล้ายกับรูปดาวโดยหนึ่งฝักมีประมาณ 4-6 แฉก มีสีเขียวสดใสเมื่อยังอ่อนและมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อฝักแก่เต็มที่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักประมาณ 3-5 เซนติเมตร มีเปลือกที่ครอบคลุมเมล็ดใน 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกชั้นนอกหรือเปลือกเขียว (ฝัก) เปลือกชั้นกลาง (เมล็ดเดี่ยว เปลือกแข็งปานกลางเมื่อแก่จัดจะปรากฏรอยแยกตามธรรมชาติบ้างบางเมล็ด มีสีเหลืองอ่อน) และเปลือกชั้นใน (เมล็ดเดี่ยวรูปไข่ เปลือกแข็งไม่มีรอยแยก มีสีน้ำตาลเข้ม) แต่ละฝักจะมีเมล็ดอยู่ประมาณ 4-6 เมล็ด โดยเมล็ดมีความกว้างประมาณ 17-18 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 20-22 มิลลิเมตร หนาประมาณ 7-8 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 1.3-1.7 กรัมต่อเมล็ด [6] โดยแสดงลักษณะทั่วไปของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคาดังภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะทั่วไปของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคา

2.1.3 การปลูกถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคาสามารถปลูกได้ในทุกภาคของประเทศไทย ขยายพันธุ์ด้วยการนำเมล็ดไปเพาะเป็นต้นกล้า ซึ่งราคาต้นกล้าจะอยู่ที่ประมาณ 15 บาทต่อต้น เป็นพืชที่ชอบน้ำและต้องปลูกโดยระบบเกษตรอินทรีย์ (ไม่ใช้สารเคมี) โดยปลูกที่ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 4 x 2 เมตร ในจำนวนพื้นที่ 1 ไร่ จะปลูกได้ประมาณ 200 ต้น ต้นถั่วดาวอินคาจะเริ่มเลื้อยเข้าหากันเมื่ออายุ 2 เดือน ดั้งนั้นจึงจำเป็นต้องทำค้างให้ต้นถั่วดาวอินคาสามารถเกาะยึดได้ โดยถั่วดาวอินคาจะมีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 7 เดือน หลังการปลูก [2] โดยมีลักษณะการปลูกดังแสดงในภาพประกอบ 2.3

ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะการปลูกถั่วดาวอินคา [7]

2.1.4 การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคามีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวประมาณ 6-8 เดือน หลังการปลูกก็สามารถเก็บเกี่ยวและจำหน่ายผลผลิตได้ สามารถเก็บผลผลิตได้ยาวนานประมาณ 15-50 ปี และให้ผลผลิตสูงมากกว่า 4,000 - 5,000 กิโลกรัมต่อ 6 ไร่ [3]

2.1.5 ประโยชน์ของถั่วดาวอินคา

ต้นถั่วดาวอินคาสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น ยารักษาโรค เครื่องสำอาง เครื่องดื่ม เป็นต้น และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญสำหรับมนุษย์ เช่น โอเมก้า 3 6 9 วิตามิน A และ E เป็นต้น ซึ่งทุกๆ ส่วนของต้นถั่วดาวอินคาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น

ยอดของถั่วดาวอินคา สามารถนำไปประกอบอาหาร เช่น ผัดเป็นผักบุ้งไฟแดง รับประทานได้มีรสชาติอร่อย มีโอเมก้า 3 6 9 และวิตามิน A E

ใบของถั่วดาวอินคา สามารถนำไปทำเป็นใบชาหรือนำไปสกัดเป็นคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีคุณค่ามากกว่าคลอโรฟิลล์ทั่วๆ ไปถึง 200 เท่า และสามารถสกัดเป็นน้ำเพื่อสุขภาพได้

ดอกหรือฝักถั่วดาวอินคา นิยมนำมาสกัดเป็นน้ำมัน ซึ่งมีประโยชน์สำหรับมนุษย์ เพราะมีโอเมก้า 3 6 9 และวิตามิน A E รวมถึงนำมาประกอบอาหารหรือทำน้ำสลัด และเครื่องสำอาง เช่น โฟม สบู่ ครีมบำรุงผิว โลชั่น เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ต้องการของต่างประเทศมากในปัจจุบัน

เปลือกของถั่วดาวอินคา สามารถนำมาเป็นปุ๋ยเกษตรอินทรีย์หรือจะอัดก้อนใช้เป็นพลังงานความร้อนชีวมวลได้

เมล็ดในถั่วดาวอินคา เมื่อแก่เต็มที่สามารถนำเมล็ดมาสกัดเป็นน้ำมันได้ โดยจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ มีโปรตีนสูงประมาณ 27% และปริมาณน้ำมันประมาณ 35-60% ในน้ำมันยังอุดมไปด้วยกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ โอเมก้า 3 กรดไลโนเลนิประมาณ 45-53% ของปริมาณไขมัน โอเมก้า 6 กรดไลโนเลอิกประมาณ 34-39% ของปริมาณไขมัน โอเมก้า 9 ประมาณ 6-10% ของปริมาณไขมัน อีกทั้งยังอุดมไปด้วยไอโอดีน วิตามิน A และ E ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติสำหรับรสชาติและคุณสมบัติ น้ำมันถั่วดาวอินคาได้รับการเรียกว่า Super food เพราะมีคุณสมบัติสูง มีกรดไขมันที่จำเป็น น้ำมันมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ไม่รุนแรง และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ [2]

1. ช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล HDL
2. ป้องกันการแข็งตัวของเลือด โดยการรักษาระดับไขมันอิ่มตัวในกระแสเลือด ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและความดันโลหิตสูง
3. ช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์และป้องกันความดันโลหิตสูง
4. ในโรคเบาหวานจะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดอาการซึมเศร้าและทำให้สุขภาพจิตแจ่มใส
5. รักษาความลื่นไหลและความแข็งแกร่งของเยื่อหุ้มเซลล์
6. ช่วยลดการอักเสบของหลอดเลือดโรคไขข้อ
7. ช่วยดูแลโรคผิวหนัง หอบหืด ไมเกรน ต้อหิน
8. มีสารต้านอนุมูลอิสระ ควบคุมความดันของตา และเส้นเลือด
9. การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันทำหน้าที่เป็นสื่อกลางขนส่งออกซิเจน

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืชที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรกล

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืช หมายถึง วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของผลผลิตทางการเกษตรต่อการกระทำทางกายภาพต่างๆ ได้แก่ กลศาสตร์ ไฟฟ้า ความร้อน แสง สว่างเสียง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น ในการพัฒนาเครื่องจักรทางการเกษตรมาทำงานทดแทน

แรงงานคนในระบบการผลิตทางการเกษตรต่างๆ จำเป็นต้องทราบถึงสมบัติทางกายภาพของผลผลิตก่อนการออกแบบ สร้างเครื่องจักรกลที่จะทำงานกับผลผลิตเกษตรนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของผลผลิตกับการกระทำทางกายภาพ ณ สภาวะการผลิตต่างๆ และที่สำคัญที่นำไปสู่การออกแบบเครื่องจักกลต่อไป [8]

ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด เช่น ความชื้น ขนาด รูปร่าง พื้นที่ผิว ปริมาตร น้ำหนัก ความถ่วงจำเพาะ และคุณลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ซึ่งเป็นตัวแปรทางวิศวกรรมที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ เมื่อจะศึกษาถึงกระบวนการหรือการพัฒนาเครื่องมือมาทำงานกับเมล็ดพืชนั้น จำเป็นต้องมีความรู้และคำนวณให้แม่นยำได้ถึงคุณสมบัติดังกล่าว [8]

2.2.1 ความชื้น

ความชื้น (moisture content) ที่มีอยู่ในเมล็ดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเมล็ดพืช ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเมล็ดพืชนั้นๆ และเป็นข้อมูลสำคัญทางวิศวกรรมในการออกแบบเครื่องจักร รวมทั้งใช้เป็นข้อกำหนดในการซื้อขายวัสดุด้วย

ความชื้นในเมล็ดพืช คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเมล็ดพืช เมื่อพิจารณาดูจะพบว่า ในเมล็ดพืชประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำหนักแห้งของเมล็ดพืชซึ่งจะมีค่าคงที่ตลอด กับส่วนที่เป็นน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในเมล็ดพืช โดยส่วนน้ำหนักน้ำในเมล็ดพืชจะเปลี่ยนแปลงตามความชื้นของเมล็ดพืช

การบอกค่าความชื้นในเมล็ดพืชจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนน้ำหนักน้ำในเมล็ดกับน้ำหนักเมล็ดพืชซึ่งสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี คือ

1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณได้จากสมการ

$$MC\ (\%wb) = \frac{(W_w - W_d)}{W_w} \times 100 \qquad \text{..... (2-1)}$$

เมื่อ MC = เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก

W_w = น้ำหนักรวมของเมล็ด

W_d = น้ำหนักแห้งของเมล็ด

2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H_2O/ g solid) โดยคำนวณได้จากสมการ

$$MC\ (\%db) = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100 \qquad \text{..... (2-2)}$$

เมื่อ MC = เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

W_w = น้ำหนักรวมของเมล็ด

W_d = น้ำหนักแห้งของเมล็ด

2.2.2 รูปร่างและขนาด

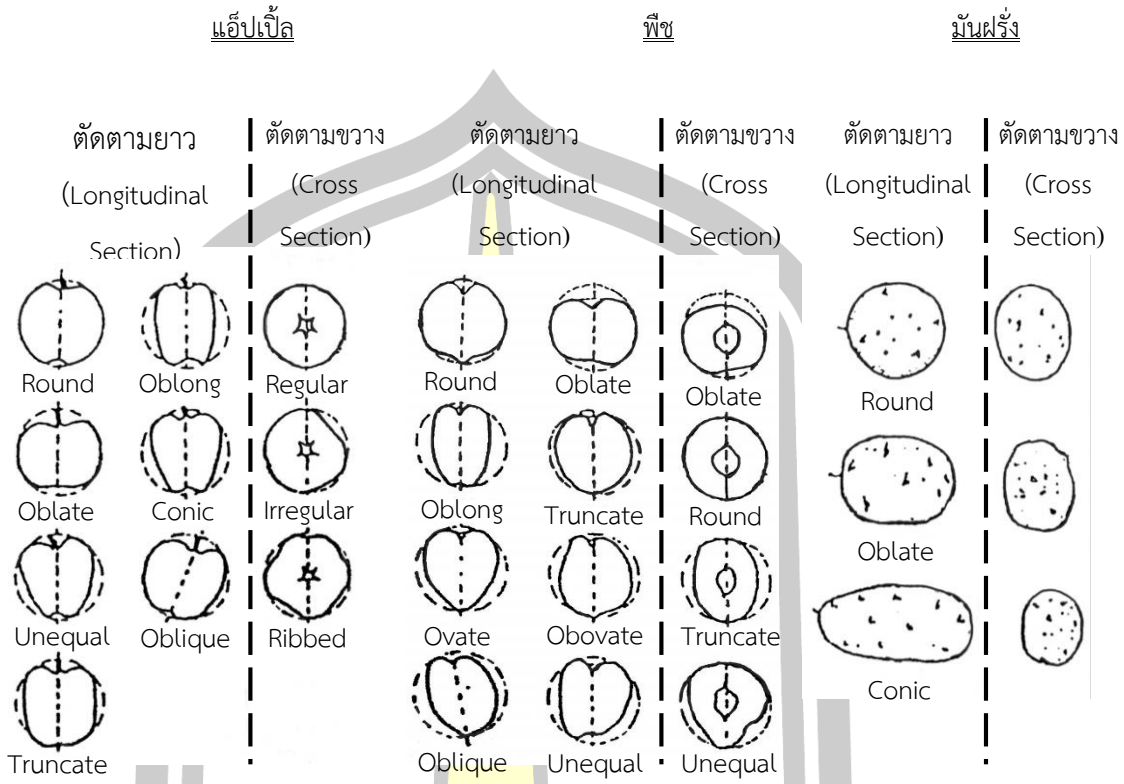
รูปร่างและขนาด (shape and size) เป็นสิ่งที่จำเป็นและแยกจากกันไม่ได้ในการอธิบายวัตถุทางกายภาพ ในการระบุรูปร่าง เราต้องวัดตัวแปรบางตัวตามแนวแกนตั้งฉากกันที่สัมพันธ์กันหลายๆ แกน เพื่ออธิบายลักษณะรูปร่างและขนาด [8]

2.2.3 เกณฑ์อธิบายรูปร่างและขนาด

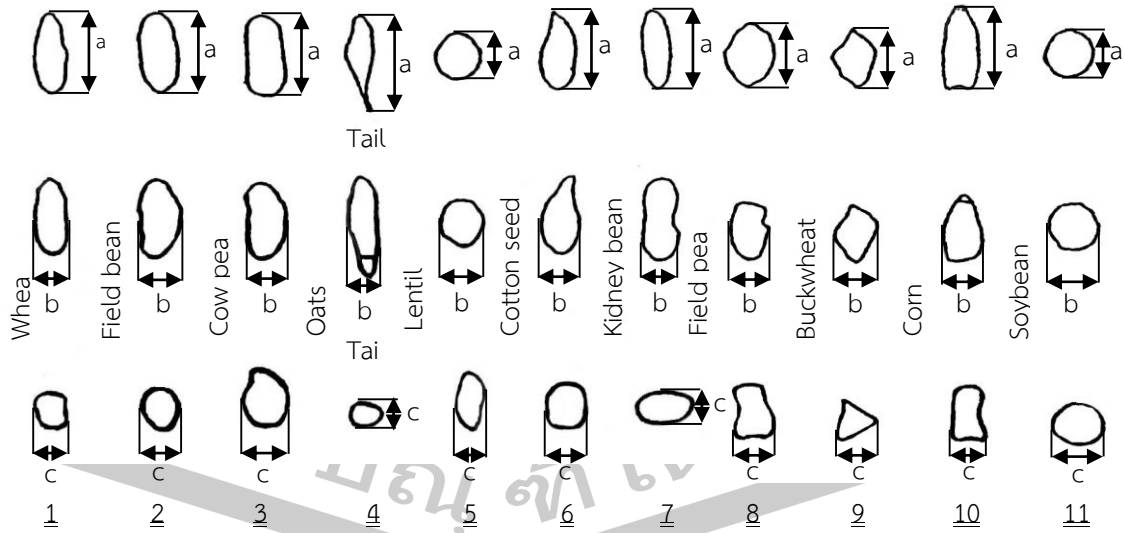
โดยใช้มาตรฐานแผนภาพ (chard standards) วิธีนี้จะมีภาพตัดขวางตามยาวและตามขวางของวัสดุต่างๆ ให้ ซึ่งเราสามารถใช้ภาพดังกล่าวเปรียบเทียบกับรูปร่างวัตถุที่เราต้องการได้ [8]

ตาราง 2.1 รูปร่างวัตถุต่างๆ และคำอธิบาย

รูปร่าง	**คำบรรยาย**
กลม (round)	เข้าใกล้วัตถุกลม (spheroid)
แป้น (oblate)	เรียวที่ขั้วหรือที่ปลาย
อ็อบลอง (oblong)	เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวดิ่งยาวกว่าในแนวระดับ
กรวย (conic)	เล็กเรียวลงไปหาปลาย (tapered toward apex)
รูปไข่ (ovate)	รูปร่างเหมือนไข่และขยายออกที่ปลายขั้ว (stem end)
เบ้ หรือ เย้ หรือ เห (oblique)	แกนเชื่อมขั้วและปลายทำมุมเอียง (slanted)
รูปไข่กลับหัว (obovate)	รูปไข่กลับหัว (inverted ovate)
วงรี (elliptical)	เข้าใกล้วัสดุทรงรี
เหลี่ยมและมน (truncate)	ปลายทั้งสองแบนหรือเป็นสี่เหลี่ยม
ไม่เท่ากัน (unequal)	ครึ่งหนึ่งใหญ่กว่าอีกครึ่งหนึ่ง
ขรุขระ (ribbed)	ในภาพตัดขวาง ด้านต่างๆ เป็นมุมไม่มากก็น้อย
สม่ำเสมอ หรือปกติ (regular)	ภาพตัดขวางในแนวระดับใกล้เคียงวงกลม
ไม่สม่ำเสมอหรือผิดปกติ (irregular)	ภาพตัดขวางในแนวระดับไม่เป็นวงกลม



ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างมาตรฐานแผนภาพอธิบายรูปร่างผักผลไม้ [8]



ภาพประกอบ 2.5 ตัวอย่างมาตรฐานแผนภาพอธิบายรูปร่างผักผลไม้ [8]

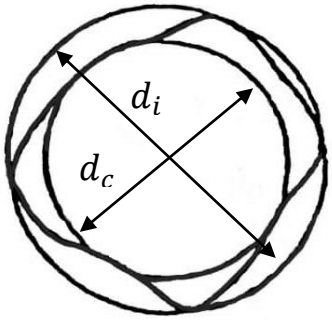
2.2.4 ความกลม

ความกลมของวัตถุ (sphericity) เป็นอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่เล็กที่สุด ที่ล้อมรอบวัตถุนั้นได้ [8]

$$\text{ความกลม} = \frac{d_i}{d_c} \quad \text{.....(2-3)}$$

เมื่อ d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุ

d_c = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่เล็กที่สุด ที่ล้อมรอบวัตถุนั้นได้ ปกติคือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดของวัตถุ



$$\text{Sphericity} = \frac{d_i}{d_c}$$

ภาพประกอบ 2.6 ภาพอธิบายนิยามความมนและความกลม [8]

2.2.5 ความหนาแน่น

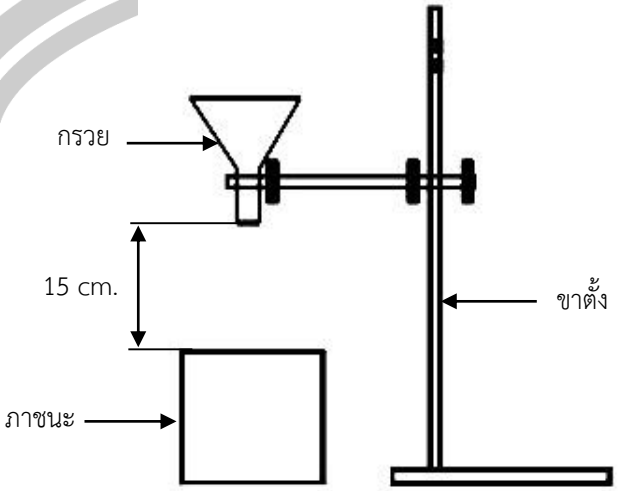
ความหนาแน่น (density) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุ

1. ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวม (bulk density) เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล เช่น แป้ง (flour) สตาร์ช (starch) เมล็ดธัญพืช (cereal grain) กาแฟผง นมผง อาหารสัตว์ ขนมขบเคี้ยว และ ลูกกวาด เป็นต้น ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วย [9]

การหาค่าความหนาแน่นรวม ทำได้โดยการบรรจุวัสดุลงไปในภาชนะที่ทราบปริมาตรเพื่อลดความผิดพลาด ควรใช้ภาชนะขนาดใหญ่พอสมควร เช่น ขนาด 1 ลิตร แล้วนำไปชั่ง

ปาดหรือเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการหาความหนาแน่นรวม ได้แก่ ความชื้นของวัสดุ ความสูงของระดับที่เทวัสดุลงในภาชนะ การอัดแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้งาน ควรบอกวิธีการ และสภาวะที่วัดค่ากำกับด้วย



ภาพประกอบ 2.7 อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม [9]

โดยความหนาแน่นรวม สามารถคำนวณได้จาก มวลของวัสดุหารด้วยปริมาตรของวัสดุ ซึ่งรวมช่องว่างระหว่างวัสดุด้วย

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{m}{V} \quad \text{..... (2-4)}$$

เมื่อ m = มวล

V = ปริมาตร

2.2.6 ความเสียดทาน

ความเสียดทาน (friction) เมื่อวัตถุหนึ่งถูกกดเข้ากับวัตถุอีกอันหนึ่งด้วยแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ วัตถุแรกจะไม่เคลื่อนที่ในทิศทางขวางกับแนวแรงกด จนกระทั่งแรงเสียดทานระหว่างวัตถุทั้งสองถูกเอาชนะแรงเสียดทานที่กระทำระหว่างผิวทั้งสองเมื่ออยู่นิ่ง เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือ แรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่ เมื่อการเคลื่อนที่เริ่มขึ้น แรงเสียดทานปกติจะลดลงจนกว่าแรงที่น้อยกว่าถูกใช้ทำให้การเคลื่อนที่ต่อเนื่องไป แรงเสียดทานที่มีอยู่ระหว่างผิวที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) [8]

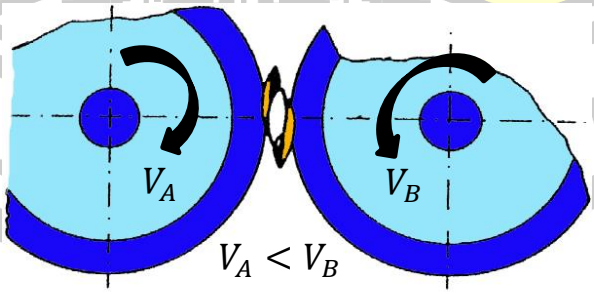
ในการหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเกษตรสามารถหาได้โดยวิธีการวางวัสดุเป็นชั้นบางบนพื้นผิวต่างๆ เช่น แผ่นไม้อัด แผ่นอะลูมิเนียม และแผ่นยาง เป็นต้น โดยวางไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของพื้นผิวต่างๆ จากนั้นกระดกแผ่นโลหะขึ้นเป็นมุมเอียงกับแนวระดับ หรือทำให้ผิวที่กำหนดเคลื่อนที่ไป จนกระทั่งเมล็ดเริ่มไหลลงด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก

2.3 หลักการกะเทาะเปลือกของเมล็ดพืช

เครื่องกะเทาเปลือกมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาเปลือกหรือเยื้อที่ห่อหุ้มเมล็ดออก และทำให้เกิดการแตกหักเสียหายน้อยที่สุด แต่ความเสียหายเนื่องจากการแตกหักเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงในการสร้างเครื่องจักรและการควบคุมปัจจัยอย่างอื่นเกี่ยวกับตัวเมล็ดของวัสดุที่จะนำมากะเทาะ เช่น ความชื้น ขนาดและรูปร่าง สำหรับการกะเทาะเปลือกจะถูกบังคับด้วยลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพืชชนิดนั้นๆ และตามหลักของวิศวกรรม มีการออกแบบเครื่องกะเทาะที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยอาศัยหลักการดังนี้ เช่น แรงเฉือน แรงกด แรงที่เกิดจากการตี การเหวี่ยง กระแทก บางชนิดได้รวมหลักการเข้าด้วยกันเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกะเทาะ โดยมีหลักการกะเทาะดังต่อไปนี้ [10]

2.3.1 เครื่องกะเทาะแบบลูกยาง (rubber roll huller)

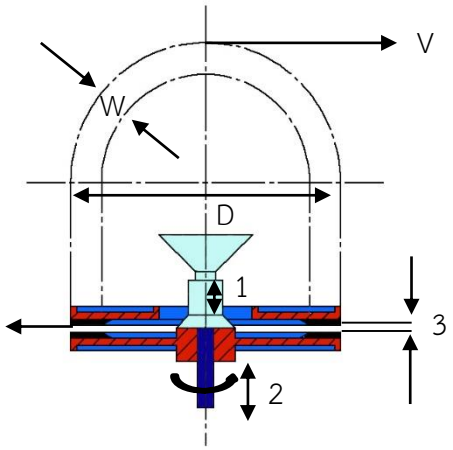
นเรนทร บุญส่ง [11] ได้กล่าวถึงหลักการของการกะเทาะโดยการอาศัยความแตกต่างของความเร็วระหว่างลูกกลิ้งยางสองลูกโดยการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อเมล็ดตกลงมาอยู่ระหว่างลูกกลิ้งยางทั้งสองจะตกอยู่ภายใต้การกดอัดเนื่องจากความเร็วที่ต่างกันของลูกกลิ้งยางทั้งสองจึงเกิดแรงเฉือนทำให้เปลือกหลุด ดังภาพประกอบ 2.8 วิธีนี้สามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองได้เหมาะสมกับขนาดเมล็ดที่ต้องการกะเทาะได้



ภาพประกอบ 2.8 ลักษณะการทำงานของเครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งยาง [11]

2.3.2 เครื่องกะเทาะแบบจานหิน (the under runner disc huller, or disc huller)

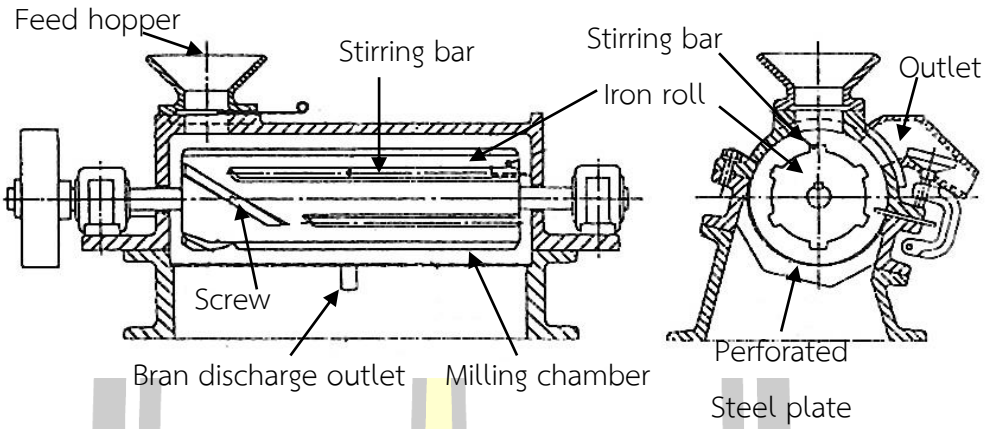
เครื่องกะเทาะแบบนี้ประกอบไปด้วย จานเหล็กกลมสองแผ่นประกบกัน ยึดอยู่ในแกนเพลาเดียวกัน และผิวหน้าที่ประกบกันพอกด้วยหินขาวดำทั้งสองแผ่น มีระยะช่องว่างที่สามารถปรับใช้ได้ตามขนาดของเมล็ด การทำงานแผ่นจานล่างจะเป็นตัวหมุน (under runner disc) แผ่นจานบนจะอยู่กับที่ เมล็ดข้าวจะถูกป้อนจากข้างบนตรงกลางแผ่นจานที่เจาะรูผ่านถังป้อน ซึ่งสามารถปรับอัตราการป้อนได้ เมื่อเมล็ดลงมาถึงผิวหน้าจานล่างซึ่งหมุน จะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ออกไปทางช่องว่างระหว่างแผ่นจานบนกับจานล่างเกิดการขัดสีกันขึ้น ทำให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ด การปรับระยะห่างระหว่างแผ่นจานเป็นสิ่งที่สำคัญ และต้องทำการตรวจเช็ดอยู่บ่อยๆ ความกว้าง (w) ของการพอกหินก็สำคัญ ปกติจะใช้ 1/6 – 1/7 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นจาน ความเร็วรอบจะอยู่ที่ 14 เมตร/วินาที และขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นจาน จานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่จะต้องหมุนช้ากว่าจานเล็ก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9 [10]



ภาพประกอบ 2.9 เครื่องกะเทาะแบบจานหิน [10]

2.3.3 เครื่องกะเทาะแบบลูกเหล็ก (engelberg)

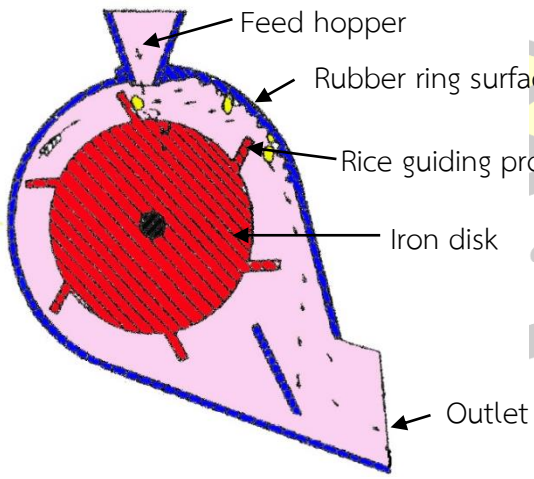
เครื่องกะเทาะแบบนี้เป็นเหล็กหล่อ ติดกับเพลาในแนวนอน เพลาหมุนด้วยความเร็วอยู่ภายในตัวเสื้อ ด้านล่างจะติดตะแกรงเพื่อสิ่งฝุ่นหรือสิ่งเจือปนที่เกิดจากการกะเทาะ ส่วนการกะเทาะเปลือกใช้วิธีปรับใบมีดด้านข้าง เพื่อให้เกิดแรงเสียดทานตามต้องการ ปริมาณวัสดุที่ออกมาขึ้นอยู่กับการปรับสกรูเพื่อให้เกิดช่องว่างด้านใน ในการทำงานของเครื่องกะเทาะวัสดุจะผ่านเครื่องครั้งเดียว โดยที่ลูกเหล็กจะทำหน้าที่ทั้งกะเทาะและขัดขาวในตัว ฝุ่นที่ถูกขัดจะถูกพ่นออกมาพร้อมกับสิ่งเจือปน ส่วนวัสดุที่แตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยจะลอดผ่านตะแกรงที่ส่วนล่างของลูกเหล็ก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.10 [10]



ภาพประกอบ 2.10 เครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งเหล็ก [10]

2.3.4 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal huller)

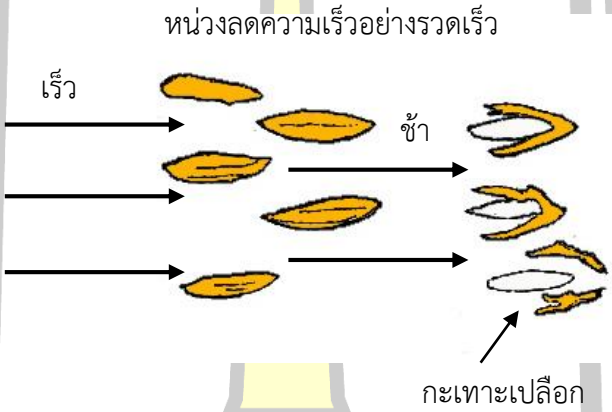
อารีย์ ทิมินกุล [10] กล่าวถึงการประดิษฐ์เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยงเพื่อใช้ในการกะเทาะข้าว เครื่องกะเทาะเปลือกแบบนี้จะใช้จานเหล็กที่มีครีบยื่นออกมา เพื่อใช้ในการเหวี่ยงเมล็ดที่ไหลลงมาจาก Hopper จานเหล็กซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง จะเหวี่ยงเมล็ดไปกระทบกับวงยางโดยรอบแล้วจะถูกพ่นออกมาตรงทางออก จากการศึกษาพบว่า เครื่องกะเทาะแบบใช้แรงเหวี่ยงสามารถรักษาระดับประสิทธิภาพในการกะเทาะได้คงที่ ที่ระดับความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกต่างๆ ซึ่งต่างจากเครื่องกะเทาะแบบลูกกลิ้งยางที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ดังภาพประกอบ 2.11



ภาพประกอบ 2.11 เครื่องกะเทาะแบบแรงเหวี่ยง [10]

2.3.5 เครื่องกะเทาะโดยอาศัยหลักการผลต่างความเร็วลม

นเรนทร บุญส่ง [11] ได้กล่าวถึงการใช้หลักการผลต่างของความเร็วลม ซึ่งวัสดุจะวิ่งมาด้วยความเร็วสูงพร้อมลมความเร็วสูง และถูกหน่วงลดความเร็วลมลงอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้คือ ผลต่างของความดันซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้เปลือกของวัสดุเกิดกะเทาะและหลุดออก หลักการนี้เป็นหลักการที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ มีข้อดี คือ วัสดุไม่ได้รับอันตราย (แตกหัก) เลย การสร้างเครื่องต้องใช้เทคโนโลยีในการออกแบบและสร้างสูง และหลักการค่อนข้างยุ่งยากต่อการเข้าใจ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12



ภาพประกอบ 2.12 หลักการทำงานของการกะเทาะเปลือกโดยใช้ผลต่างความเร็วลม [11]

2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

นเรนทร บุญส่ง [11] ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม หมายถึง การนำเอาเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการคัดเลือกโครงการ หรือแนวทางปฏิบัติเพื่อให้ได้ทางเลือกที่ก่อให้เกิดผลตอบแทนด้านการเงินสูงสุด และเพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่กับงานด้านวิศวกรรมอย่างประหยัด และใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.4.1 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้น

แบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังนี้คือ

1. ค่าใช้จ่ายคงที่ (fixed cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้เครื่องจักร ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องจักร สร้างโรงเรือน และค่าอื่นๆ ในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ

2. ค่าใช้จ่ายผันแปร (variable cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งาน ประกอบด้วย ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าซ่อมแซม และค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคา คือ มูลค่าที่ต่ำลงไปของเครื่องมือเครื่องจักรที่ซื้อมาใช้ในการผลิต เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งก็จะมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานหรือตามปริมาณการผลิต จะทำให้มูลค่าต่ำลงได้จนหมดอายุการใช้งาน อาจจะต้องขายเป็นซากได้ การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (straight-Line depreciation) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะคำนวณง่าย โดยการใช้มูลค่าของทรัพย์สินลบด้วยมูลค่าซาก แล้วหารด้วยจำนวนอายุการใช้งานจะได้ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

ค่าเสื่อมราคาต่อปี = $\frac{(P-L)}{N}$ ..... (2-5)

เมื่อ P คือ ราคาทุนของทรัพย์สิน (บาท)

L คือ ราคาหรือมูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งานของทรัพย์สิน (บาท)

N คือ จำนวนอายุการใช้งานของทรัพย์สิน (ปี)

$$AC = FC + VC \quad \text{..... (2-6)}$$

เมื่อ AC คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (บาท)

FC คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)

2.4.2 จุดคุ้มทุน

จุดคุ้มทุน (break even point) คือ จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึง จุดที่มีรายจ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง

$$BEP = \frac{FC}{(P-VC)} \quad \text{..... (2-7)}$$

เมื่อ BEP คือ จุดคุ้มทุน (หน่วย)

FC คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

P คือ กำไร (บาท/หน่วย)

2.4.3 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (payback period) คือ เวลาที่ต้องการเพื่อให้การลงทุนได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$PBP = \frac{CF_0}{YCF} \quad \text{..... (2-8)}$$

โดยที่ PBP คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

CF_0 คือ เงินทุนเริ่มต้นหรือค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)

YCF คือ กำไรเฉลี่ยแต่ละปี (บาท)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคาและเมล็ดพืชอื่น

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดธัญพืชและเมล็ดพืชน้ำมันมีความสำคัญอย่างยิ่ง และเป็นข้อมูลตัวแปรที่สำคัญทางวิศวกรรมในการออกแบบเครื่องจักรกล โดยคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ รูปร่าง ขนาด ปริมาตร พื้นที่ผิว ความหนาแน่น ความพรุน ความถ่วงจำเพาะ มุมกอง ความแน่นเนื้อ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความรู้และการคำนวณคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดดาวอินคาแบบกะเทาะเปลือก [12] ดำเนินการศึกษาโดยนำถั่วดาวอินคากะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ดด้วยเครื่องกะเทาะแบบหินขัด และทำการหาความชื้นเมล็ด มุมกองของเมล็ด สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างพื้นผิววัสดุ 4 ชนิด คือ เหล็ก, แสตนเลส, ไม้และยาง ความหนาแน่นเนื้อ ความหนาแน่นรวม และความพรุน

การศึกษาผลของความชื้นกับสมบัติทางกายภาพของเมล็ดทานตะวัน [13] เพื่อการพัฒนากำลังในการกะเทาะ ดำเนินการศึกษาโดยกำหนดความชื้นที่แตกต่างกันจาก 10-14 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ทำการวัดขนาด น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ด มุมกอง ความหนาแน่น ความพรุน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิววัสดุ 3 ชนิด คือ ไม้อัด เหล็กชุบสังกะสี และกระจก

การศึกษาผลของความชื้นต่อสมบัติทางวิศวกรรมของเมล็ดทานตะวัน [14] ดำเนินการศึกษาโดยกำหนดความชื้นของเมล็ดทานตะวันอยู่ในช่วง 4.3-22 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง และทำการ

วัดขนาดและรูปร่าง น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ด ความหนาแน่น ความพรุน มุมกอง สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิววัสดุ 3 ชนิด คือ พลาสติก เหล็กชุบสังกะสี และไม้อัด

การศึกษาผลของความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดทานตะวัน [15] ดำเนินการศึกษาโดยกำหนดความชื้นของเมล็ดทานตะวันอยู่ในช่วง 4-22 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และทำการวัดขนาดและรูปร่าง น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ด ความหนาแน่น ความพรุน มุมกอง สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิววัสดุ 3 ชนิด คือ พลาสติก เหล็กชุบสังกะสี และไม้อัด

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพข้าวเปลือกก่อนนึ่งและหลังนึ่งของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 [16] ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบพัฒนาเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษานี้จึงได้ดำเนินการหาขนาด รูปร่าง (ความยาว ความกว้าง ความหนา) เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (equivalent diameter) น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ด ความหนาแน่นรวม มุมคงสภาพกอง และมุมไหลของเมล็ด

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว [17] และศึกษาการคั่วเมล็ดกาแฟเพื่อหาสภาวะ การคั่วเบื้องต้นเพื่อที่จะนำไปสู่การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยการทดลองพบว่า ผลโดยรวมของความ กว้าง ยาว หนา เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean diameter) และ พื้นที่ผิว เพิ่มมากขึ้น และในส่วนของความชื้น น้ำหนักเมล็ด และความหนาแน่นรวม มีค่าลดลงตามระดับของการคั่ว

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบวิธีการหาสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นในการออกแบบ ได้แก่ รูปร่าง ขนาด ปริมาตร พื้นที่ผิว ความหนาแน่น ความพรุน ความถ่วงจำเพาะ มุมกอง ความแน่นเนื้อ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคามีหลักการทำงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีความรู้และการคำนวณถึงคุณสมบัติดังกล่าวเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ โดยได้ทำการสรุปสูตรการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตาราง 2.2

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 2.2 ตารางสรุปคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเมล็ดถั่วดาวอินคาและเมล็ดพืชอื่น

คุณสมบัติของเมล็ดพืช	การคำนวณ	ผู้วิจัย
1. ขนาดและรูปร่าง (Size and shape) D_g = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต D_p = เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า D_a = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต D = เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล $S_p, \emptyset$ = ความเป็นทรงกลม	$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}}$ $D_g = (abc)^{\frac{1}{3}}$ $D_p = (L\frac{(W+T)^2}{4})^{\frac{1}{3}}$ $D_a = \frac{(L+W+T)}{3}$ $D = [4l(\frac{b+t}{4})^2]^{\frac{1}{3}}$ $S_p = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L}$ $\emptyset = \frac{D_g}{b}$	[14] [15] [16] [17]
2. ปริมาตร (Volume) V, V_s = ปริมาตร	$V = 0.25[(\frac{\pi}{6})L(W+T)^2$ $V = [\frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-B)}]$ $V_s = \frac{[(\pi ac)b^2]}{6[2b-(ac)^{\frac{1}{2}}]}$	[14] [15] [17]
3. พื้นที่ผิว (Surface area) S = พื้นที่ผิว	$S = \frac{\pi BL^2}{6(2L-B)}$ $B = \sqrt{WT}$ $S = \pi(D_g)^2$	[14] [15] [17]

ตาราง 2.2 ตารางสรุปคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเมล็ดถั่วดาวอินคาและเมล็ดพืชอื่น (ต่อ)

คุณสมบัติของเมล็ดพืช	การคำนวณ	ผู้วิจัย
4. การหาความหนาแน่น (density) ρ_b = ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ρ_t = ความหนาแน่นเนื้อ (True Density) ε = ความพรุน(Porosity)	$\rho_b = \frac{M_s}{V_b}$ $\rho_b = \frac{W}{V}$ $\rho_t = \frac{W}{V}$ $\varepsilon = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}) \times 100$ $\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_b} \times 100$	[13] [14] [15] [17] [12]
5. การหาความชื้น M, M_c = ความชื้น (Moisture content) Q = น้ำหนักของน้ำที่จำเป็น	$M = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$ $M_c = \frac{M_a - M_b}{M_a} \times 100$ $Q = \frac{W_t(M_f - M_i)}{100 - M_f} \times 100$	[13] [14] [15] [17]
6. การหามุมคงสภาพกอง θ = มุมคงสภาพกอง (Angle of repose)	$\theta = \tan^{-1}(\frac{2H}{D})$	[16] [12]
7. การหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต μ = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (Coefficient of static Friction)	$\mu = \tan\theta$	[13] [14] [12]

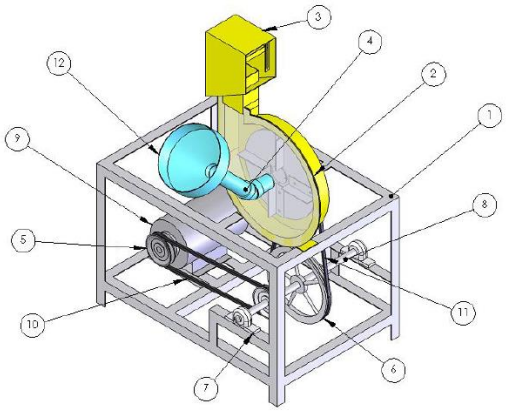
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกะเทาะและทำความสะอาดเมล็ดพืช

ถั่วดาวอินเป็นพืชที่ใหม่สำหรับประเทศไทย จึงทำให้ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกะเทาะถั่วดาวอินคาโดยตรง แต่พบว่าปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครื่องกะเทาะเมล็ดพืชอื่นๆ เช่น

การศึกษาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [5] โดยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังรอบแนวรัศมีของจานเหวี่ยงที่มีการบุด้วยสายพานผ้าใบเพื่อลดการแตกของเมล็ด โดยใช้ความเร็วเชิงเส้น 35 เมตรต่อวินาที แล้วทำการคัดแยกด้วยตะแกรงซิกแซก โดยอาศัยความแตกต่างแรงเสียดทานของผิวของเมล็ดที่กะเทาะและไม่กะเทาะที่กระทำต่อพื้นผิวเมล็ดหรือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตที่มีความแตกต่างกันประมาณ 3 ค่า พบว่า มีความสามารถในการกะเทาะ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม 53 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 14 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่กะเทาะ 32 เปอร์เซ็นต์ สามารถขัดแยกได้หมดโดยสมบูรณ์ที่ความเร็วรอบ 110 รอบต่อนาที มุมเอียง 3 องศา มีความสามารถในการคัดแยก 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อการป้อน 6 ช่อง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.13

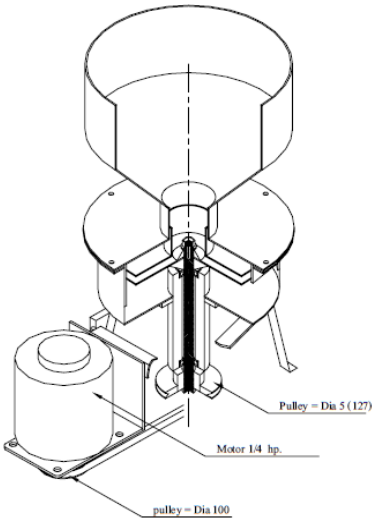
ภาพประกอบ 2.13 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [5]

การศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [11] โดยใช้หลักการแรงเหวี่ยง ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะห่างเป้ากระทบกับช่องทางออก ความชื้น อัตราการป้อน ชนิดผนังเป้ากระทบ ความเร็วรอบจานเหวี่ยง และการคัดแยก พบว่า ระยะห่างเป้ากระทบกับช่องทางออกที่เหมาะสมคือ 6 เซนติเมตร ความชื้นเมล็ดอยู่ระหว่าง 6.75-9.94 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราการป้อนอยู่ระหว่าง 50-80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วรอบจานเหวี่ยงอยู่ในช่วง 1789-1949 รอบต่อนาที ผนังเป้ากระทบเป็นพื้นเหล็ก การคัดแยกทำงานได้ดีที่มุมเอียง 20 องศา สามารถคัดแยกเมล็ดในออกจากเมล็ดไม่กะเทาะได้ 99.7 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเมล็ดที่ไม่กะเทาะเจือปนอยู่ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.14



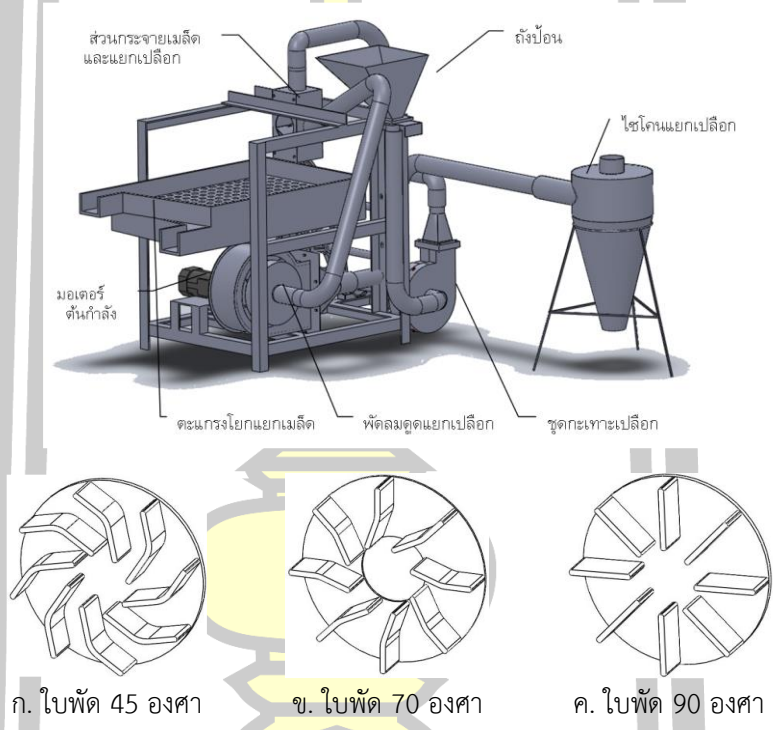
ภาพประกอบ 2.14 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน [11]

การศึกษาการออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดทานตะวัน โดยใช้หลักการแบบแรงเหวี่ยง [10] ซึ่งประกอบด้วยชุดกะเทาะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ใช้ต้นกำลังขนาด 1/4 แรงม้า ส่งผ่านสายพานเพื่อขับจานกะเทาะ ทำการทดสอบที่ความชื้น 5 ระดับ คือ 6, 8, 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก วัสดุรองกระทบ 3 ชนิด คือ ยางขัดข้าว สายพานแบน และเหล็ก ความเร็วรอบ 4 ระดับ คือ 1,640, 2,000, 2,250 และ 2,500 รอบต่อนาที พบว่า มีความสามารถในการทำงาน 125 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 65.16 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม 60.23 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้นเมล็ด 12 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยใช้สายพานแบนเป็นวัสดุรองกระทบ และความเร็วรอบ 2,250 รอบต่อนาที ใช้งานคุ้มทุนที่ 3,305.4 กิโลกรัมต่อปี ดังแสดงในภาพประกอบ 2.15



ภาพประกอบ 2.15 เครื่องกะเทาะเมล็ดทานตะวัน [10]

การศึกษาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ [18] โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ถังป้อน ชุดกะเทาะ ส่วนกระจายเมล็ดและแยกเปลือก พัดลมดูดแยกเปลือก ไซโคลน ตะแกรงโยกแยกเมล็ด ทำการทดสอบโดยปรับมุมใบพัด 3 ระดับ คือ 45, 70 และ 90 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16 พบว่า ที่ความเร็วรอบจานเหวี่ยงกะเทาะ 4,200 รอบต่อนาที ที่มุมใบพัด 45 องศา ทำให้การกะเทาะดีที่สุดด้วยประสิทธิภาพ 58 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการกะเทาะเป็น 19 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



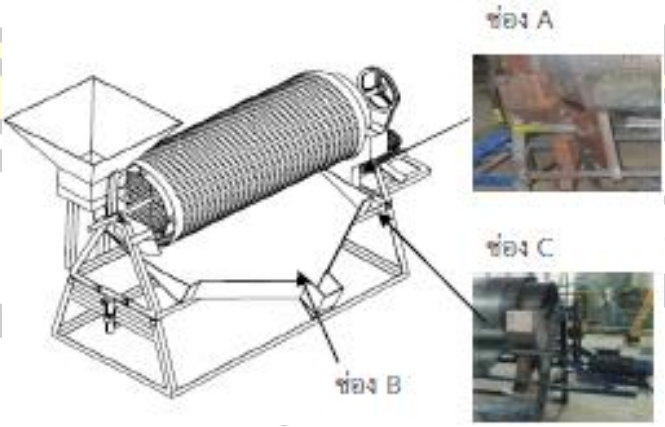
ก. ใบพัด 45 องศา ข. ใบพัด 70 องศา ค. ใบพัด 90 องศา

ภาพประกอบ 2.16 เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [18]

การศึกษาเครื่องกะเทาะลูกเดือยขนาดเล็ก [19] โดยใช้หลักการของแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนของลูกกะเทาะแบบลูกหินแนวนอนกับแท่นยาง ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ ชุดป้อนลูกเดือยแบบโรตารี่ ชุดกะเทาะลูกเดือยแบบลูกหินแนวนอน ชุดทำความสะอาดแบบลมดูด (ภาพประกอบ 2.17) และชุดคัดแยกแบบตะแกรงหมุนแบบทรงกระบอก (ภาพประกอบ 2.18) จากการทดสอบ พบว่า ที่อัตราการป้อนลูกเดือยที่ระดับ 105 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เคลียรันซ์ขนาด 5 มิลลิเมตร ความเร็วเชิงเส้นลูกกะเทาะ 565.20 เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชุดกะเทาะลูกเดือย และสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของชุดทำความสะอาดและชุดคัดแยกแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุนมีรายละเอียดผลการทดสอบดังนี้คือ ที่ระดับความเร็วลมดูด 3 เมตรต่อ

วินาที ขนาดมุมเอียงของแผ่นโรยเมล็ด 40 องศา ที่ความเร็วเชิงเส้นตะแกรงทรงกระบอกหมุน 23.55 เมตรต่อวินาที และขนาดมุมลาดเอียงของตะแกรง 1 องศา สามารถทำให้เครื่องกะเทาะลูกเดือยขนาดเล็กมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 94.50 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดในเต็มเมล็ด 77.44 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์แตกหักเล็กน้อย 19.48 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์แตกหักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย 3.08 เปอร์เซ็นต์ การปนเปื้อนของเปลือกที่ช่องทางออกลูกเดือย 1.30 เปอร์เซ็นต์ และสูญเสียลูกเดือยปนติดไปกับเปลือก 0.44 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ดสูงสุดเฉลี่ย 94.17 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความสะอาดของเมล็ดที่ทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าสูงกว่า 99.70 เปอร์เซ็นต์ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 3,194.73 กิโลกรัมต่อปี และระยะเวลาคืนทุน 7.78 ปี

ภาพประกอบ 2.17 เครื่องกะเทาะลูกเดือยขนาดเล็ก [19]

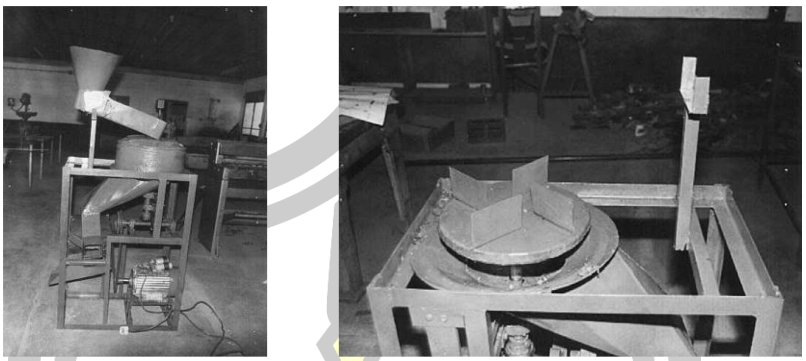


ภาพประกอบ 2.18 ชุดทำความสะอาดและชุดคัดแยกแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน [19]

การศึกษาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม [4] โดยให้มีชุดคัดขนาดและชุดกะเทาะอยู่ในเครื่องเดียวกัน โดยชุดคัดขนาดประกอบด้วยเพลากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 เซนติเมตร 2 เพลา โดยเป็นเพลาเรียบ 1 เพลา และเพลาเกลียว 1 เพลา วางทำมุมเอียง 3.58 องศา ที่ระยะห่างเพลา 18-32 เซนติเมตร และเพลามีความยาว 80 เซนติเมตร ส่วนชุดกะเทาะประกอบด้วยใบมีดเคลื่อนที่และใบมีดอยู่กับที่ ติดตั้งบนผิวท่อเหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ทำงานที่ความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที ดังแสดงในภาพประกอบ 2.19 พบว่า มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 191.87 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เมล็ดเนื้อในเต็มเฉลี่ย 61.68 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดเนื้อในแตกเฉลี่ย 11.97 เปอร์เซ็นต์ กะลาที่ถูกกะเทาะบางส่วนเฉลี่ย 11.64 เปอร์เซ็นต์ กะลาไม่ถูกกะเทาะเฉลี่ย 4.99 เปอร์เซ็นต์ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2,334 กิโลกรัมต่อปี

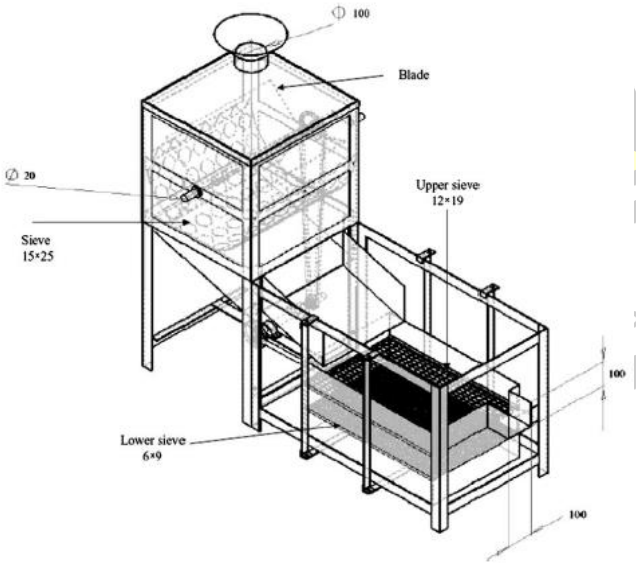
ภาพประกอบ 2.19 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม [4]

การพัฒนาและการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเชียนัท [20] ออกแบบโดยมีช่องป้อนอยู่ด้านบนและมีรางลำเลียงเมล็ดเข้าสู่ชุดกะเทาะซึ่งติดตั้งในแนวตั้งส่งกำลังด้วยสายพานและเฟืองทดขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ชุดใบพัดกะเทาะเป็นสี่เหลี่ยมติดตั้งตามเส้นโค้งของลูกกะเทาะ ทำงานโดยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้เมล็ดกระทบกับผนังท่อ โดยทำการทดสอบโดยกำหนดค่าความชื้น 4 ค่า คือ 6 13 22.7 และ 27.9 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง อัตราการป้อน 4 ค่า คือ 11.4 15.5 23.1 และ 45.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แล้วทำการบันทึกผล พบว่า เครื่องกะเทาะมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการคัดแยก 97 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อน 11.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความชื้น 22.7 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.20



ภาพประกอบ 2.20 เครื่องกะเทาะเชียนัท [20]

การออกแบบ การพัฒนาและการทดสอบเครื่องกะเทาะสบู่ดำแบบกึ่งอัตโนมัติ [21] โดยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงเมล็ดกระทบกับผนัง ซึ่งมีส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ โครงสร้าง กรวยป้อนวัสดุ ห้องกะเทาะ ตะแกรงเว้า ใบมีดหมุน ตู้ควบคุม และตะแกรงสั่นเพื่อคัดแยกเมล็ดและเปลือก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.21 ทำการทดสอบโดยกำหนดค่าความชื้นที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ (7.97, 10.53, 13.09 และ15.65 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง) ร่วมกับระยะห่างของตะแกรงเว้าและใบมีดหมุน (18 มิลลิเมตร 21 มิลลิเมตร 24 มิลลิเมตรและ 27 มิลลิเมตร) พบว่า มีการกะเทาะที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขความชื้น 7.97 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ที่ระยะห่างระหว่างตะแกรงเว้าและใบมีด 21 มิลลิเมตร ได้เมล็ดเต็มสูงสุด 67.94 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพของเครื่อง 90.96 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 2.21 เครื่องกะเทาะสบู่ดำแบบกึ่งอัตโนมัติ [21]

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบเทคโนโลยีการกะเทาะเมล็ดพืช หลักการและวิธีการ รวมถึงปัจจัยและระดับความเหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ดพืช ดังนั้น เพื่อให้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคามีหลักการทำงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดปัจจัยในการทดสอบการทำงานเบื้องต้น จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลดังกล่าว โดยได้ทำการสรุปหลักการและเงื่อนไขการทดสอบของงานวิจัยต่างๆ ดังแสดงในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ตารางสรุปหลักการการกะเทาะและการประเมินผล

ที่	ชนิดของเมล็ดพืช	หลักการกะเทาะ	ตัวแปรต้น	ค่าชี้ผล	ผู้วิจัย
1	เมล็ดทานตะวัน	ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังรอบแนวรัศมี	ความเร็วรอบ 2200 รอบ/นาที ความชื้น 8-10 %wb	-ความสามารถในการกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก -เปอร์เซ็นต์ไม่กะเทาะ	[5]
2	เมล็ดทานตะวัน	ใช้หลักการแรงแบบเหวี่ยง	-ระยะห่างเป้ากระทบกับช่องทางออก (2, 4, 6, 8 cm) -ความชื้น (6.75, 9.94, 15 %wb) -อัตราการป้อน (25, 50, 80, 120 kg/hr) -ชนิดผนังเป้า กระทบ (เหล็ก, สายพานยาง, Polyethylene) -ความเร็วรอบจานเหวี่ยง (1435, 1789, 1949, 2240 rpm)	-เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักบางส่วน -เปอร์เซ็นต์เมล็ดหักกลาง -เปอร์เซ็นต์เมล็ดหักเล็กน้อย	[11]

ตาราง 2.3 ตารางสรุปหลักการการกะเทาะและการประเมินผล (ต่อ)

ที่	ชนิดของเมล็ดพืช	หลักการกะเทาะ	ตัวแปรต้น	ค่าชี้ผล	ผู้วิจัย
3	เมล็ดทานตะวัน	ใช้หลักการแบบแรงเหวี่ยง	-ความชื้น (6, 8, 10, 12, 14 %wb) วัสดุรองกระทบ (ยางขัดข้าว สายพานแบนและเหล็ก) ความเร็วรอบ (1,640, 2,000, 2,250, 2,500 rpm)	-ความสามารถในการทำงาน -เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก	[10]
4	เมล็ดมะรุม	ใช้หลักการแบบแรงเหวี่ยง	มุมใบพัด (45, 70, 90°) ความเร็วรอบการหมุนของจาน (4200 rpm) ชนิดของผนังเป้ากระทบ (แผ่นโลหะ)	-เปอร์เซ็นต์เมล็ดกะเทาะสมบูรณ์ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก -เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ	[18]
5	เมล็ดลูกเดือย	ใช้หลักการของแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนของลูกกะเทาะแบบลูกหินแนวนอนกับแท่นยาง	-อัตราการป้อน 75, 90, 105 kg/hr) -เคลียรันซ์ (4, 5, 6 mm) -ความเร็วรอบลูกกะเทาะ (550, 600, 650 rpm)	-เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเมล็ด -เปอร์เซ็นต์แตกหักเล็กน้อย -เปอร์เซ็นต์แตกหักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย	[19]
6	เมล็ดมะคาเดเมีย	ใช้หลักการการบีบอัดและแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนของลูกกะเทาะ	ความเร็วรอบลูกกะเทาะ (120, 130, 140, 150, 160 rpm)	-ความสามารถในการทำงาน -เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็ม -เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตก -เปอร์เซ็นต์กะลาที่ถูกกะเทาะบางส่วน -เปอร์เซ็นต์กะลาไม่ถูกกะเทาะ	[4]

ตาราง 2.3 ตารางสรุปหลักการการกะเทาะและการประเมินผล (ต่อ)

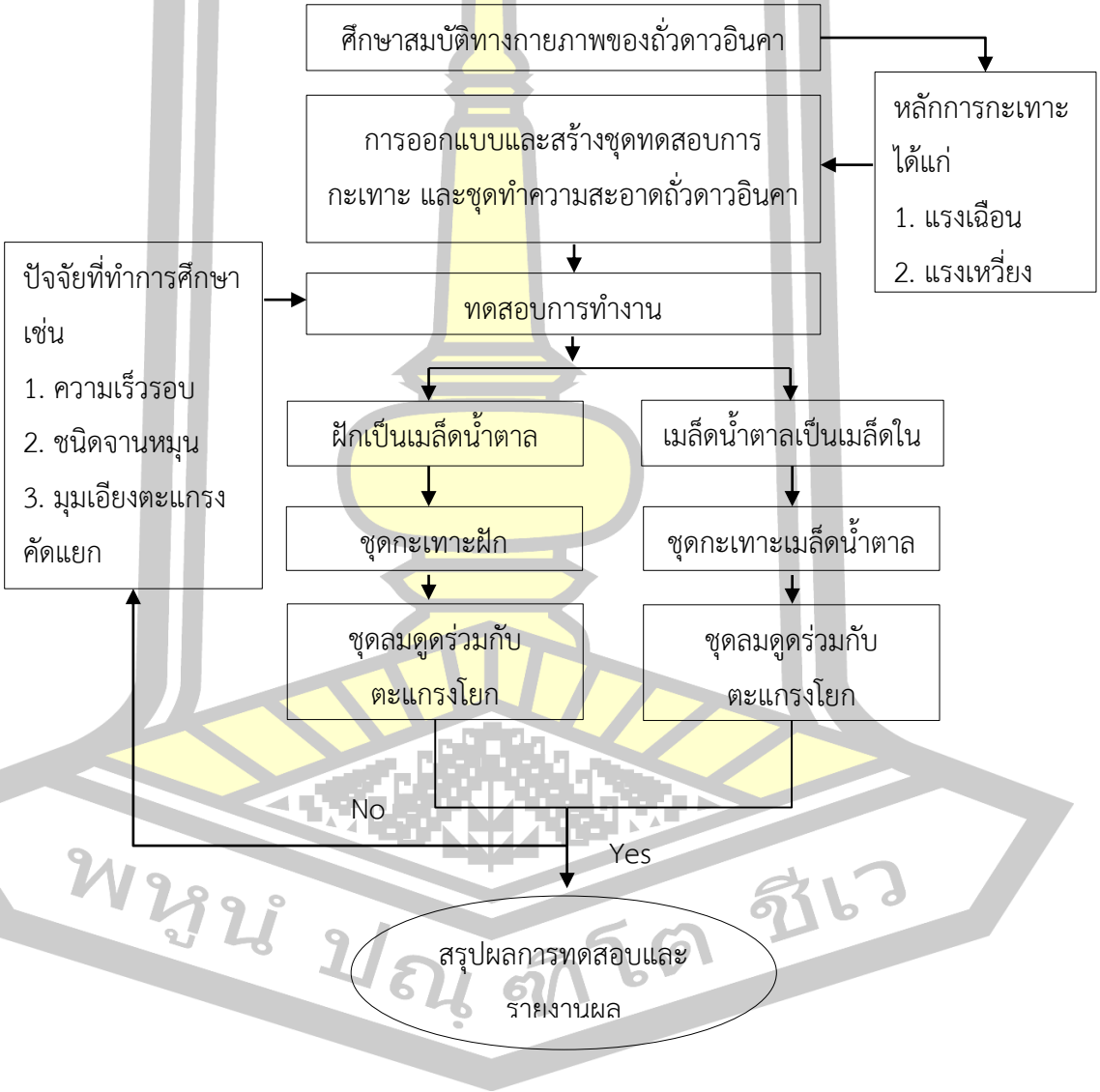
ที่	ชนิดของเมล็ดพืช	หลักการกะเทาะ	ตัวแปรต้น	ค่าชี้ผล	ผู้วิจัย
7	เชียนัท	ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้เมล็ดกระทบกับผนังท่อ	-ความชื้น (6, 13, 22.7, 27.9 %db) -อัตราการป้อน (11.4, 15.5, 23.1, 45.2 kg/hr) -มุมใบพัด (90, 60, 45, 30 องศา)	-เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก -เปอร์เซ็นต์เมล็ดกะเทาะบางส่วน -เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่กะเทาะ	[20]
8	สบู่ดำ	ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงเมล็ดกระทบกับผนัง	-ความชื้นที่ (7.97, 10.53, 13.09, 15.65 %db) -ระยะห่างของตะแกรงเว้าและใบมีดหมุน (18, 21, 24, 27 mm)	-เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม -เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกและฝุ่นละออง -เปอร์เซ็นต์ผลที่กะเทาะบางส่วน -เปอร์เซ็นต์ไม่กะเทาะ	[21]

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินการวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา จึงได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในภาพประกอบ 3.1



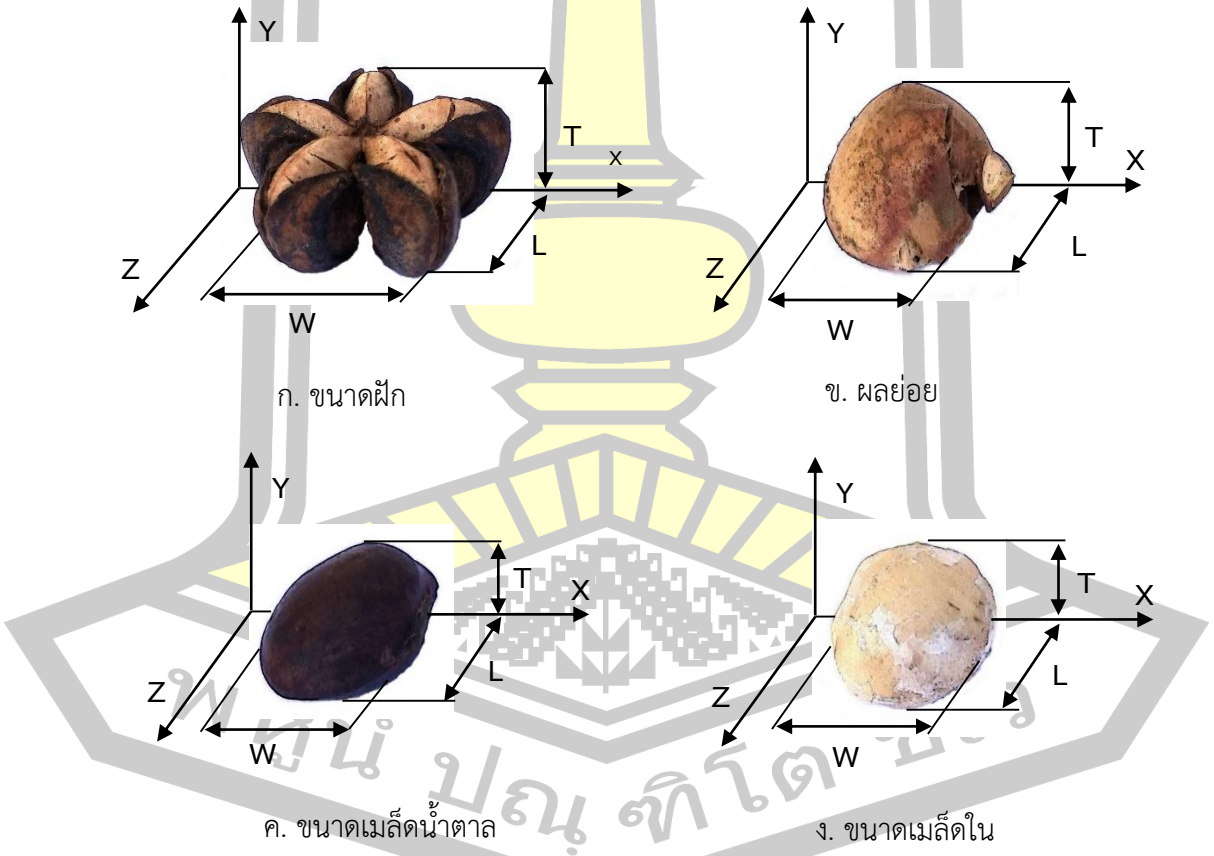
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านขนาดเมล็ดและรูปร่าง น้ำหนักต่อเมล็ด ความหนาแน่น มุมการไหล และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหลักการการกะเทาะ และวิธีการทำความสะอาด

3.1.1 การหาขนาดและรูปร่าง

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดและรูปร่างของฝักและเมล็ด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบหลักการการกะเทาะ การลำเลียง การคัดแยก ขนาดรูตะแกรงคัดแยก และการเก็บรักษา ดำเนินการศึกษาโดยสุ่มวัดขนาดฝัก ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน โดยทำการวัดด้านของเมล็ดสามด้านที่ตั้งฉากกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 การวัดขนาดถั่วดาวอินคา

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และความเป็นทรงกลมดังสมการ [14] [15]

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad \text{..... (3-1)}$$

$$S_p = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad \text{..... (3-2)}$$

เมื่อ D_g = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขคณิต (มิลลิเมตร)

L = ความยาว (มิลลิเมตร)

W = ความกว้าง (มิลลิเมตร)

T = ความหนา (มิลลิเมตร)

S_p = ความเป็นทรงกลม

3.1.2 การหาน้ำหนักต่อเมล็ด

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาน้ำหนักเมล็ด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบอัตราการป้อน การลำเลียง การคัดแยก การเก็บรักษา และใช้บอกปริมาณเชิงวัสดุ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องในเชิงวัสดุ ดำเนินการศึกษาโดยสุ่มฝัก ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน ตัวอย่างละ 100 เมล็ด และทำการชั่งน้ำหนัก [14] [15]

3.1.3 การหาความหนาแน่น

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นรวม ของเมล็ดถั่วดาวอินคา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบถังป้อนวัสดุ อัตราการป้อน การลำเลียง และถังบรรจุ โดยความหนาแน่นรวมดำเนินการศึกษาโดยบรรจุเมล็ดในภาชนะที่มีปริมาตรแน่นอน แล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่น จากสมการ [13] [14] [15]

$$\rho = \frac{W}{V} \quad \text{..... (3-3)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

W = น้ำหนัก (กิโลกรัม)

3.1.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบถังป้อนวัสดุ การลำเลียง มุมลาดเอียงของตะแกรงคัดแยกและมุมลาดเอียงของช่องทางการไหล รวมถึงถังเก็บรักษา ดำเนินการศึกษาโดยกำหนดที่พื้นผิว 3 อย่าง คือ ไม้ เหล็ก และพลาสติก โดยนำเมล็ดวางบนปลายด้านหนึ่งของแต่ละพื้นผิว จากนั้นค่อยๆ ยกปลายด้านที่มีเมล็ดขึ้นโดยทำมุมกับแนวระดับ จนกระทั่งเมล็ดเริ่มไหลลงด้วยแรงดึงดูดของโลก แล้วทำการวัดมุม จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากสมการ [12] [13] [14]

$$\mu = \tan\theta \qquad \text{..... (3-4)}$$

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะ และทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบการกะเทาะและทำความสะอาดที่เหมาะสมกับเมล็ดถั่วดาวอินคา ซึ่งจากข้อมูลข้อ 3.1 ทำให้เห็นว่าลักษณะรูปร่างของถั่วดาวอินคามีความซับซ้อนเนื่องจากถั่วดาวอินคามีเปลือกหลายชั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและสร้างชุดทดสอบกะเทาะและทำความสะอาดที่เหมาะสมกับถั่วดาวอินคาที่สุด

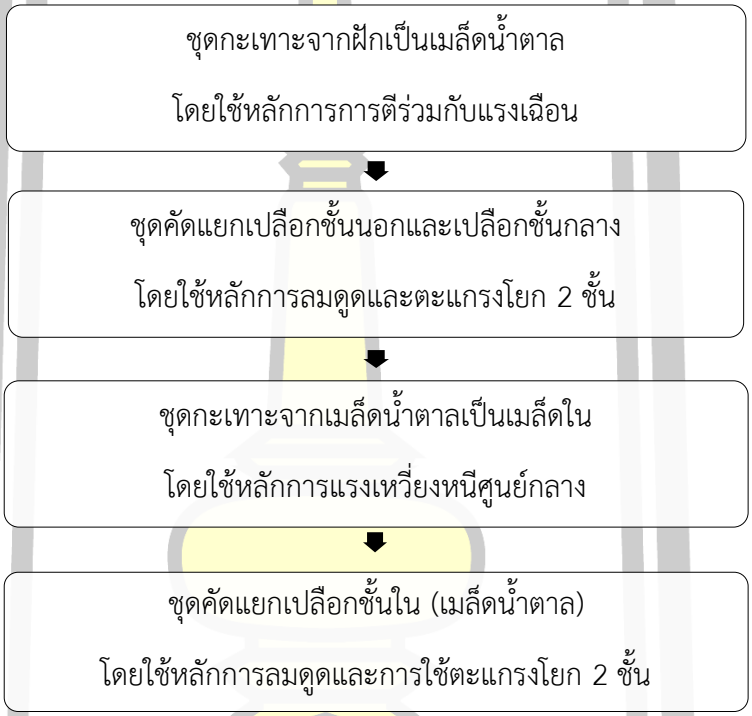
3.2.1 การเลือกหลักการการทำงานที่เหมาะสม

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคาเพื่อใช้ในการออกแบบตามหัวข้อ 3.1 ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบการกะเทาะ การลำเลียง อัตราการป้อนวัสดุ การคัดแยกเมล็ด และการเก็บรักษา และจากการศึกษาเทคโนโลยี หลักการการกะเทาะและการทำความสะอาด และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การศึกษาบรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงมีการพิจารณาเลือกหลักการการกะเทาะและทำความสะอาดที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมตามที่ผู้ประกอบการต้องการและยอมรับได้

3.2.2 การออกแบบและสร้างชุดทดสอบการกะเทาะ และชุดทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบชุดกะเทาะ และชุดทำความสะอาดที่เหมาะสมกับเมล็ดถั่วดาวอินคา ซึ่งจากข้อมูลข้อ 3.1 ทำให้เห็นว่าลักษณะรูปร่างของถั่วดาวอินคามีความซับซ้อนเนื่องจากถั่วดาวอินคามีเปลือกหลายชั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบการกะเทาะและทำความสะอาดเป็น 2 ขั้นตอน คือ การกะเทาะจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล และการกะเทาะจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน โดยจากการศึกษารวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการทดสอบ

เบื้องต้น ทำให้เห็นว่าในขั้นตอนการกะเทาะจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล จะใช้หลักการการตีร่วมกับแรงเฉือน และชุดทำความสะอาดจะใช้หลักการการโรยเมล็ดผ่านใบซิกแซกร่วมกับการใช้ลมดูดและตะแกรงโยก 2 ชั้น และในส่วนขั้นตอนการกะเทาะเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดในจะอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงเมล็ดไปกระทบผนัง และชุดทำความสะอาดจะใช้หลักการการโรยเมล็ดผ่านใบซิกแซกร่วมกับการใช้ลมดูดและตะแกรงโยก 2 ชั้น รวมถึงหลักการการทำงานอื่นที่เหมาะสมเพื่อดำเนินการออกแบบแล้วจึงสร้างชุดกะเทาะ และชุดทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

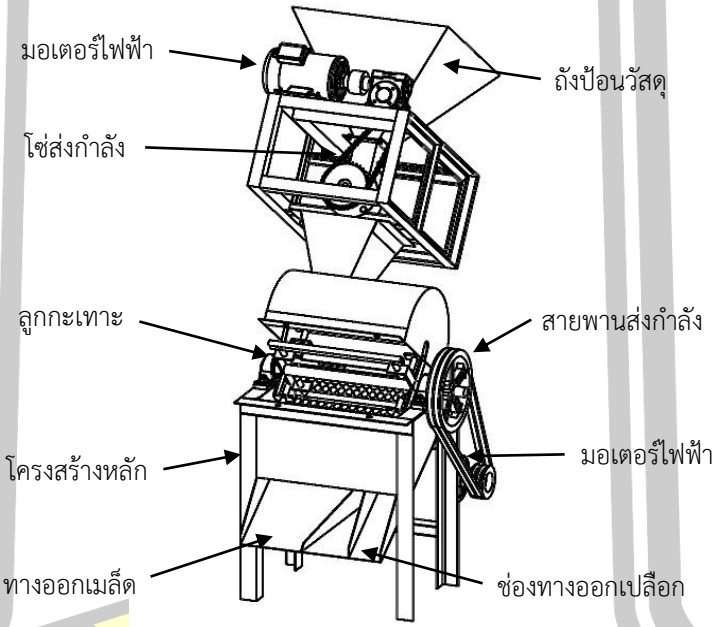


ภาพประกอบ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

1. ชุดกะเทาะฝัก

เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ ชุดโรตารี่ป้อนฝักและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ได้มีการนำข้อมูลในส่วนของความหนาแน่นและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตจากบทที่ 4 ข้อ 4.1.4 และ 4.1.5 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบคือ จากข้อมูล พบว่า ฝักถั่วดาวอินคามีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 196.82 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นผิวเหล็กมีค่าน้อยกว่าพื้นผิววัสดุชนิดอื่น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.56 และมุมการไถลเฉลี่ยอยู่ที่ 29.16 องศา ดั้งนั้น ชุดโรตารี่จึงถูกออกแบบให้สามารถรองรับอัตราการป้อนของฝักได้ไม่ต่ำกว่าความหนาแน่น และองศาของถังป้อนวัสดุ ไม่น้อยกว่า 29.16 องศา และใน

ส่วนของชุดกะเทาะได้มีการนำข้อมูลในส่วนของขนาดฝัก ผลย่อย และเมล็ดน้ำตาล จากหัวข้อ 4.1.1 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบคือ จากข้อมูล พบว่า ฝักดาวอินคามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตเฉลี่ยอยู่ที่ 32.60 มิลลิเมตร ดังนั้น ชุดกะเทาะจึงถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะและตะแกรงเว้า ได้สูงสุด 30 มิลลิเมตร และด้านที่ยาวที่สุดของผลย่อย เมล็ดน้ำตาล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22.99 และ 18.79 มิลลิเมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าความเป็นทรงกลมซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 บ่งบอกว่ามีความเป็นทรงกลมสูง ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำมาเป็นตัวกำหนดในการเลือกขนาดและชนิดของรูตะแกรงเว้า โดยในการออกแบบได้เลือกชนิดรูตะแกรงเป็นแบบรูกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สำหรับแยกฝักที่ไม่กะเทาะและเมล็ดน้ำตาลออกจากกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4

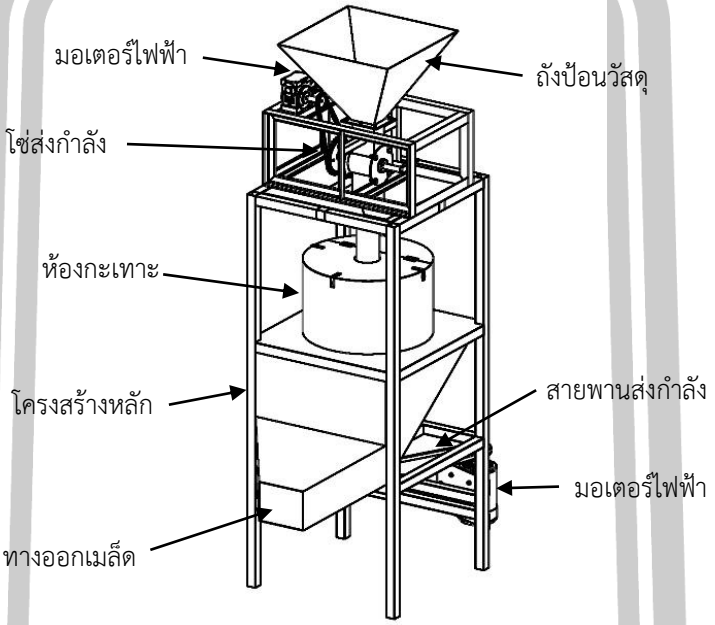


ภาพประกอบ 3.4 ส่วนประกอบของเครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

2. ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ ชุดโรตารี่ป้อนและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ป้อนได้มีการใช้ร่วมกันกับโรตารี่ชุดป้อนฝักซึ่งได้ทำการออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ และในส่วนของชุดกะเทาะได้มีการนำข้อมูลในส่วนของขนาดเมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน ในบทที่ 4 ข้อ 4.1.1 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบคือ จากข้อมูลพบว่า เมล็ดน้ำตาลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตเฉลี่ยอยู่ที่ 13.75 มิลลิเมตร และความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 564.05 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ชุดจานหมุนเหวี่ยงกะเทาะจึงถูกออกแบบ

ให้มีช่องทางออกของเมล็ดเท่ากับ 38 มิลลิเมตร เพื่อให้เมล็ดน้ำตาลสามารถเหวี่ยงออกได้ และในส่วนของช่องทางออกเมล็ดได้ใช้ข้อมูลในส่วนของมุมการไถลและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต ซึ่งเมล็ดน้ำตาลมีมุมการไถลและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวเหล็กเฉลี่ยอยู่ที่ 18.45 องศา และ 0.33 ตามลำดับ ช่องทางออกจึงถูกออกแบบให้มีมุมการไหลไม่น้อยกว่า 18.45 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 ส่วนประกอบของเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

3. ชุดทำความสะอาดและคัดแยกถั่วดาวอินคา

ชุดทำความสะอาดถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องดูดลมและส่วนของตะแกรงโยก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

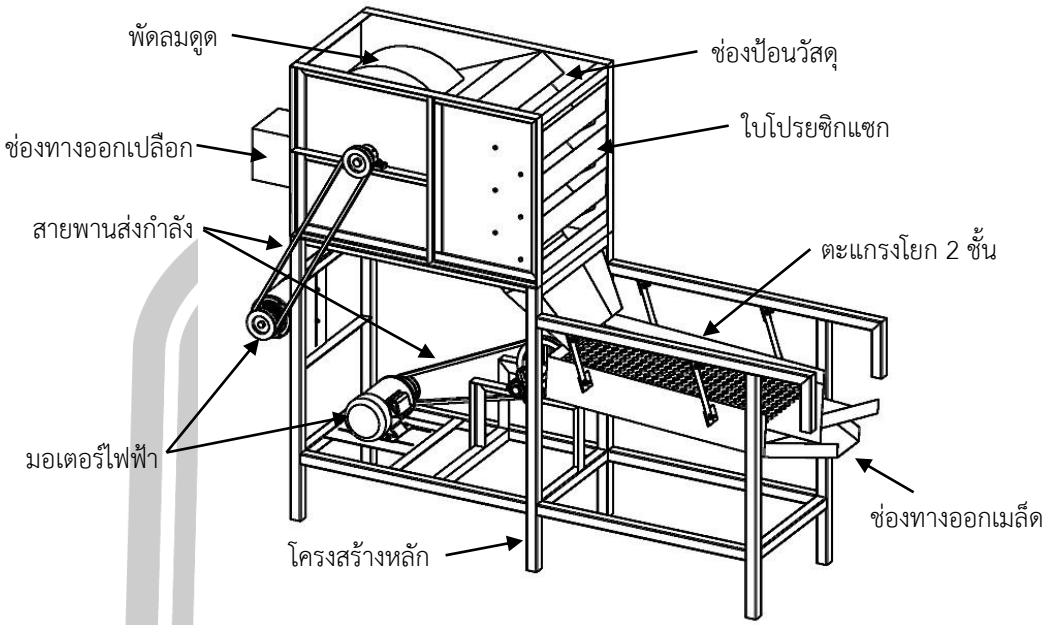
2.1 ชุดเครื่องดูดลม ได้มีการนำข้อมูลในส่วนของความหนาแน่นและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตจากบทที่ 4 หัวข้อ 4.1.4 และ 4.1.5 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบคือ จากข้อมูล พบว่า ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 257.71, 564.05 และ 594.40 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฝัก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในที่พื้นผิวเหล็กมีค่าน้อยกว่าพื้นผิววัสดุชนิดอื่น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.56, 0.33 และ 0.38 และมุมการไถลเฉลี่ยอยู่ที่ 29.16, 18.45 และ 20.78 องศา ดั้งนั้น ชุดลมดูดเปลือกถูกออกแบบให้สามารถรองรับอัตราการป้อนของฝักได้ไม่ต่ำกว่าความหนาแน่น และองศาของใบโปรยซิกแซกสามารถปรับมุมเอียงได้ไม่น้อยกว่า 29.16 องศา

2.2 ชุดตะแกรงโยกคัดแยกแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ทำความสะอาดฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล และทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลให้เป็นเมล็ดใน ดังต่อไปนี้

กรณี 1 ทำความสะอาดฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาลได้มีการนำข้อมูลในส่วนของขนาดฝัก ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน จากหัวข้อ 4.1.1 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ คือ จากข้อมูล พบว่า ด้านที่ยาวที่สุดของผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22.99, 18.79 และ 16.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าความเป็นทรงกลมซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 บ่งบอกว่ามีความเป็นทรงกลมสูง ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำมาเป็นตัวกำหนดในการเลือกขนาดและชนิดของรูตะแกรงในการคัดแยก โดยในการออกแบบได้ทำการออกแบบตะแกรงให้เป็น 2 ชั้น ซึ่งชั้นแรกใช้คัดแยกเปลือกและฝักที่ไม่กะเทาะ โดยเลือกชนิดรูตะแกรงเป็นแบบรูกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกเมล็ดน้ำตาลและเมล็ดในออก และชั้นที่ 2 เลือกเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกเมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กๆ น้อยๆ ออก

กรณี 2 ทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลให้เป็นเมล็ดในได้มีการนำข้อมูลในส่วนของขนาดเมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน จากหัวข้อ 4.1.1 มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ คือ จากข้อมูล พบว่า ด้านที่ยาวที่สุดของเมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.79 และ 16.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าความเป็นทรงกลมซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 บ่งบอกว่ามีความเป็นทรงกลมสูง ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำมาเป็นตัวกำหนดในการเลือกขนาดและชนิดของรูตะแกรงในการคัดแยก โดยในการออกแบบได้ทำการออกแบบตะแกรงให้เป็น 2 ชั้น ซึ่งชั้นแรกใช้คัดแยกเปลือกและเมล็ดน้ำตาลที่ไม่กะเทาะ โดยเลือกชนิดรูตะแกรงเป็นแบบรูกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกเมล็ดน้ำตาลและเมล็ดในออก และชั้นที่ 2 เลือกเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกเมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กๆ น้อยๆ ออก ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 3.6 ส่วนประกอบของเครื่องทำความสะอาด

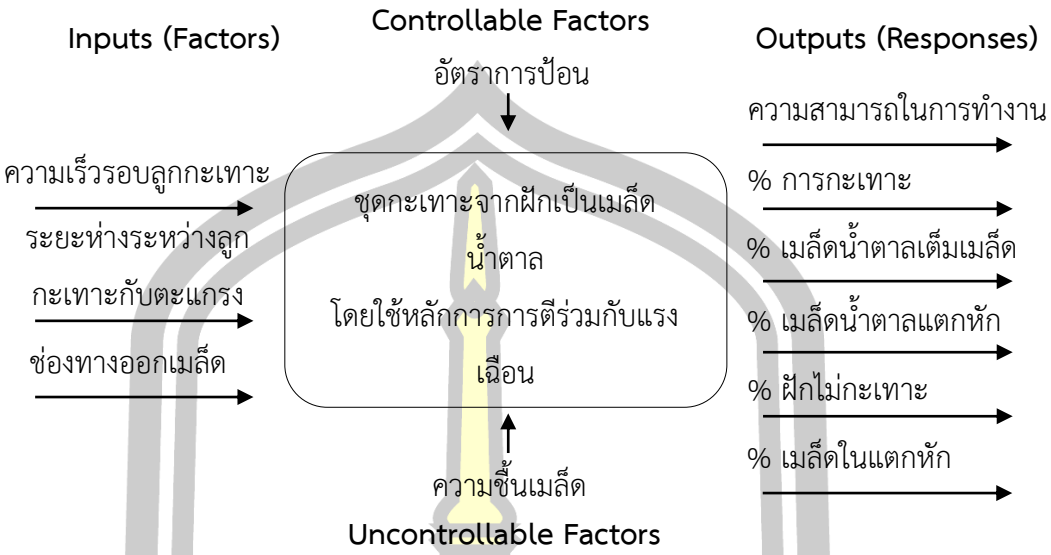
3.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

3.3.1 การวางแผนการทดสอบการทำงาน

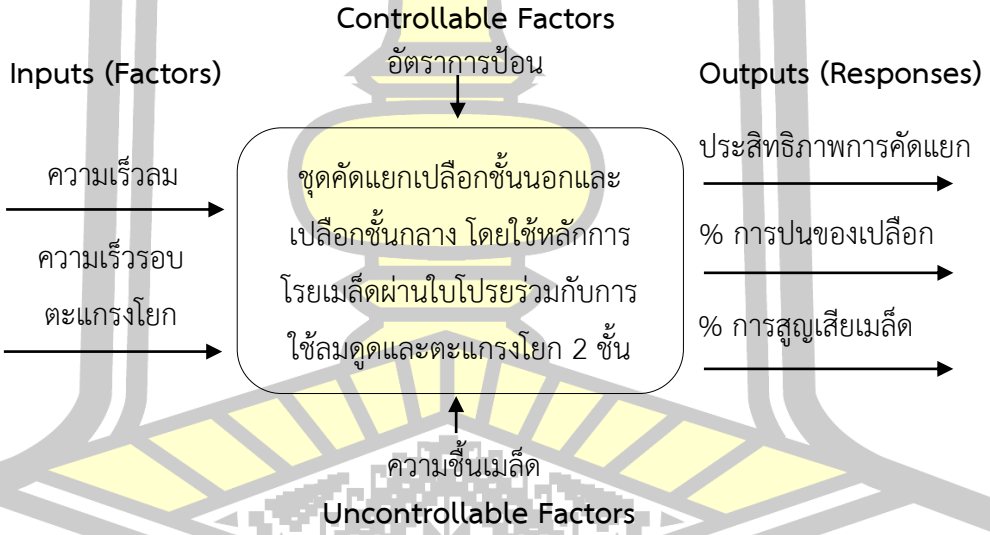
ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวางแผนการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของชุดกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา ในที่นี้จะดำเนินการทดสอบการทำงานตามหลักการการทำงานของชุดทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ โดยแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล และการกะเทาะและทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน

1. ชุดกะเทาะและชุดทำความสะอาดฝัก

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวางแผนการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของชุดกะเทาะ และชุดทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาลที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะและทำความสะอาดซึ่งมีอยู่หลายปัจจัย เพื่อดูแนวโน้มของแต่ละปัจจัยที่มีผลมาก น้อย หรือไม่มีผลต่อการกะเทาะและทำความสะอาด และเพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลเพื่อนำไปทดสอบอย่างละเอียดต่อไป ซึ่งมีการกำหนดปัจจัยดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 และ 3.8



ภาพประกอบ 3.7 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดกะเทาะฝัก

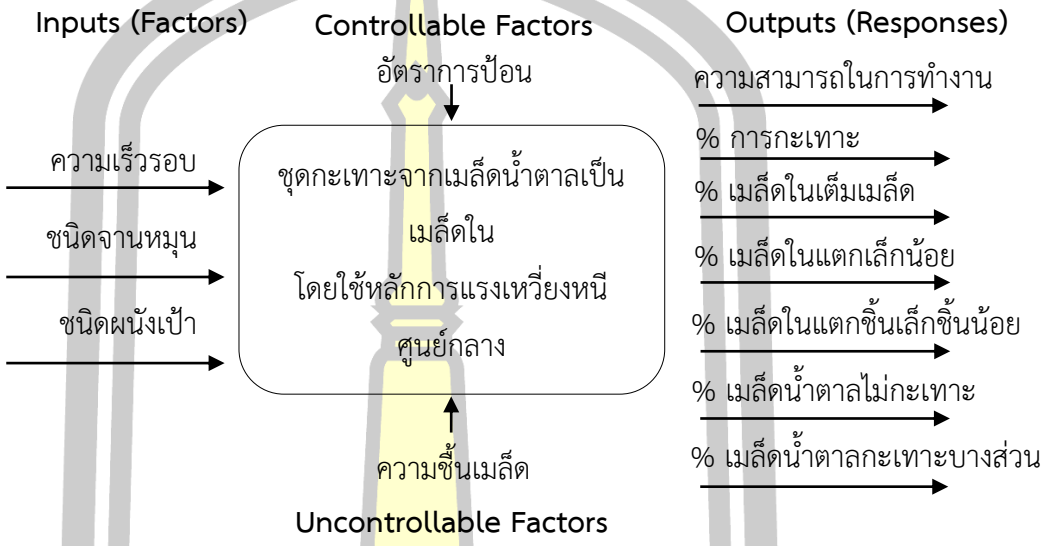


ภาพประกอบ 3.8 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดทำความสะอาดฝัก

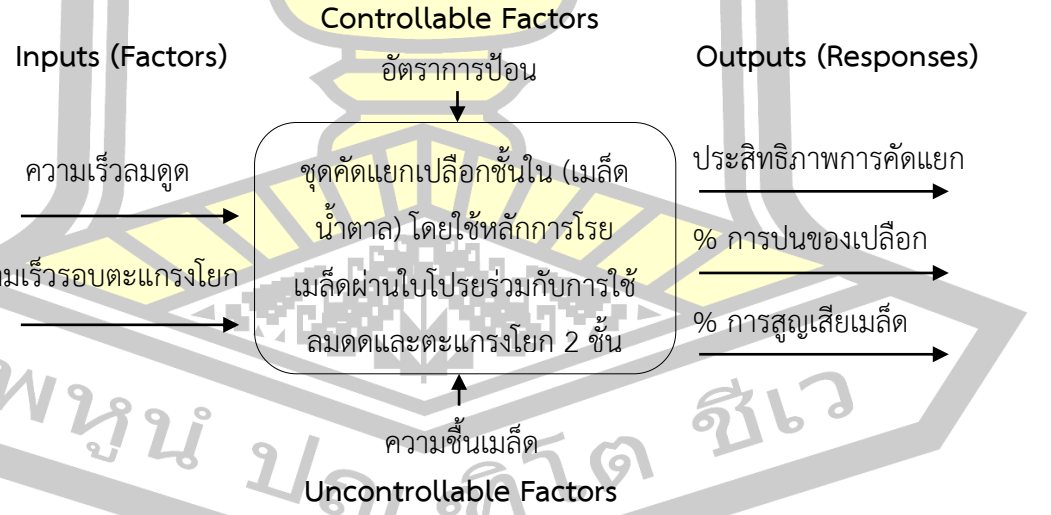
2. ชุดกะเทาะและชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวางแผนการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของชุดกะเทาะ และชุดทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดในที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะและทำความสะอาดซึ่งมีอยู่

หลายปัจจัย เพื่อดูแนวโน้มของแต่ละปัจจัยที่มีผลมาก น้อย หรือไม่มีผลต่อการกะเทาะและทำความสะอาด และเพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลเพื่อนำไปทดสอบอย่างละเอียดต่อไป ซึ่งมีการกำหนดปัจจัยดังแสดงในภาพประกอบ 3.9 และ 3.10



ภาพประกอบ 3.9 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล



ภาพประกอบ 3.10 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

3.3.2 การทดสอบการทำงาน

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานเบื้องต้นของชุดกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา ในที่นี้จะดำเนินการทดสอบการทำงานตามหลักการการทำงานของชุดทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล และการกะเทาะและทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน

1. การทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะและทำความสะอาดฝัก

1.1 วิธีการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการกะเทาะฝัก

ดำเนินการศึกษาโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล 3 ปัจจัย ดังนี้ 1) ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 3 ระดับ 2) ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรง 3 ระดับ และ 3) ช่องทางออกเมล็ด 3 ระดับ ตามลำดับ และใช้ถั่วดาวอินคาในพื้นที่ปลูกอำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นตัวอย่างในการการศึกษา โดยมีค่าชี้ผลดังนี้

1) ความสามารถในการทำงาน

2) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

3) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด

4) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก

5) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก

6) เปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ

วิธีการทดสอบ

1) นำตัวอย่างฝักถั่วดาวอินคาที่มีความชื้นเริ่มต้น 10-12 %wb บรรจุลงในถังป้อนวัสดุ

2) ปรับแต่งเครื่องให้ได้เงื่อนไขตามระดับของปัจจัยที่ศึกษา เช่น ปรับความเร็วรอบลูกกะเทาะโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ ปรับตั้งระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรง และปรับช่องทางออกให้ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เป็นต้น

3) จากนั้นปล่อยเมล็ดในข้อ 1 ลงในชุดกะเทาะฝัก โดยควบคุมอัตราการป้อนให้ไหลในสภาวะคงที่สม่ำเสมอ แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ช่องทางออก

4) นำตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มในข้อ 3 มาคัดแยกประเภทเมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดน้ำตาลแตกหัก เมล็ดในแตกหัก และฝักไม่กะเทาะ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

5) ทำการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยการทดสอบให้ครบตามเงื่อนไขตามแผนการทดสอบ

6) นำผลที่ได้มาคำนวณหา ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก และเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ ดังแสดงในสมการ [11] [19]

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} = \frac{\text{น้ำหนักถั่วดาวอินคาที่ทำการสุ่ม (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ทำการสุ่ม (ชั่วโมง)}} \quad \text{..... (3-5)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ (SE)} = \frac{\text{B+C+D (กรัม)}}{\text{(B+C+D)+(A+K) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-6)}$$

เมื่อ A = ฝักไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด
C = เมล็ดน้ำตาลแตกหัก
D = เมล็ดในแตกหัก
K1 = อัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดน้ำตาลต่อน้ำหนักฝัก

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด (FK)} = \frac{\text{B (กรัม)}}{\text{A+B+C+D (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-7)}$$

เมื่อ A = ฝักไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด
C = เมล็ดน้ำตาลแตกหัก
D = เมล็ดในแตกหัก

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก (BK)} = \frac{\text{C (กรัม)}}{\text{A+B+C+D (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-8)}$$

เมื่อ A = ฝักไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด
C = เมล็ดน้ำตาลแตกหัก
D = เมล็ดในแตกหัก

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก (BG)} = \frac{\text{D (กรัม)}}{\text{A+B+C+D (กรัม)}} \text{ X100} \quad \text{..... (3-9)}$$

เมื่อ A = ฝักไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด
C = เมล็ดน้ำตาลแตกหัก
D = เมล็ดในแตกหัก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ (UK)} = \frac{\text{A (กรัม)}}{\text{A+B+C+D (กรัม)}} \text{ X100} \quad \text{..... (3-10)}$$

เมื่อ A = ฝักไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด
C = เมล็ดน้ำตาลแตกหัก
D = เมล็ดในแตกหัก

1.2 วิธีการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมกับชุดทำความสะอาดฝัก

ดำเนินการศึกษาโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการทำความสะอาดฝักเป็นเมล็ดน้ำตาลที่ผ่านการกะเทาะจากข้อ 1 ซึ่งมีปัจจัยดังนี้ 1) ความเร็วลมดูดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ 2) ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรงโยกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยมีค่าชี้ผลดังนี้

1) ประสิทธิภาพการคัดแยก
2) เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกที่ช่องทางออกเมล็ด
3) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเมล็ดที่ช่องทางออกเปลือก

วิธีการทดสอบ

1) นำฝักถั่วดาวอินคาบรรจุในชุดกะเทาะฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล โดยปรับแต่งเครื่องในส่วนของชุดกะเทาะให้ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามผลการศึกษาข้อ 1 และมีอัตราการป้อนคงที่สม่ำเสมอ

2) ปรับแต่งเครื่องในส่วนของชุดทำความสะอาด เพื่อทำการทดสอบตามระดับปัจจัยที่กำหนด และเริ่มเดินเครื่องทั้งส่วนของการกะเทาะเปลือกและการทำความสะอาด เมื่อเครื่องทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ จึงทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากช่องทางออกเมล็ด และช่องทางออกของเปลือก

3) นำตัวอย่างที่ได้ทำการคัดแยก ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำผลมาคำนวณหาประสิทธิภาพการคัดแยก เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด [19]

$$\text{ประสิทธิภาพการคัดแยก} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่ทางออกเมล็ด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม)} + \text{น้ำหนักเมล็ด(กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-11)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก} = \frac{\text{น้ำหนักเปลือกที่ทางออกเมล็ด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม)} + \text{น้ำหนักเมล็ด (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-12)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่ทางออกเปลือก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม)} + \text{น้ำหนักเมล็ด (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-13)}$$

2. การทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะและทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

2.1 วิธีการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

ดำเนินการศึกษาโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน 3 ปัจจัย ดังนี้ 1) ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 3 ระดับ 2) ชนิดของลูกกะเทาะ 3 ชนิด และ 3) ชนิดผนังเป้ากระทบ 3 ชนิด ตามลำดับ และใช้ถั่วดาวอินคาในพื้นที่ปลูกอำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นตัวอย่างในการการศึกษา โดยมีค่าชี้ผลดังนี้

1) ความสามารถในการทำงาน

2) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

3) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเมล็ด

4) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย

5) เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

6) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

7) เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ

วิธีการทดสอบ

1) นำตัวอย่างเมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดบรรจุลงในถังป้อนเมล็ดน้ำตาล

2) ปรับแต่งเครื่องให้ได้เงื่อนไขตามระดับของปัจจัยที่ศึกษา เช่น ปรับความเร็วรอบลูกกะเทาะโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ ปรับเปลี่ยนชนิดลูกกะเทาะ และผนังเป้ากระทบให้ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เป็นต้น

3) จากนั้นปล่อยเมล็ดในข้อ 1 ลงในชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล โดยควบคุมอัตราการป้อนให้ไหลในสภาวะคงที่สม่ำเสมอ แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ช่องทางออก

4) นำตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มในข้อ 3 มาคัดแยกประเภทเมล็ดในเต็มเมล็ด เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน และเมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

5) ทำการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยการทดสอบให้ครบตามเงื่อนไขการทดสอบ

6) นำผลที่ได้มาคำนวณหา ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน และเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ ดังแสดงในสมการ [11] [19]

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} = \frac{\text{น้ำหนักถั่วดาวอินคาที่ทำการสุ่ม (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ทำการสุ่ม (ชั่วโมง)}} \quad \text{..... (3-14)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ (SE)} = \frac{\text{B+C+D+E (กรัม)}}{\text{(B+C+D+E)+(A+K) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-15)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ

B = เมล็ดในเต็มเมล็ด

C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย

D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

K2 = อัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดในต่อน้ำหนักเมล็ดน้ำตาล

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ด (FK)} = \frac{\text{B (กรัม)}}{\text{(A+B+C+D+E) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-16)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ

B = เมล็ดในเต็มเมล็ด

C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย

D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (QK)} = \frac{\text{C (กรัม)}}{\text{(A+B+C+D+E) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-17)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดในเต็มเมล็ด
C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย
D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (BG)} = \frac{\text{D (กรัม)}}{\text{(A+B+C+D+E) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{.... (3-18)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดในเต็มเมล็ด
C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย
D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (PK)} = \frac{\text{E (กรัม)}}{\text{(A+B+C+D+E) (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{.... (3-19)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ
B = เมล็ดในเต็มเมล็ด
C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย
D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (UK)} = \frac{\text{A (กรัม)}}{\text{(A+B+C+D+E) (กรัม)}} \text{ X100} \quad \text{..... (3-20)}$$

เมื่อ A = เมล็ดน้ำตาลไม่ถูกกะเทาะ

B = เมล็ดในเต็มเมล็ด

C = เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย

D = เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

E = เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน

2.2 วิธีการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมกับชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

ดำเนินการศึกษาโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดในที่ผ่านการกะเทาะจากข้อ 1 ซึ่งมีปัจจัยดังนี้ 1) ความเร็วลมดูดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ 2) ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรงโยกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยมีค่าชี้ผลดังนี้

1) ประสิทธิภาพการคัดแยก

2) เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกที่ช่องทางออกเมล็ด

3) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเมล็ดที่ช่องทางออกเปลือก

วิธีการทดสอบ

1) นำฝักถั่วดาวอินคาบรรจุในชุดกะเทาะจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล โดยปรับแต่งเครื่องในส่วนของชุดกะเทาะให้ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามผลการศึกษาข้อ 1 และมีอัตราการป้อนคงที่สม่ำเสมอ

2) ปรับแต่งเครื่องในส่วนของชุดทำความสะอาด เพื่อทำการทดสอบตามระดับปัจจัยที่กำหนด และเริ่มเดินเครื่องทั้งส่วนของการกะเทาะเปลือกและการทำความสะอาด เมื่อเครื่องทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ จึงทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากช่องทางออกเมล็ด และช่องทางออกของเปลือก

3) นำตัวอย่างที่ได้ทำการคัดแยก ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำผลมาคำนวณหาประสิทธิภาพการคัดแยก เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด [19]

$$\text{ประสิทธิภาพการคัดแยก} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่ทางออกเมล็ด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม) + น้ำหนักเมล็ด(กรัม)}} \text{ X100} \quad \text{..... (3-21)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก} = \frac{\text{น้ำหนักเปลือกที่ทางออกเมล็ด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม) + น้ำหนักเมล็ด (กรัม)}} \text{ X100} \quad \text{..... (3-22)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่ทางออกเปลือก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปลือก (กรัม)} + \text{น้ำหนักเมล็ด (กรัม)}} \text{X100} \quad \text{..... (3-23)}$$

3.3.3 ประเมินและรายงานสรุปผลการดำเนินการ

ในหัวข้อนี้ดำเนินการประเมินผล และวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยดำเนินการทดสอบหาปัจจัยที่การทำงานของเครื่องที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกะเทาะถั่วดาวอินคา เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุป และรายงานผลการดำเนินการ รวมถึงทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อหาจุดคุ้มทุนของโครงการ

3.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ในการหาจุดคุ้มทุน ระยะเวลาคืนทุน และผลประโยชน์สุทธิต่อปีของโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดของโครงการ ที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์และกำหนดเป็นตัวชี้วัดเพื่อเลือกทางเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ของโครงการ

จากการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคา โดยมีส่วนประกอบในการทำงาน 2 ส่วนหลัก คือ ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน โดยในหัวข้อนี้จะชี้ให้เห็นถึงปริมาณค่าใช้จ่าย และปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการติดตั้งเครื่องกะเทาะให้กับผู้ประกอบการโดยดำเนินการหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำงาน จุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุนของโครงการโดยคำนวณได้จากสมการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 ในบทที่ 2

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฝักและเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ใช้ในการทดสอบ และ. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของถั่วดาวอินคาพันธุ์ *Plukenetia corniculata Sm.* ส่วนชื่อไทยนั้นยังไม่มีข้อมูล [6] จากพื้นที่ปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้ถั่วที่แก่เต็มที่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา โดยผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคาประกอบด้วย ผลการศึกษาขนาดและรูปร่าง เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต ค่าความเป็นทรงกลม น้ำหนักต่อเมล็ด อัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อเมล็ดทั้งเปลือก ปริมาณความชื้น ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต ซึ่งมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการศึกษาขนาดและรูปร่างของถั่วดาวอินคา

ผลการศึกษาขนาดและรูปร่างของถั่วดาวอินคา ซึ่งได้แสดงวิธีการศึกษาไว้ในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.1.1 เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการออกแบบระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้า ขนาดช่องทางออก และใช้เลือกขนาดของรูตะแกรงเว้า และตะแกรงชุดทำความสะอาด โดยข้อมูลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ก. ตาราง ก.1 ถึง ก.4 และสามารถนำข้อมูลผลการศึกษามาสรุปได้ตามตาราง 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ซึ่งพบว่า ฝักดาวอินคามีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 35.07, 43.16 และ 23.04 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตเฉลี่ยอยู่ที่ 32.60 มิลลิเมตร แต่ละฝักมีจำนวนผลย่อยเฉลี่ยที่ 4 ผลย่อยต่อฝัก ด้านที่ยาวที่สุดของเมล็ดต่างๆ ของถั่วดาวอินคาได้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดขนาดของรูตะแกรงในส่วนของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาด โดยเรียงลำดับจากผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 22.99, 18.79 และ 16.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงกำหนดรตะแกรงเป็นแบบรูกลมเนื่องจากผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในมีค่าความเป็นทรงกลมเข้าใกล้ 1 ซึ่งบ่งบอกว่ามีความ

เป็นทรงกลมสูง ขนาดรูตะแกรงสำหรับคัดแยกผลย่อยออกจากเมล็ดน้ำตาลอยู่ในช่วง 20-22 มิลลิเมตร สำหรับคัดแยกเมล็ดน้ำตาลออกจากเมล็ดในอยู่ในช่วง 14-18 มิลลิเมตร

ตาราง 4.1 ขนาดฝักถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	ฝักถั่วดาวอินคาว					
	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนผลผ่อย (ผล)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความเป็นทรงกลม
ค่าเฉลี่ย	35.07	43.16	23.04	4	32.60	0.76
ค่าสูงสุด	45.40	58.00	35.00	6	41.82	0.91
ค่าต่ำสุด	26.70	32.76	18.68	4	25.82	0.63
ค่าเบี่ยงเบน	4.11	3.90	2.53	0.58	2.63	0.05

ตาราง 4.2 ขนาดผลย่อยถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	ผลย่อยถั่วดาวอินคา				
	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความเป็นทรงกลม
ค่าเฉลี่ย	23.04	19.73	14.79	18.86	0.82
ค่าสูงสุด	26.92	22.10	17.62	21.43	0.88
ค่าต่ำสุด	19.20	14.18	11.50	15.41	0.75
ค่าเบี่ยงเบน	1.31	1.27	1.23	1.07	0.03

พหุน ปณฑิโต ชีเว

ตาราง 4.3 ขนาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	เมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา				
	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความเป็นทรงกลม
ค่าเฉลี่ย	16.32	18.79	8.52	13.75	0.73
ค่าสูงสุด	18.82	21.24	10.40	15.65	0.79
ค่าต่ำสุด	13.54	16.50	5.20	11.13	0.66
ค่าเบี่ยงเบน	1.07	1.05	0.85	0.85	0.03

ตาราง 4.4 ขนาดเมล็ดในถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	เมล็ดในถั่วดาวอินคา				
	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความเป็นทรงกลม
ค่าเฉลี่ย	12.48	14.59	7.40	11.02	0.76
ค่าสูงสุด	15.34	17.00	9.20	12.86	0.96
ค่าต่ำสุด	7.90	7.82	2.00	5.54	0.65
ค่าเบี่ยงเบน	1.11	1.77	0.96	1.15	0.04

4.1.2 ผลการศึกษาน้ำหนักต่อเมล็ดและอัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก

ผลการศึกษาน้ำหนักต่อเมล็ดของถั่วดาวอินคา พบว่า น้ำหนักต่อเมล็ดของฝัก ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในถั่วดาวอินคามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.57, 1.72, 0.93 และ 0.63 กรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดน้ำตาลต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก (k1) มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.53 และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดในต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก (k2) มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.65 ดังแสดงในตาราง 4.5 แสดงข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ก. ตาราง ก.5

ตาราง 4.5 ผลการศึกษาน้ำหนักต่อเมล็ดและอัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก

ค่าสถิติ	น้ำหนักต่อเมล็ด (g)				อัตราส่วนของเมล็ดน้ำตาลต่อน้ำหนักทั้งหมดของฝักถั่ว (K1)	อัตราส่วนของเมล็ดในต่อน้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดน้ำตาล (K2)
	ลักษณะถั่วดาวอินคา					
	ฝัก	ผลย่อย	เมล็ดน้ำตาล	เมล็ดใน		
ค่าเฉลี่ย	6.57	1.72	0.93	0.63	0.53	0.65
ค่าสูงสุด	10.77	2.59	1.38	0.94	0.55	0.66
ค่าต่ำสุด	3.41	0.53	0.16	0.14	0.51	0.63
ค่าเบี่ยงเบน	1.46	0.35	0.23	0.16	0.01	0.01

4.1.3 ผลการศึกษาความชื้นถั่วดาวอินคา

ความชื้นของถั่วดาวอินคาที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้นำมาจากพื้นที่ปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์ จากการศึกษาโดยวิธีการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 72 ชั่วโมง [12] ซึ่งพบว่า มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 10.10 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.6 และเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ก. ตาราง ก.6

ตาราง 4.6 ความชื้นถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	น้ำหนักกระป๋อง (g)	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
1	15.39	60.57	56.27	9.52
2	15.32	57.82	53.20	10.87
3	16.28	58.10	53.95	9.92
ค่าเฉลี่ย	15.66	58.83	54.47	10.10
ค่าสูงสุด	16.28	60.57	56.27	10.87
ค่าต่ำสุด	15.32	57.82	53.20	9.52
ค่าเบี่ยงเบน	0.44	1.24	1.31	0.57

4.1.4 ผลการศึกษาความหนาแน่นของถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาความหนาแน่นของถั่วดาวอินคาที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.1.3 พบว่า ฝักถั่วดาวอินคา ผลแยก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 196.82 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, 257.71 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, 564.05 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, 594.40 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งข้อมูลนี้ได้ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบขนาดถังป้อน และช่องทางออกเมล็ด ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.7 และแสดงข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ก. ตาราง ก.7 และ ก.8

ตาราง 4.7 ความหนาแน่นของถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	ความหนาแน่น (kg/m^3)			
	ลักษณะถั่วดาวอินคา			
	ฝัก	ผลย่อย	เมล็ดน้ำตาล	เมล็ดใน
ค่าเฉลี่ย	196.82	257.71	564.05	594.40
ค่าสูงสุด	203.92	269.24	582.80	606.16
ค่าต่ำสุด	186.76	242.32	543.08	581.96
ค่าเบี่ยงเบน	7.24	9.62	10.99	8.04

4.1.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุ

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของถั่วดาวอินคาที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.1.4 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของฝัก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน ที่วัสดุ 3 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ ไม้อัด พลาสติก และเหล็ก จะเห็นได้ว่า ที่พื้นผิวเหล็กค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าน้อยกว่าพื้นผิววัสดุชนิดอื่น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.56, 0.33 และ 0.38 ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 และแสดงข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ก. ตาราง ก.9 ถึง ก.11 ดังนั้นเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินดาจึงใช้เหล็กเป็นวัสดุหลักในการสร้าง

ตาราง 4.8 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของฝักถั่วดาวอินคา

ค่าสถิติ	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของฝักถั่วดาวอินคา					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์
ค่าเฉลี่ย	32.79	0.64	48.33	1.13	29.16	0.56
ค่าสูงสุด	33.46	0.66	48.62	1.14	29.82	0.57
ค่าต่ำสุด	31.95	0.62	47.93	1.11	28.72	0.55
ค่าเบี่ยงเบน	0.77	0.02	0.36	0.02	0.58	0.01

ตาราง 4.9 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของเมล็ดน้ำตาล

ค่าสถิติ	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของเมล็ดน้ำตาล					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์
ค่าเฉลี่ย	23.05	0.42	28.52	0.54	18.45	0.33
ค่าสูงสุด	23.46	0.43	29.43	0.56	18.62	0.34
ค่าต่ำสุด	22.50	0.41	27.62	0.52	18.23	0.33
ค่าเบี่ยงเบน	0.50	0.01	0.91	0.02	0.20	0.01

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.10 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของเมล็ดใน

ค่าสถิติ	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของเมล็ดใน					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์
ค่าเฉลี่ย	33.53	0.66	32.03	0.63	20.78	0.38
ค่าสูงสุด	34.10	0.68	32.43	0.64	21.53	0.39
ค่าต่ำสุด	32.90	0.65	31.54	0.61	20.20	0.37
ค่าเบี่ยงเบน	0.60	0.02	0.45	0.02	0.68	0.01

4.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคาและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนดังนี้

4.2.1 ผลการเลือกหลักการการทำงานที่เหมาะสม

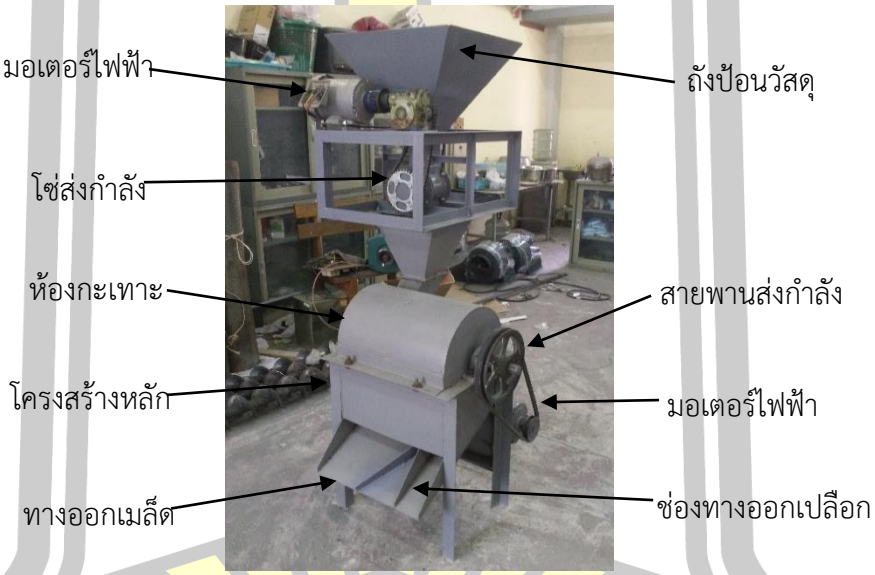
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคาดังที่กล่าวมาในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.1 ทำให้ทราบว่า ฝักของถั่วดาวอินคา 1 ฝักประกอบไปด้วยผลย่อยจำนวน 4-6 ผลย่อย และเปลือกชั้นนอกและชั้นกลางที่หุ้มอยู่มีลักษณะแข็งปานกลางและเหนียว เมื่อแก่จัดจะปรากฏรอยแยกตามธรรมชาติบ้างบางเมล็ด ส่วนเปลือกชั้นในหรือเปลือกน้ำตาลมีลักษณะแข็งแต่เปราะ ดังนั้นในการเลือกหลักการกะเทาะในงานวิจัยนี้ ในส่วนแรกเป็นการกะเทาะจากฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาลจะใช้หลักการแรงที่เกิดจากการตีร่วมกับแรงเฉือนระหว่างตะแกรงเว้า และในส่วนที่สองจะใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้เมล็ดกระทบกับผนังท่อ และในส่วนของการทำความสะอาดจะใช้ลมดูดและตะแกรงคัดแยก

4.2.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลัก คือ ชุดกะเทาะฝัก ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล และชุดทำความสะอาด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดกะเทาะฝัก

เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุดโรตารี่ป้อนฝักและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ป้อนฝักมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร จำนวนครีบทั้งหมด 4 ครีบ และชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาซึ่งมีขนาด 450x360x800 มิลลิเมตร ลูกกะเทาะเป็นแบบแถบแนวแกนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร มีจำนวนแถบทั้งหมด 4 แถบ โดยติดตั้งทำมุมกัน 90 องศา ตามแนวรัศมี และยาว 430 มิลลิเมตร ซึ่งแถบทั้ง 4 นี้สามารถปรับระยะห่างระหว่างผิวของแถบกับตะแกรงเว้าได้ ภายในห้องกะเทาะติดตั้งตะแกรงเว้าแบบรูกลมขนาด 22 มิลลิเมตร และมีช่องทางออกของฝักที่ไม่กะเทาะซึ่งมีขนาดของช่องทางออกที่แตกต่างกัน 3 ขนาด โดยเครื่องกะเทาะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เป็นต้นกำลังโดยส่งกำลังไปยังลูกกะเทาะด้วยสายพานดังแสดงในภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 ชุดกะเทาะฝัก

2. ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดในที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุดโรตารี่ป้อนและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ป้อนจะใช้ชุดเดียวกันกับชุดป้อนฝัก ส่วนชุดกะเทาะจะใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังเป้า ใช้เหล็กในการสร้างเป็นหลักโดยมีขนาด 500x500x1500 มิลลิเมตร ห้องกะเทาะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ส่งถ่ายกำลังโดยสายพาน ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2

ภาพประกอบ 4.2 ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

ลักษณะของจานเหวี่ยง ได้ออกแบบจานเหวี่ยง 3 ลักษณะคือ จานเหวี่ยงแบบทำมุม 90 องศา จานเหวี่ยงแบบเอียงทำมุม 45 องศา จานเหวี่ยงแบบโค้ง โดยมีช่องทางออกที่มีขนาดเท่ากัน คือ 38 มิลลิเมตร เพื่อทำให้เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ออกจากจานเหวี่ยงถูกเหวี่ยงออกมาได้โดยง่าย ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3

ก) จานเหวี่ยง แบบทำมุม 90 องศา

ข) จานเหวี่ยง แบบทำมุม 45 องศา

ค) จานเหวี่ยง แบบโค้ง

ภาพประกอบ 4.3 ลักษณะจานเหวี่ยง

ลักษณะของเป้ากระทบ ได้ออกแบบเป้ากระทบที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ เป้ากระทบแบบเหล็กแผ่นเรียบ เป้ากระทบแบเหล็กเส้นแนวตั้ง และเป้ากระทบแบบตะแกรง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4

ก) เป้ากระทบแบบแผ่นเหล็กเรียบ

ข) เป้ากระทบแบบเหล็กเส้นแนวตั้ง

ค) เป้ากระทบแบบตะแกรง

ภาพประกอบ 4.4 ลักษณะของเป้ากระทบ

3. ชุดทำความสะอาด

ชุดทำความสะอาดเปลือกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องดูดลม และตะแกรงโยกคัดแยก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ชุดลมดูดเปลือก มีขนาด 45x90x60 เซนติเมตร มีช่องทางออกของเปลือก 15x13 เซนติเมตร มุมเอียงของใบซิกแซ็ก สามารถปรับมุมได้เพื่อให้เหมาะสมกับการไหลของเมล็ดถั่วดาวอินคา

3.2 ชุดตะแกรงโยกคัดแยก แบ่งเป็น 2 กรณี คือ ทำความสะอาดฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล และทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลให้เป็นเมล็ดใน

กรณีที่ 1 ทำความสะอาดฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล มีตะแกรง 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 ใช้ขนาดรูตะแกรงอยู่ที่ 20 มิลลิเมตร ใช้ในการคัดแยกเมล็ดน้ำตาลที่ไม่กะเทาะออก ชั้นที่ 2 มีขนาดรูตะแกรง 18 มิลลิเมตร เป็นชั้นสำหรับแยกเมล็ดในแตกหักและสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กออกจากเมล็ดในที่ถูกกะเทาะสมบรูณ์ ส่วนชั้นที่ 3 จะเป็นชั้นแผ่นเหล็กเรียบ ชั้นนี้สำหรับสิ่งเจือปนที่เล็กมากๆ เช่น เมล็ดขาวแตกหักและฝุ่นของถั่วดาวอินคา

กรณีที่ 2 ทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลให้เป็นเมล็ดใน มีตะแกรง 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 ใช้ขนาดรูตะแกรงอยู่ที่ 18 มิลลิเมตร ใช้ในการคัดแยกเมล็ดน้ำตาลที่ไม่กะเทาะออก ชั้นที่ 2 มีขนาดรูตะแกรง 14 มิลลิเมตร เป็นชั้นสำหรับแยกเมล็ดในแตกหักและสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กออก

จากเมล็ดในที่ถูกกะเทาะสมบรูณ์ ส่วนชั้นที่ 3 จะเป็นชั้นแผ่นเหล็กเรียบ ชั้นนี้สำหรับสิ่งเจือปนที่เล็กมากๆ เช่น เมล็ดขาวแตกหักและฝุ่นของถั่วดาวอินคา ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5

ภาพประกอบ 4.5 ชุดทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

4.3 ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

จากการวางแผนและทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาโดยได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.3 ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝัก

จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาที่ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 3 ระดับ คือ 240, 270 และ 300 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรง 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 มิลลิเมตร และช่องทางออกเมล็ด 3 ระดับ คือ 2.0x8.0, 2.5x8.0 และ 3.0x8.0 เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่าถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะมีส่วนประกอบดังนี้ คือ เปลือกฝักไม่กะเทาะ (A) เมล็ดน้ำตาลเต็ม (B) เมล็ดน้ำตาลแตกหัก (C) และเมล็ดในแตกหัก (D) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.6

เปลือก

ฝักไม่กะเทาะ (A)

เมล็ดน้ำตาลเต็ม (B)

เมล็ดน้ำตาลแตกหัก (C)

เมล็ดในแตกหัก (D)

ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ

และจากการทดสอบมีค่าชี้ผล คือ ความสมารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก และเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะเป็นค่าชี้ผล ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4.11 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.1 ถึง ข.4

ตาราง 4.11 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝัก

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝักไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลเต็ม	%เมล็ดน้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดในแตกหัก
240	15	2.0x8.0	64.59	92.60	14.17	62.07	6.69	17.07
		2.5x8.0	72.11	80.73	32.68	50.63	4.74	11.95
		3.0x8.0	77.35	76.36	38.23	47.50	4.86	9.41
	20	2.0x8.0	67.24	79.79	32.36	58.78	3.88	4.98
		2.5x8.0	68.92	70.67	43.66	49.68	3.36	3.30
		3.0x8.0	73.66	64.95	50.04	44.14	3.30	2.53
	25	2.0x8.0	71.02	58.29	57.00	39.06	1.85	2.08
		2.5x8.0	72.89	43.73	70.41	26.67	1.56	1.36
		3.0x8.0	84.01	36.89	75.73	22.12	1.49	0.66
270	15	2.0x8.0	65.78	93.68	12.26	62.05	7.93	17.75
		2.5x8.0	77.73	82.96	29.41	53.29	4.93	12.37
		3.0x8.0	81.81	74.46	40.21	47.65	4.71	7.43
	20	2.0x8.0	70.22	81.59	29.77	62.23	3.26	4.74
		2.5x8.0	72.68	74.23	39.47	54.09	2.33	4.10
		3.0x8.0	82.91	62.87	52.55	42.46	1.96	3.03
	25	2.0x8.0	70.65	71.62	42.24	52.59	2.43	2.73
		2.5x8.0	79.85	47.98	66.65	30.32	1.66	1.37
		3.0x8.0	83.23	38.93	74.04	24.44	0.92	0.60
300	15	2.0x8.0	66.95	87.71	22.89	50.51	8.29	18.31
		2.5x8.0	77.98	81.95	31.77	46.67	5.25	16.31
		3.0x8.0	85.75	73.21	43.59	38.22	5.05	13.14
	20	2.0x8.0	74.52	80.82	31.35	57.76	3.73	7.16
		2.5x8.0	81.35	72.83	41.64	49.98	3.13	5.25
		3.0x8.0	86.32	64.42	51.05	42.79	2.52	3.64
	25	2.0x8.0	74.07	68.50	46.35	47.74	2.29	3.62
		2.5x8.0	75.95	42.03	71.91	25.35	1.32	1.42
		3.0x8.0	87.23	37.89	74.78	23.30	1.48	0.43

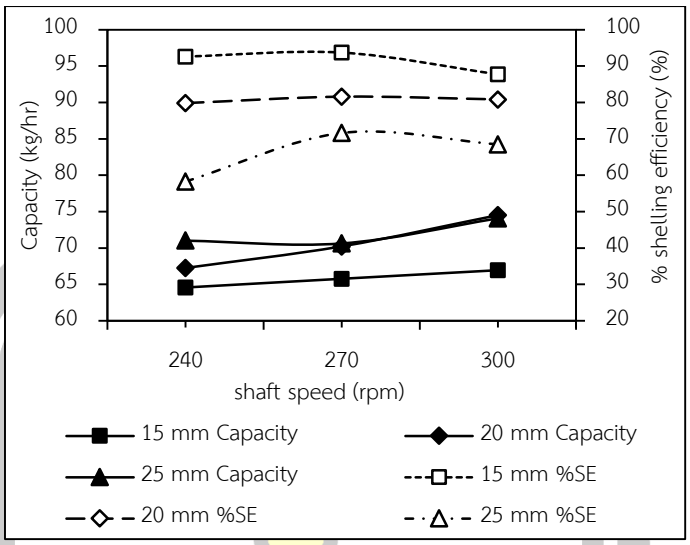
จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบการกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาที่ความเร็วรอบ 240, 270 และ 300 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้า 15, 20 และ 25 มิลลิเมตร และช่องทางออก 2.0x8.0, 2.5x8.0 และ 3.0x8.0 เซนติเมตร ซึ่งพบว่า ที่ระดับช่องทางออก 2.0x8.0 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงในทุกระดับความเร็วรอบ และระยะระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าซึ่งอยู่ระหว่าง 58.29–93.68 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำให้เกิดการกะเทาะเป็นเมล็ดในและเมล็ดน้ำตาลแตกหักสูง ที่ระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้า 15 มิลลิเมตร ในทุกระดับความเร็วรอบ และเมื่อปรับตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะเพิ่มเป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร และช่องทางออกเพิ่มเป็น 2.5x8.0 และ 3.0x8.0 เซนติเมตร จะทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลและเมล็ดในแตกหักลดลง แต่จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะต่ำ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วสามารถคัดแยกเมล็ดไม่ถูกกะเทาะแล้วนำกลับมากะเทาะซ้ำใหม่ได้

ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดกะเทาะฝัก

Source of variation	F-ratio					
	Capacity	%SE	%WK	%QK	%BG	%UK
Speed (S)	66.29**	20.71**	40.43**	1.22ns	46.10**	21.41**
Clearance (C)	17.28**	2955.41**	689.42**	207.60**	1885.19**	2054.10**
Outlet (O)	266.69**	1109.17**	482.80**	33.01**	202.48**	934.24**
Interaction						
SxC	8.26**	12.26**	17.35**	2.48ns	11.31**	11.29**
SxO	3.43*	8.23**	3.76**	1.29ns	1.33ns	7.71**
CxO	7.93**	57.25**	21.82**	6.21**	36.37**	16.41**
SxCxO	3.25**	6.91**	4.20**	0.22ns	5.58**	6.20**

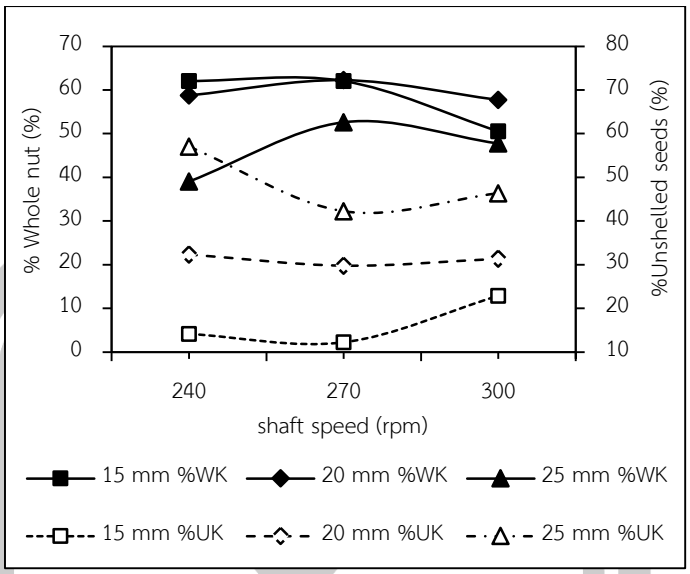
* Significant ($p<0.05$), ** Significant ($p<0.01$), ns Non-Significant

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบ เคลียร์รัน และช่องทางออก ที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก และเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และและเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) พบว่า ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก และเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ ทุกคู่ของปัจจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานและเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร

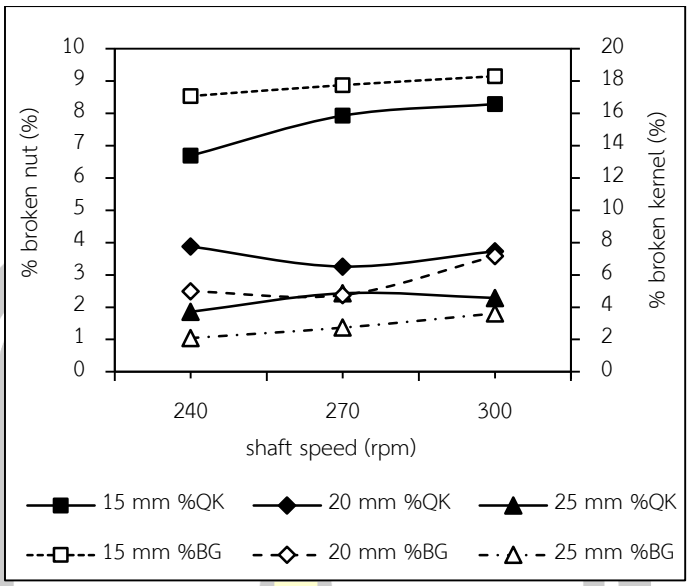
จากภาพประกอบ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร ก็มีผลทำให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ และสำหรับเปอร์เซ็นต์การกะเทาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร ก็มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะลดลงด้วยตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มและเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.8 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 240 เป็น 270 รอบต่อนาที และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอีก และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดลดลงตามลำดับ และสำหรับเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 240 เป็น 270 รอบต่อนาที และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอีก และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร ก็มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหักและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักที่ช่องทางออก 2.0x8.0 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.9 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหักเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 240 เป็น 270 และ 300 รอบต่อนาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหักลดลงตามลำดับ และสำหรับเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงเว้าจาก 15 เป็น 20 และ 25 มิลลิเมตร มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักลดลงตามลำดับ

4.3.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดทำความสะอาดฝัก

จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาที่ความเร็วลม 3 ระดับ คือ 2.6 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรง 3 ระดับ คือ 480 500 และ 520 รอบต่อนาที โดยสามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4.13 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.5 ถึง ข.11

ตาราง 4.13 ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
480	2.6	94.88	5.12	3.94	184.95
	2.8	98.90	1.10	9.71	221.70
	3.0	99.32	0.68	21.78	231.66
500	2.6	94.72	5.28	5.40	187.32
	2.8	97.44	2.56	11.48	227.35
	3.0	99.46	0.54	23.24	242.03
520	2.6	94.50	5.50	3.72	216.78
	2.8	97.83	2.17	11.61	240.81
	3.0	98.89	1.11	28.08	258.36

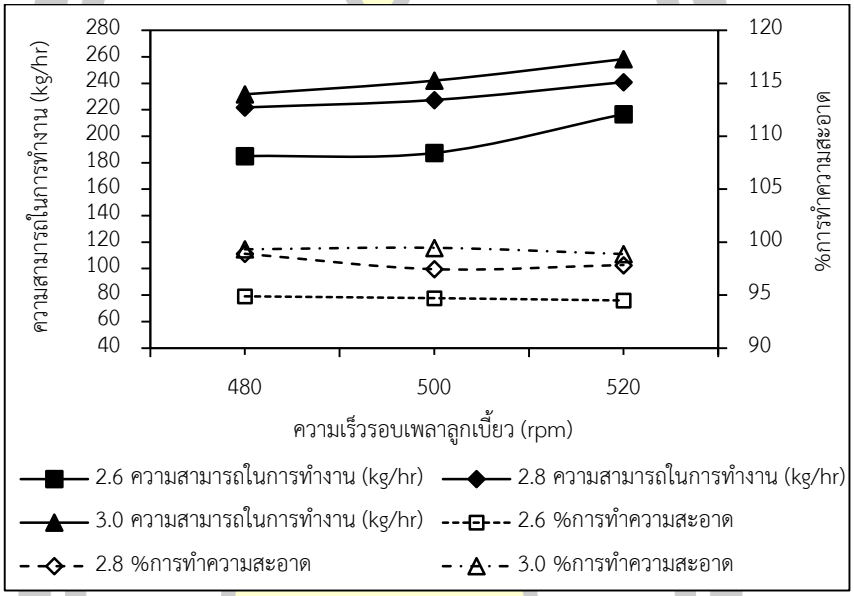
จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบการทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาที่ความเร็วลม 3 ระดับ คือ 2.6 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรง 3 ระดับ คือ 480 500 และ 520 รอบต่อนาที ซึ่งพบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.6 เป็น 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทำให้เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกลดลง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดในที่สูญเสียก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวเพิ่มขึ้นจาก 480 เป็น 500 และ 520 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำให้เปอร์เซ็นต์การคัดแยกและความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ

ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดทำความสะอาดฝัก

Source of variation	F-ratio			
	cleaning efficiency	%hull residue	%seed loss	Capacity
Speed (S)	0.78ns	0.78ns	5.11*	2.87ns
Valocity (C)	39.72**	39.72**	296.59**	9.42**
Interaction				
SxV	0.44ns	0.44ns	3.56*	0.11ns

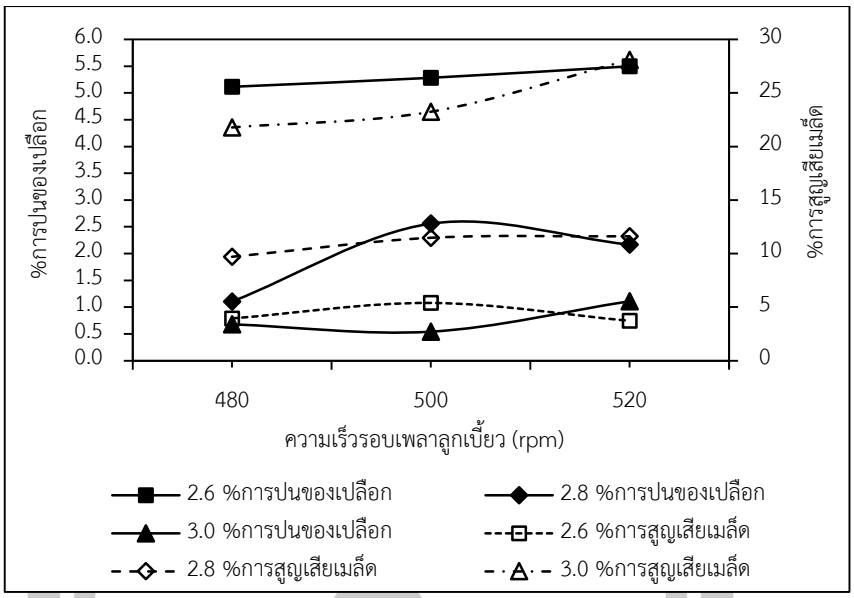
* Significant ($p<0.05$), ** Significant ($p<0.01$), ns Non-Significant

จากตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และความเร็วลม ที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาด เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) พบว่า ผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน



ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดและความสามารถในการทำงาน

จากภาพประกอบ 4.10 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.6 เป็น 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวจาก 480 เป็น 500 และ 520 รอบต่อนาที มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดลดลงตามลำดับ และสำหรับความสามารถในการทำงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวเพิ่มขึ้นตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด

จากภาพประกอบ 4.11 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การการปนของเปลือกเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.6 เป็น 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวจาก 480 เป็น 500 และ 520 รอบต่อนาที มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ และสำหรับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.6 เป็น 2.8 และ 3.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ

4.3.3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลที่ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 3 ระดับ คือ 650, 700 และ 750 รอบต่อนาที ชนิดลูกกะเทาะ 3 แบบ คือ 45, 90 องศา และ แบบรัศมีโค้ง และเป้ากระทบ 3 แบบ คือ เหล็กแผ่นเรียบ (A), เหล็กเส้น (B) และ ตะแกรง (C) ตามลำดับ พบว่าถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะมีส่วนประกอบดังนี้ คือ เปลือก เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (A) เมล็ดในเต็ม (B) เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (C) และเมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (D) เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (E) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12

เปลือก

เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (A)

เมล็ดในเต็ม

เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (C)

เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย

เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (E)

ภาพประกอบ 4.12 ลักษณะถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ

และจากการทดสอบมีค่าชี้ผล คือ ความสมารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน และเปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4.15 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.12 ถึง ข.14

ตาราง 4.15 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
650	45	เรียบ	192.70	68.50	25.85	30.39	34.99	6.48	2.30
		เส้น	198.26	77.94	19.40	20.37	35.96	18.29	5.97
		ตะแกรง	183.84	53.53	37.50	33.02	22.09	5.94	1.46
	90	เรียบ	185.60	71.26	22.96	34.24	31.16	8.64	2.99
		เส้น	189.12	78.80	18.11	24.74	34.29	14.93	7.93
		ตะแกรง	191.31	52.26	37.06	37.90	18.14	5.09	1.82
	โค้ง	เรียบ	174.36	72.73	21.47	36.00	24.78	15.48	2.28
		เส้น	185.46	84.27	13.19	27.96	31.99	22.22	4.64
		ตะแกรง	177.10	58.36	32.40	37.59	18.62	10.09	1.30
700	45	เรียบ	220.24	78.93	18.55	20.25	50.07	7.33	3.79
		เส้น	225.45	92.62	6.77	13.97	53.44	19.16	6.66
		ตะแกรง	220.54	64.89	29.28	28.26	33.66	6.29	2.51
	90	เรียบ	212.27	82.64	14.54	27.35	44.39	9.50	4.22
		เส้น	224.55	91.85	7.31	17.63	47.18	20.05	7.83
		ตะแกรง	218.31	70.93	22.77	36.73	30.66	7.13	2.71
	โค้ง	เรียบ	219.34	81.41	15.16	31.20	33.41	17.65	2.57
		เส้น	216.60	93.70	5.23	28.87	35.00	23.26	7.64
		ตะแกรง	212.98	72.73	21.20	37.73	29.71	8.99	2.38
750	45	เรียบ	240.78	85.89	12.62	17.72	36.24	21.95	11.48
		เส้น	240.72	95.10	4.57	11.30	40.30	28.18	15.64
		ตะแกรง	238.88	73.10	22.77	26.06	29.58	12.82	8.78
	90	เรียบ	238.02	84.61	13.29	23.38	33.28	19.62	10.43
		เส้น	244.47	93.87	5.70	11.89	36.46	28.75	17.20
		ตะแกรง	242.80	75.28	19.94	32.76	28.68	12.49	6.13
	โค้ง	เรียบ	244.28	85.08	12.16	31.32	29.13	21.61	5.79
		เส้น	245.83	96.58	2.93	24.44	33.75	31.07	7.81
		ตะแกรง	232.05	74.72	20.56	31.52	27.71	16.53	3.68

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบการกะเทาะเมล็ดน้ำตาลที่ความเร็วรอบลูกกะเทาะ 3 ระดับ คือ 650, 700 และ 750 รอบต่อนาที ชนิดลูกกะเทาะ 3 แบบ คือ 45, 90 องศา และ แบบรัศมีโค้ง และเป้ากระทบ 3 แบบ คือ เหล็กแผ่นเรียบ (A), เหล็กเส้น (B) และ ตะแกรง (C) ซึ่งพบว่า ที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเมล็ดสูงกว่าทุกแบบที่ทำการทดสอบในทุกระดับความเร็วรอบ ซึ่งอยู่ระหว่าง 22.09–53.44 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดของผนังเป้ากระทบจากพื้นเหล็กเรียบ (A) เป็นแบบเหล็กเส้น (B) ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยเพิ่มขึ้นด้วย และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนชนิดผนังเป้ากระทบเป็นแบบตะแกรง (C) ทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วเมล็ดไม่ถูกกะเทาะยังสามารถคัดแยกแล้วนำกลับมากะเทาะซ้ำใหม่ได้ แต่เมล็ดแตกหักถือเป็นความเสียหายที่เกิดจากการทำงานของเครื่องซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิต

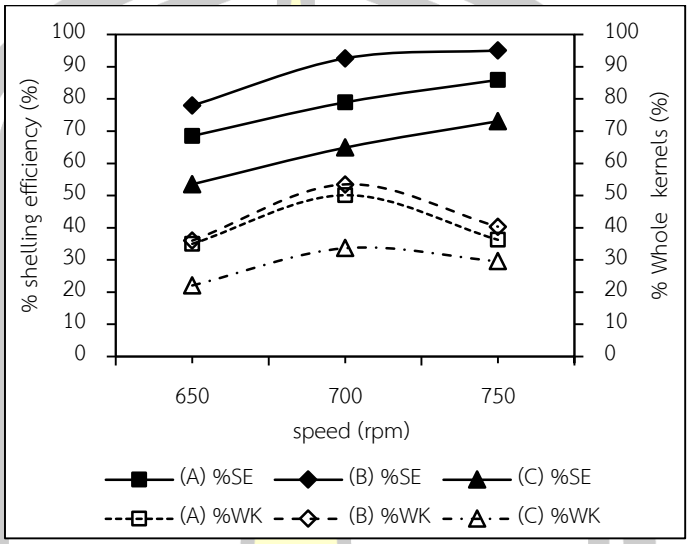
ตาราง 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

Source of variation	F-ratio						
	Capacity	%SE	%UK	%PK	%WK	%QK	%BG
Speed (S)	280.10**	437.70**	310.65**	95.78**	317.09**	382.41**	333.00**
Disc type(D)	3.50*	16.07**	24.04**	134.63**	147.59**	97.22**	59.15**
Target type(T)	3.61*	816.35**	567.51**	270.63**	359.57**	661.87**	247.82**
Interaction							
SxD	1.54ns	3.91**	3.38*	5.90**	15.22**	7.11**	31.44**
SxT	0.17ns	5.18**	3.37*	3.87**	14.16**	6.85**	6.24**
DxT	1.06ns	2.21ns	2.48ns	10.78**	16.23**	3.20*	6.84**
SxDxT	1.77ns	1.58ns	1.44ns	1.74ns	4.08**	5.48**	3.45**

* Significant ($p<0.05$), ** Significant ($p<0.01$), ns Non-Significant

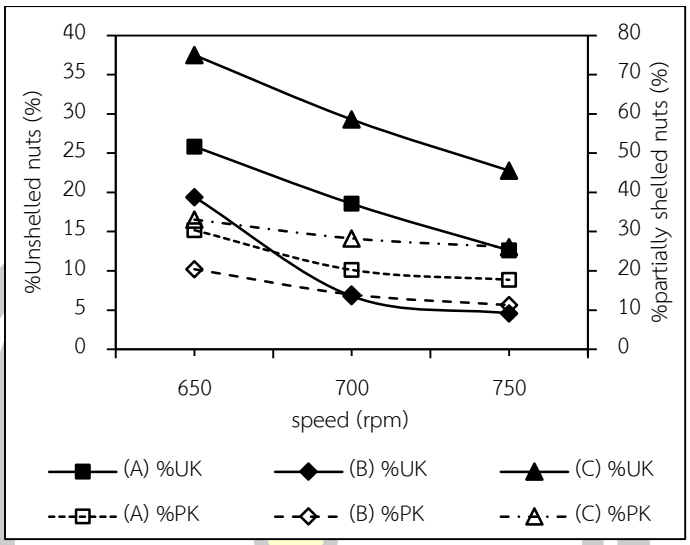
จากตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบ ชนิดลูกกะเทาะ และเป้ากระทบที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก และเปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และและเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) พบว่า ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มี

อิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 2 คู่ คือ ความเร็วรอบกับชนิดลูกกะเทาะ และความเร็วรอบกับชนิดผนังเป้า และในส่วนของผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก ทุกคู่ของปัจจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01



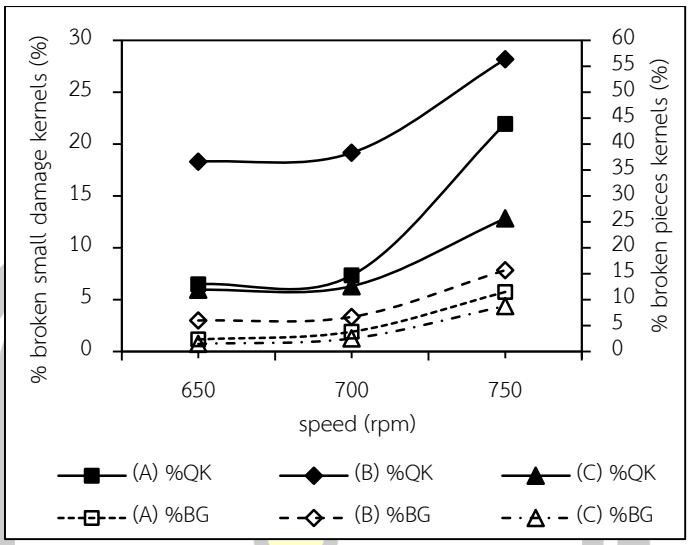
ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา

จากภาพประกอบ 4.13 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นตามลำดับ และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนเป้ากระทบจากเหล็กแผ่นเรียบ เป็นเหล็กเส้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนเป้ากระทบเป็นตะแกรงทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะลดลง และสำหรับเปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 700 รอบต่อนาที และลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบต่อไปเป็น 750 รอบต่อนาที และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนเป้ากระทบจากเหล็กแผ่นเรียบ เป็นเหล็กเส้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนเป้ากระทบเป็นตะแกรงทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็มลดลงด้วยตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วนที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา

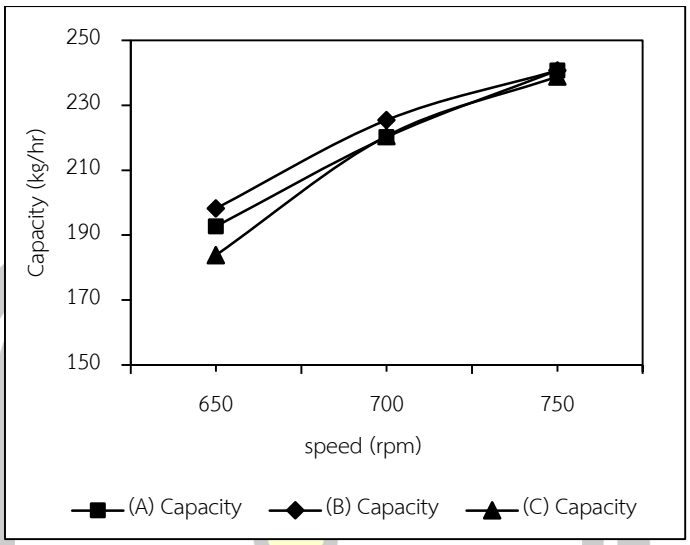
จากภาพประกอบ 4.14 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 650 เป็น 700 และ 750 รอบต่อนาที และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนเป้ากระทบจากเหล็กแผ่นเรียบ เป็นเหล็กเส้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะลดลง และเมื่อเปลี่ยนเป้ากระทบเป็นตะแกรงทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะเพิ่มขึ้น และสำหรับเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 700 และ 750 รอบต่อนาที และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนเป้ากระทบจากเหล็กแผ่นเรียบ เป็นเหล็กเส้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วนลดลง และเมื่อเปลี่ยนเป้ากระทบเป็นตะแกรงทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วนเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา

จากภาพประกอบ 4.15 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 700 และ 750 รอบต่อนาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันเมื่อทำการเปลี่ยนเป้ากระทบจากเหล็กแผ่นเรียบ เป็นเหล็กเส้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนเป้ากระทบเป็นตะแกรงทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อยลดลงตามลำดับ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและผนังเป้ากระทบที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานที่ชนิดลูกกะเทาะแบบ 45 องศา

จากภาพประกอบ 4.16 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 700 และ 750 รอบต่อนาที ตามลำดับ

4.3.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาที่ความเร็วลม 3 ระดับ คือ 2.8 3.0 และ 3.2 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรง 3 ระดับ คือ 410 440 และ 460 รอบต่อนาที โดยสามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 4.17 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.15 ถึง ข.21

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.17 ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมกับการทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถการทำงานใน(kg/hr)
410	2.8	98.05	1.95	26.93	94.98
	3.0	98.69	1.31	32.19	97.98
	3.2	99.40	0.60	51.83	98.29
440	2.8	98.15	1.85	30.92	108.28
	3.0	99.09	0.91	42.16	112.34
	3.2	99.59	0.41	56.32	118.13
460	2.8	98.22	1.78	33.31	122.30
	3.0	99.54	0.46	58.57	125.02
	3.2	99.71	0.29	64.62	129.75

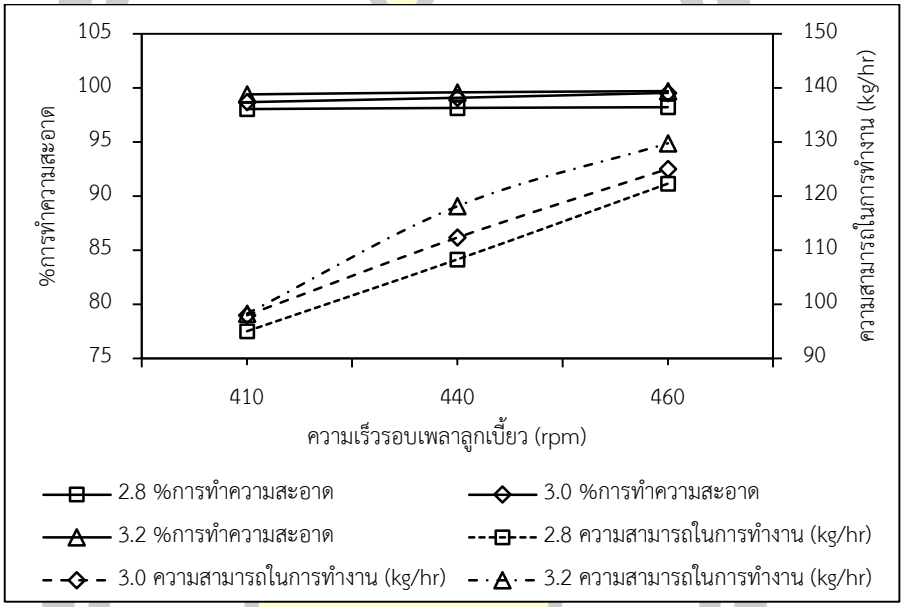
จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบการทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาที่ความเร็วลม 3 ระดับ คือ 2.8 3.0 และ 3.2 เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวของตะแกรง 3 ระดับ คือ 410 440 และ 460 รอบต่อนาที ซึ่งพบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 3.0 และ 3.2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทำให้เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกลดลง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดในที่สูญเสียก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และในขณะเดียวกันเมื่อความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวเพิ่มขึ้นจาก 410 เป็น 440 และ 460 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำให้เปอร์เซ็นต์การคัดแยกและความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นด้วย ตามลำดับ

ตาราง 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

Source of variation	F-ratio			
	cleaning efficiency	%hull residue	%seed loss	Capacity
Speed (S)	1.12ns	1.12ns	4.31*	20.75**
Valocity (C)	12.09**	12.09**	13.67**	1.19ns
Interaction				
SxV	0.25ns	0.25ns	0.68ns	0.11ns

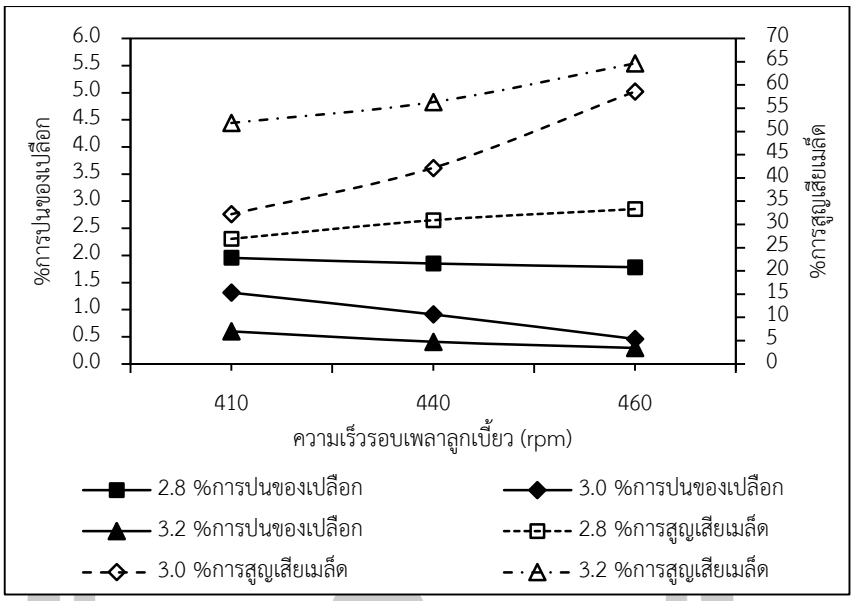
* Significant ($p<0.05$), ** Significant ($p<0.01$), ns Non-Significant

จากตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และความเร็วลม ที่แตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาด เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และและเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) พบว่า ผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน



ภาพประกอบ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดและความสามารถในการทำงาน

จากภาพประกอบ 4.17 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 3.0 และ 3.2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวจาก 410 เป็น 440 และ 460 รอบต่อนาที มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเพิ่มขึ้นตามลำดับ และสำหรับความสามารถในการทำงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวเพิ่มขึ้นตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเร็วลมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ด

จากภาพประกอบ 4.18 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 3.0 และ 3.2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวจาก 410 เป็น 440 และ 460 รอบต่อนาที มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกลดลงด้วยตามลำดับ และสำหรับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากขั้นตอนการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคาโดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ชุดป้อน ชุดกะเทาะฝัก ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล และชุดทำความสะอาดฝักและเมล็ดน้ำตาลหลังการกะเทาะ โดยข้อมูลในส่วนนี้จะชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงาน ปริมาณค่าใช้จ่าย และปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา ซึ่งผู้ประกอบการสามารถเลือกผลผลิตได้ 2 แบบ คือกะเทาะให้ได้เมล็ดน้ำตาล และกะเทาะให้ได้เมล็ดใน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 กะเทาะจากฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาลมีการกำหนดเงื่อนไขการดำเนินการดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

1.1) ราคาแรกซื้อของเครื่องต้นแบบ (P) ได้ทำการประเมินราคาไว้เท่ากับ 50,000 บาท โดยประกอบด้วยค่าวัสดุ ค่าแรง และค่าดำเนินการสำหรับสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา และคิดที่อายุการใช้งานเครื่อง 7 ปี

1.2) ระยะเวลาการทำงาน เนื่องจากผู้ประกอบการทำการกะเทาะถั่วดาวอินคาตลอดทั้งปีโดยขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ แต่จะทำการกะเทาะเป็นรอบต่อสัปดาห์ โดยกะเทาะให้ได้เมล็ดในซึ่งทำงานประมาณ 4-6 วันต่อสัปดาห์ และอีก 1 วันในการบีบน้ำมันหรือแปรรูปอย่างอื่น ดังนั้นในการใช้เครื่องกะเทาะให้เป็นเมล็ดน้ำตาลจึงคิดเป็นการทำงานต่อรอบอยู่ที่ 2 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 104 วันต่อปี ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงาน 70.22 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และทำความสะอาดต่อรอบอยู่ที่ 1 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 52 วันต่อปี ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 240.81 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จะได้ว่า ความสามารถในการกะเทาะ (Ct) = 70.22 x 8 x 104

= 58,423.04 กิโลกรัมต่อปี

ความสามารถในการทำความสะอาด (Ct) = 240.81 x 5 x 52

= 62,610.10 กิโลกรัมต่อปี

1.3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงาน (Lo) ประกอบด้วยแรงงานในการคุมเครื่อง จำนวน 1 คน ค่าจ้างวันละ 300 บาท/วัน ทำงาน 156 วัน/ปี

จะได้ว่า ค่าแรงคนปฏิบัติงาน = 300 บาท

(จำนวน 1 คน ทำงาน 156 วัน/ปี) = 300 x 1 x 156

ค่าแรงงาน (Lo) = 46,800 บาทต่อปี

1.4) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 10% ของราคาเครื่อง จึงเท่ากับ 5,000 บาท/ปี

1.5) ค่าไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์) x จำนวน}}{1{,}000} \text{ X จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน}$$

ค่าไฟฟ้าฐาน = จำนวนยูนิต X อัตราค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วย

เครื่องกะเทาะฝักประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดป้อนขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.45 A ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 104 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.45 = 551.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{551.00 \text{ X } 1}{1000}$ X 8 = 4.41 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 4.41 X 3.76 X 104 = 1724.49 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดกะเทาะขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 2.32 A ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 104 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 2.32 = 881.16 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{881.16 \text{ X } 1}{1000}$ X 8 = 7.05 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 7.05 X 3.76 X 104 = 2756.83 บาทต่อปี

พหุน ปณฑิโต ชีเว

เครื่องทำความสะอาดฝักประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดลมดูดเปลือกขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 2.45 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 2.45 = 931.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{931.00 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 4.66 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 4.66 X 3.76 X 52 = 911.12 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดตะแกรงโยกขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.85 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.85 = 703.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{703.00 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 3.52 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 3.52 X 3.76 X 52 = 688.23 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้ารวม (F) = 1724.49 + 2756.83 + 911.12 + 688.23 = 6079.03 บาทต่อปี

1.6) ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินมูลซากของเครื่องอยู่ที่ 10% ของราคาเครื่อง ที่อายุการใช้งาน 7 ปี

จะได้ว่า จากสมการ $D = \frac{(P-S)}{N}$

แทนค่า $D = \frac{(50{,}000-5{,}000)}{7}$

D = 6,428.57 บาทต่อปี

1.7) ค่าอัตราดอกเบี้ย

ค่าอัตราดอกเบี้ยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินที่อัตราดอกเบี้ย 5% ต่อปี

จะได้ว่า จากสมการ $I = \frac{(P-S)}{2} X (i)$

แทนค่า $I = \frac{(50,000-5,000)}{2} X (0.05)$

$I =$ 1,375 บาทต่อปี

1.8) ต้นทุนคงที่และต้นทุนการใช้เครื่อง

จะได้ว่า ต้นทุนคงที่ (Fc) = D+I

แทนค่า = 6,428.57+1,375

= 7,803.57 บาทต่อปี

ต้นทุนการใช้เครื่อง $= \frac{1}{Ct} X (R\&M+F+O+Lo)$

แทนค่า $= \frac{1}{58,423.04} X (5,000+6,079.03+0+46,800)$

= 0.99 บาทต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาให้ได้เมล็ดน้ำตาล สามารถสรุปผลได้ดังตาราง 4.19 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.23 ถึง ข.25

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	**ปริมาณถั่วดาวอินคา 58423.04 กิโลกรัมต่อปี**	
ราคารวมแรกซื้อ	50,000	บาท
อายุใช้งาน	7	ปี
มูลค่าซาก	5,000	บาท/ปี
อัตราดอกเบี้ย	1,375	บาท/ปี
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	5,000	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะ (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	4,481.63	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	1,579.40	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ารวม	6,079.03	บาท/ปี
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	46,800	บาท/ปี
ความสามารถในการกะเทาะ	70.22	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	104	วัน/ปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	8	ชั่วโมง/วัน
ความสามารถในการทำความสะอาด	240.81	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	52	วัน/ปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	5	ชั่วโมง/วัน
ค่าเสื่อมราคา	6,428.57	บาท/ปี
ต้นทุนคงที่	7,803.57	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง	0.99	บาท/กิโลกรัม

2. การคำนวณหาจุดคุ้มทุน

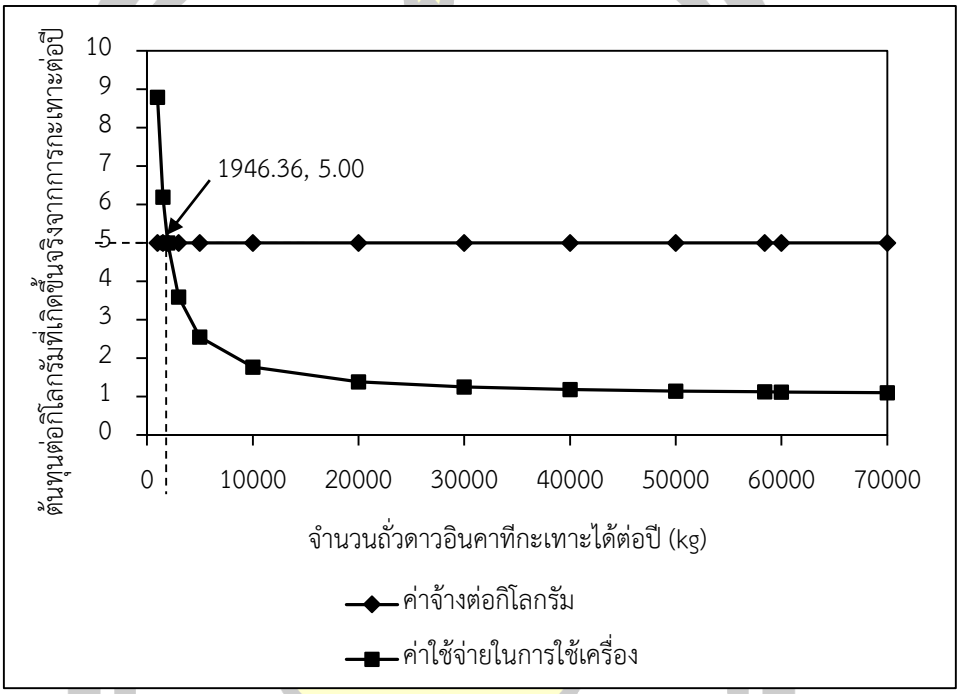
จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล เมื่อนำเครื่องมารับจ้างกะเทาะถั่วดาวอินคาที่อัตรากิโลกรัมละ 5 บาท สามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ดังนี้

จุดคุ้มทุน $Ac = \frac{Fc}{A} + \frac{1}{Ct} X (R\&M+F+O+Lo)$

แทนค่า $5 = \frac{7,803.57}{A} + \frac{1}{58,423.04} X (5,000+6,079.03+0+46,800)$

A = 0.99 บาทต่อกิโลกรัม

โดยสามารถแสดงจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาลได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.19



ภาพประกอบ 4.19 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

จากภาพประกอบ 4.19 เมื่อพิจารณาจากจำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่า ถ้านำมารับจ้างกะเทาะถั่วดาวอินคาที่กิโลกรัมละ 5 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,917.83 กิโลกรัมต่อปี

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PBP) คือ ระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุนถึงเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิ (Net Benefits) ของการใช้เครื่องต้นแบบมีค่าเท่ากับการลงทุน โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

ผลประโยชน์ = จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี X ราคารับจ้างกะเทาะ

แทนค่า = 1,946.36 X 5

ผลประโยชน์ = 9,731.81 บาทต่อปี

ผลประโยชน์สุทธิ = ผลประโยชน์ – ต้นทุนการใช้เครื่องมือ (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)

แทนค่า = 9,731.81 – 3303.24

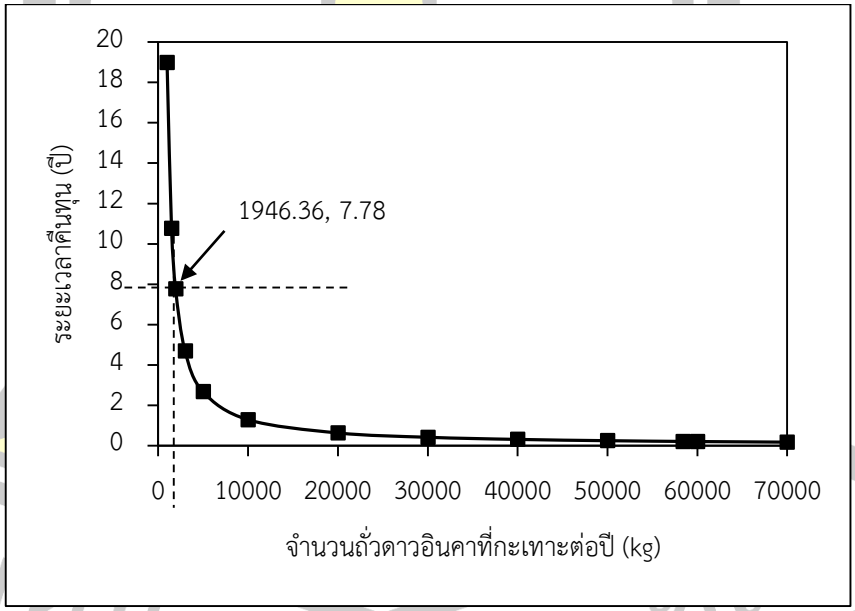
ผลประโยชน์สุทธิ = 6,428.57 บาทต่อปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิต่อปี}}$$

$$\text{แทนค่า} = \frac{50{,}000}{6{,}428.57}$$

ระยะเวลาคืนทุน = 7.78 ปี

โดยสามารถแสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาลได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.20



ภาพประกอบ 4.20 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

จากภาพประกอบ 4.20 เมื่อพิจารณาจากจำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการกะเทาะที่อัตรา 1,917.83 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 7.81 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 6,400.15 บาท/ปี จากต้นทุนการใช้เครื่อง 3,189.01 บาท/ปี

4.4.2 กะเทาะจากฝักให้เป็นเมล็ดใน

ชุดกะเทาะและทำความสะอาดจากฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาลมีการกำหนดเงื่อนไขการดำเนินการดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

1.1) ราคาแรกซื้อของเครื่องต้นแบบ (P) ได้ทำการประเมินราคาไว้เท่ากับ 80,000 บาท โดยประกอบด้วยค่าวัสดุ ค่าแรง และค่าดำเนินการสำหรับสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา และคิดที่อายุการใช้งานเครื่อง 7 ปี

1.2) ระยะเวลาการทำงาน เนื่องจากผู้ประกอบการทำการกะเทาะถั่วดาวอินคาตลอดทั้งปีโดยขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ แต่จะทำการกะเทาะเป็นรอบต่อสัปดาห์ โดยกะเทาะให้ได้เมล็ดในซึ่งทำงานประมาณ 4-6 วันต่อสัปดาห์ และอีก 1 วันในการบีบน้ำมันหรือแปรรูปอย่างอื่น ดังนั้นในการใช้เครื่องกะเทาะให้เป็นเมล็ดน้ำตาลจึงคิดเป็นการทำงานต่อรอบอยู่ที่ 2 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 104 วันต่อปี ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงาน 70.22 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และทำความสะอาดต่อรอบอยู่ที่ 1 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 52 วันต่อปี ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 240.81 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อได้เมล็ดน้ำตาลแล้ว ก็ทำการกะเทาะให้เป็นเมล็ดในซึ่งคิดเป็นการทำงานต่อรอบอยู่ที่ 1 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 52 วันต่อปี ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 220.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และทำความสะอาดต่อรอบอยู่ที่ 1 วันต่อสัปดาห์ คิดเป็น 52 วันต่อปี ทำงานวันละ 10 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 108.28 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จะได้ว่า ความสามารถในการกะเทาะฝัก (Ct) = 70.22 x 8 x 104

= 58,423.04 กิโลกรัมต่อปี

ความสามารถในการทำความสะอาด (Ct) = 240.81 x 5 x 52

= 62,610.10 กิโลกรัมต่อปี

จะได้ว่า ความสามารถในการกะเทาะเมล็ดน้ำตาล (Ct) = 220.24 x 5 x 52

= 57262.40 กิโลกรัมต่อปี

ความสามารถในการทำความสะอาด (Ct) = 108.28 x 10 x 52

= 56305.60 กิโลกรัมต่อปี

1.3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงาน (Lo) ประกอบด้วยแรงงานในการคุมเครื่อง จำนวน 1 คน ค่าจ้างวันละ 300 บาท/วัน ทำงาน 260 วัน/ปี

จะได้ว่า ค่าแรงคนปฏิบัติงาน = 300 บาท

(จำนวน 1 คน ทำงาน 156 วัน/ปี) = 300 x 1 x 260

ค่าแรงงาน (Lo) = 78,000 บาทต่อปี

1.4) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 10% ของราคาเครื่อง จึงเท่ากับ 8,000 บาท/ปี

1.5) ค่าไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์) x จำนวน}}{1{,}000} \text{ X จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน}$$

ค่าไฟฟ้าฐาน = จำนวนยูนิต X อัตราค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วย

เครื่องกะเทาะฝักประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดป้อนขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.45 A ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 104 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.45 = 551.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า $= \frac{551.00 \text{ X } 1}{1000} \text{ X } 8$ = 4.41 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 4.41 X 3.76 X 104 = 1724.49 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดกะเทาะขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 2.32 A ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 104 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 2.32 = 881.16 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{881.16 \text{ X } 1}{1000}$ X 8 = 7.05 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 7.05 X 3.76 X 104 = 2756.83 บาทต่อปี

เครื่องทำความสะอาดฝักประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดลมดูดเปลือกขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 2.45 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 2.45 = 931.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{931.00 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 4.66 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 4.66 X 3.76 X 52 = 911.12 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดตะแกรงโยกขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.85 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.85 = 703.00 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{703.00 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 3.52 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 3.52 X 3.76 X 52 = 688.23 บาทต่อปี

เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดป้อนขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.44 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.44 = 547.20 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{547.20 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 2.74 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 2.74 X 3.76 X 52 = 534.94 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดกะเทาะขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.98 A ทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 1.98 = 752.40 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{752.40 \text{ X } 1}{1000}$ X 5 = 3.76 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 3.76 X 3.76 X 52 = 735.55 บาทต่อปี

เครื่องทำความสะอาดฝักประกอบด้วย

มอเตอร์ชุดลมดูดเปลือกขนาด 2 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 2.47 A ทำงานวันละ 10 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก P =VI = 380 X 2.47 = 938.60 W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า = $\frac{938.60 \text{ X } 1}{1000}$ X 10 = 9.39 ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 9.39 X 3.76 X 52 = 1,835.15 บาทต่อปี

มอเตอร์ชุดตะแกรงโยกขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส วัดกระแสขณะเครื่องทำงานได้ 1.89 A ทำงานวันละ 10 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 52 วันทำงาน และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย

จะได้ว่า จาก $P = VI = 380 \times 1.89 = 718.20$ W

แทนค่า พลังงานไฟฟ้า $= \frac{718.20 \times 1}{1000} \times 10 = 7.18$ ยูนิตต่อวัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = $7.18 \times 3.76 \times 52 = 1,404.22$ บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้ารวม (F) = 1724.49+2756.83+911.1+688.23+
534.94+735.55+1835.15+1404.22 = 10,588.89 บาทต่อปี

1.6) ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินมูลซากของเครื่องอยู่ที่ 10% ของราคาเครื่อง ที่อายุการใช้งาน 7 ปี

จะได้ว่า จากสมการ $D = \frac{(P-S)}{N}$

แทนค่า $D = \frac{(80,000-8,000)}{7}$

$D = 10,285.70$ บาทต่อปี

1.7) ค่าอัตราดอกเบี้ย

ค่าอัตราดอกเบี้ยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินที่อัตราดอกเบี้ย 5% ต่อปี

จะได้ว่า จากสมการ $I = \frac{(P-S)}{2} \times (i)$

แทนค่า $I = \frac{(80,000-8,000)}{2} \times (0.05)$

$I = 2,200$ บาทต่อปี

1.8) ต้นทุนคงที่และต้นทุนการใช้เครื่อง

จะได้ว่า ต้นทุนคงที่ (F_C) = D+I

แทนค่า = 10,285.70+2,200

= 12,485.70 บาทต่อปี

$$\text{ต้นทุนการใช้เครื่อง} = \frac{1}{Ct} \text{ X (R\&M+F+O+Lo)}$$

$$\text{แทนค่า} = \frac{1}{58,423.04} \text{ X (8,000+10,588.89+0+78,000)}$$

= 1.65 บาทต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาให้ได้เมล็ดใน สามารถสรุปผลได้ดังตาราง 4.20 และแสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ตาราง ข.26 ถึง ข.49

ตาราง 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	**ปริมาณถั่วดาวอินคา 58423.04 กก./ปี**	
ราคารวมแรกซื้อ	80,000	บาท
อายุใช้งาน	7	ปี
มูลค่าซาก	8,000	บาท/ปี
อัตราดอกเบี้ย	2,200	บาท/ปี
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	8,000	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะฝัก (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	4481.63	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	1597.40	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะเมล็ดน้ำตาล (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	1270.49	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	3239.38	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ารวม	10588.89	บาท/ปี
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	78,000	บาท/ปี
ความสามารถในการกะเทาะฝัก	70.22	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	104	วัน/ปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	8	ชั่วโมง/วัน
ความสามารถในการทำความสะอาด	240.81	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	52	วัน/ปี

ตาราง 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา (ต่อ)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	**ปริมาณถั่วดาวอินคา 58423.04 กก./ปี**	
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	5	ชั่วโมง/วัน
ความสามารถในการกะเทาะเมล็ดน้ำตาล	220.24	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	52	วัน/ปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	5	ชั่วโมง/วัน
ความสามารถในการทำความสะอาด	108.28	กิโลกรัม/ชั่วโมง
จำนวนวันทำงาน	52	วัน/ปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	10	ชั่วโมง/วัน
ค่าเสื่อมราคา	10,285.70	บาท/ปี
ต้นทุนคงที่	12,485.70	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง	1.65	บาท/กิโลกรัม

2. การคำนวณหาจุดคุ้มทุน

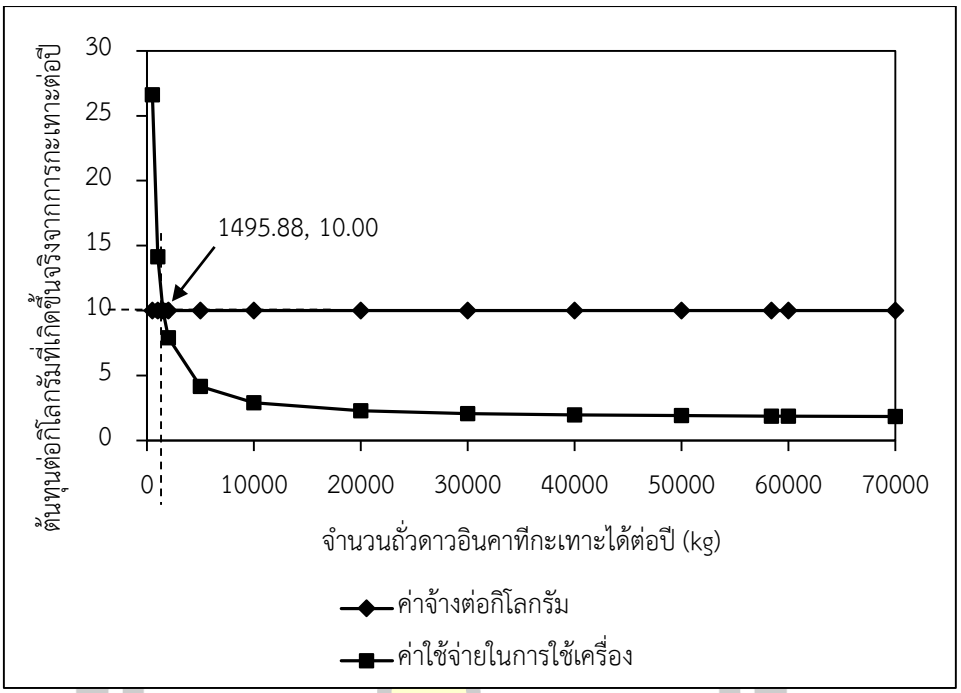
จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดน้ำตาล เมื่อนำเครื่องมารับจ้างกะเทาะถั่วดาวอินคาที่อัตรากิโลกรัมละ 5 บาท สามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ดังนี้

จุดคุ้มทุน $Ac = \frac{Fc}{A} + \frac{1}{Ct} X (R\&M+F+O+Lo)$

แทนค่า $5 = \frac{7,803.57}{A} + \frac{1}{58,423.04} X (5,000+6,079.03+0+46,800)$

$A = 0.99$ บาทต่อกิโลกรัม

โดยสามารถแสดงจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดในได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.21



ภาพประกอบ 4.21 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

จากภาพประกอบ 4.21 เมื่อพิจารณาจากจำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่า ถ้านำมารับจ้างกะเทาะถั่วดาวอินคาที่กิโลกรัมละ 10 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,495.88 กิโลกรัมต่อปี

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PBP) คือ ระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุนถึงเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิ (Net Benefits) ของการใช้เครื่องต้นแบบมีค่าเท่ากับการลงทุน โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

ผลประโยชน์ = จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี X ราคารับจ้างกะเทาะ
แทนค่า = 1,495.88 X 10
ผลประโยชน์ = 14,958.80 บาทต่อปี

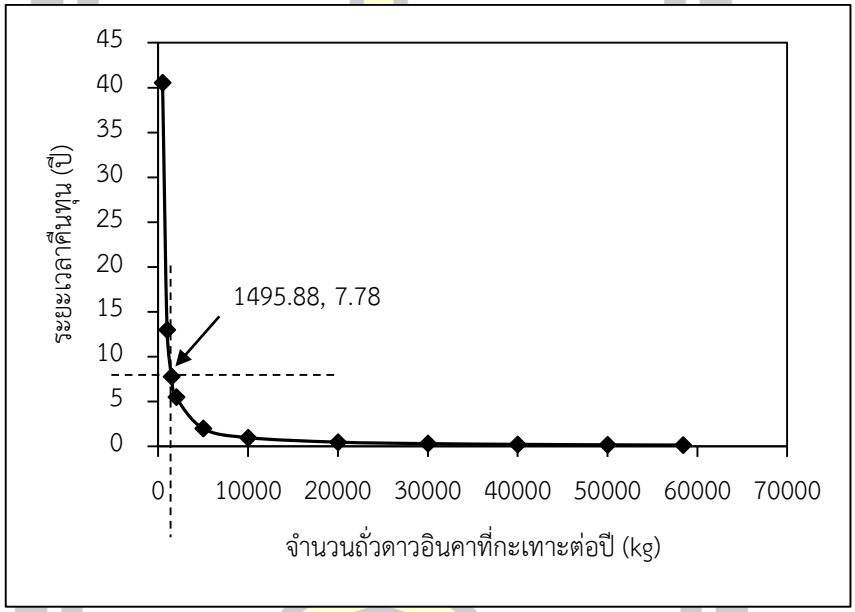
ผลประโยชน์สุทธิ = ผลประโยชน์ – ต้นทุนการใช้เครื่องมือ (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)
แทนค่า = 14,958.80 – 4,673.09
ผลประโยชน์สุทธิ = 10,285.71 บาทต่อปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิต่อปี}}$$

$$\text{แทนค่า} = \frac{80{,}000}{10{,}285.71}$$

ระยะเวลาคืนทุน = 7.78 ปี

โดยสามารถแสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาจากฝักเป็นเมล็ดในได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.22



ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

จากภาพประกอบ 4.22 เมื่อพิจารณาจากจำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการกะเทาะที่อัตรา 1,495.88 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 7.78 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 10,285.71 บาท/ปี จากต้นทุนการใช้เครื่อง 4,673.09 บาท/ปี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคาพันธุ์ *Plukenetia corniculata Sm.* ส่วนชื่อไทยนั้นยังไม่มีข้อมูล [6] จากพื้นที่ปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ถั่วดาวอินคามีรูปร่างฝักเป็นแฉกซึ่งแต่ละฝักมีจำนวนผลย่อยเฉลี่ยอยู่ที่ 4 ผลย่อยต่อฝัก มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 10.10 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตของฝัก ผลย่อย เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในเฉลี่ยอยู่ที่ 32.60, 18.86, 13.75 และ 11.02 มิลลิเมตร ตามลำดับ และด้านที่ยาวที่สุดของฝัก ผลแยก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดขนาดและชนิดของตะแกรงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 43.16, 22.99, 18.79 และ 16.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ

5.1.2 ถั่วดาวอินคามีน้ำหนักต่อเมล็ดของฝัก ผลแยก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในเฉลี่ยอยู่ที่ 6.54, 1.72, 0.93 และ 0.63 กรัม อัตราส่วนของเมล็ดน้ำตาลต่อน้ำหนักทั้งหมดของฝักถั่ว (K1) และอัตราส่วนของเมล็ดในต่อน้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดน้ำตาล (K2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.53±0.01 และ 0.65±0.01 ตามลำดับ

5.1.3 ถั่วดาวอินคามีความหนาแน่นของฝักถั่วดาวอินคา ผลแยก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดใน เฉลี่ยอยู่ที่ 218.90, 257.71, 564.10 และ 594.40 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

5.1.4 ถั่วดาวอินคามีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิววัสดุของฝัก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในถั่วดาวอินคา ที่พื้นผิววัสดุ 3 ชนิด คือ ไม้อัด พลาสติก และเหล็ก พบว่า ฝัก เมล็ดน้ำตาล และเมล็ดในถั่วดาวอินคา ที่พื้นเหล็กถั่วดาวอินคามีมุมการไถลน้อยกว่าพื้นผิววัสดุชนิดอื่น ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 29.16, 18.45 และ 20.78 องศา ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เฉลี่ยอยู่ที่ 0.56, 0.33 และ 0.38 ตามลำดับ

5.2 สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

5.2.1 ชุดกะเทาะฝัก

เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุดโรตารี่ป้อนฝักและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ป้อนฝักมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร จำนวนครีบทั้งหมด 4 ครีบและชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาซึ่งมีขนาด 450x360x800 มิลลิเมตร ลูกกะเทาะเป็นแบบแถบแนวแกนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร มีจำนวนแถบทั้งหมด 4 แถบ โดยติดตั้งทำมุมกัน 90 องศา ตามแนวรัศมี และยาว 430 มิลลิเมตร ซึ่งแถบทั้ง 4 นี้สามารถปรับระยะห่างระหว่างผิวของแถบกับตะแกรงเว้าได้ ภายในห้องกะเทาะติดตั้งตะแกรงเว้าแบบรูกลมขนาด 22 มิลลิเมตร และมีช่องทางออกของฝักที่ไม่กะเทาะซึ่งมีขนาดของช่องทางออกที่แตกต่างกัน 3 ขนาด โดยเครื่องกะเทาะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เป็นต้นกำลังโดยส่งกำลังไปยังลูกกะเทาะด้วยสายพาน

5.2.2 ชุดทำความสะอาดฝัก

ชุดทำความสะอาดเปลือกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องดูดลม และตะแกรงโยกคัดแยก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดลมดูดเปลือก มีขนาด 45x90x60 เซนติเมตร มีช่องทางออกของเปลือก 15x13 เซนติเมตร มุมเอียงของใบซิกแซ็ก สามารถปรับมุมได้เพื่อให้เหมาะสมกับการไหลของเมล็ดถั่วดาวอินคา

2. ชุดตะแกรงโยกคัดแยก มีตะแกรง 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 ใช้ขนาดรูตะแกรงอยู่ที่ 20 มิลลิเมตร ใช้ในการคัดแยกเศษเปลือกและฝักที่ไม่กะเทาะออก ชั้นที่ 2 มีขนาดรูตะแกรง 16 มิลลิเมตร เป็นชั้นสำหรับแยกเมล็ดในและสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กออกจากเมล็ดน้ำตาลที่ถูกกะเทาะสมบรูณ์ ส่วนชั้นที่ 3 จะเป็นชั้นแผ่นเหล็กเรียบ ชั้นนี้สำหรับสิ่งเจือปนที่เล็กมากๆ เช่นเมล็ดขาวแตกหักและฝุ่นของถั่วดาวอินคา

5.2.3 ชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดในที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุดโรตารี่ป้อนและชุดกะเทาะ โดยชุดโรตารี่ป้อนจะใช้ชุดเดียวกันกับชุดป้อนฝัก ส่วนชุดกะเทาะจะใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระทบกับผนังเป้า ใช้เหล็กในการสร้างเป็นหลักโดยมีขนาด 500x500x1500 มิลลิเมตร ห้องกะเทาะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เป็นต้นกำลังโดยส่งถ่ายกำลังโดยสายพาน ลักษณะของจานเหวี่ยงมี 3 ลักษณะคือ จานเหวี่ยง

แบบทำมุม 45 องศา จานเหวี่ยงแบบเอียงทำมุม 90 องศา และจานเหวี่ยงแบบโค้ง โดยมีช่องทางออกที่มีขนาดเท่ากัน คือ 38 มิลลิเมตร เพื่อทำให้เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ออกจากจานเหวี่ยงถูกเหวี่ยงออกมาได้โดยง่าย และในส่วนของเป้ากระทบที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ เป้ากระทบแบบเหล็กแผ่นเรียบ เป้ากระทบเป้ากระทบแบบเหล็กเส้นแนวตั้ง และแบบตะแกรง

5.2.4 ชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

ชุดทำความสะอาดเปลือกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องดูดลม และตะแกรงโยกคัดแยก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดลมดูดเปลือก มีขนาด 45x90x60 เซนติเมตร มีช่องทางออกของเปลือก 15x13 เซนติเมตร มุมเอียงของใบซิกแซ็ก สามารถปรับมุมได้เพื่อให้เหมาะสมกับการไหลของเมล็ดถั่วดาวอินคา

2. ชุดตะแกรงโยกคัดแยก มีตะแกรง 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 ใช้ขนาดรูตะแกรงอยู่ที่ 18 มิลลิเมตร ใช้ในการคัดแยกเศษเปลือกและฝักที่ไม่กะเทาะออก ชั้นที่ 2 มีขนาดรูตะแกรง 14 มิลลิเมตร เป็นชั้นสำหรับแยกเมล็ดในและสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กออกจากเมล็ดน้ำตาลที่ถูกกะเทาะสมบรูณ์ ส่วนชั้นที่ 3 จะเป็นชั้นแผ่นเหล็กเรียบ ชั้นนี้สำหรับสิ่งเจือปนที่เล็กมากๆ เช่นเมล็ดขาวแตกหักและฝุ่นของถั่วดาวอินคา

5.3 สรุปผลการทดสอบเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

5.3.1 เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาทำงานที่ความเร็วรอบ 270 รอบต่อนาที เคลียรันซ์ 20 มิลลิเมตร และช่องทางออก 2x8 เซนติเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยอยู่ที่ 81.59 เปอร์เซ็นต์ ได้เมล็ดน้ำตาลเต็มเมล็ดเป็น 62.23 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลแตกหัก 3.26 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหัก 4.74 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ฝักไม่กะเทาะ 29.77 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 70.22 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.3.2 เครื่องทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยว 520 รอบต่อนาที ความเร็วลม 2.8 เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเฉลี่ยอยู่ที่ 97.83 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเฉลี่ยอยู่

ที่ 2.17 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเฉลี่ยอยู่ที่ 11.61 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 240.81 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.3.3 เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

ในการทดสอบเครื่องกะเทาะเมล็ดในสามารถสรุปเงื่อนไขตามการนำผลผลิตไปแปรรูปในรูปแบบที่แตกต่างกันได้ 2 กรณี คือ

1. กรณีที่จะนำผลผลิตไปสกัดเป็นน้ำมัน

ในกรณีนี้เนื่องจากเป็นการนำไปสกัดเป็นน้ำมัน ดังนั้นพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเป็นเมล็ดในสูงที่สุด โดยรวมถึงเมล็ดในแตกหักด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที ชนิดจานหมุนเหวี่ยงแบบ 45 องศา เป้ากระทบแบบพื้นเหล็กเส้น เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยอยู่ที่ 95.10 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็ม 40.30 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย 28.18 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย 15.64 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 240.72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2. กรณีที่จะนำผลผลิตไปแปรรูปเป็นถั่วดาวอินคาอบแห้งพร้อมทาน

ในกรณีนี้เนื่องจากเป็นการนำไปแปรรูปเป็นถั่วดาวอินคาอบแห้งพร้อมทาน ซึ่งต้องการเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเป็นเมล็ดในเต็มสูงที่สุด ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ชนิดจานหมุนเหวี่ยงแบบ 45 องศา เป้ากระทบแบบพื้นเหล็กเรียบ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยอยู่ที่ 78.93 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในเต็ม 50.07 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย 7.33 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย 3.79 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ 18.55 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน 20.25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 220.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.3.4 เครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาล

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเครื่องทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลทำงานที่ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยว 440 รอบต่อนาที ความเร็วลม 2.8 เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงาน ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การทำความสะอาดเฉลี่ยอยู่ที่ 98.15 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การปนของเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 1.85 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดเฉลี่ยอยู่ที่ 30.92 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 108.28 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.4 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

5.4.1 กะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของชุดกะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดน้ำตาล พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,917.83 กิโลกรัมต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 7.81 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 6,400.15 บาท/ปี จากต้นทุนการใช้เครื่อง 3,189.01 บาท/ปี ที่อัตราการรับจ้างกิโลกรัมละ 5 บาท

5.4.2 กะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดใน

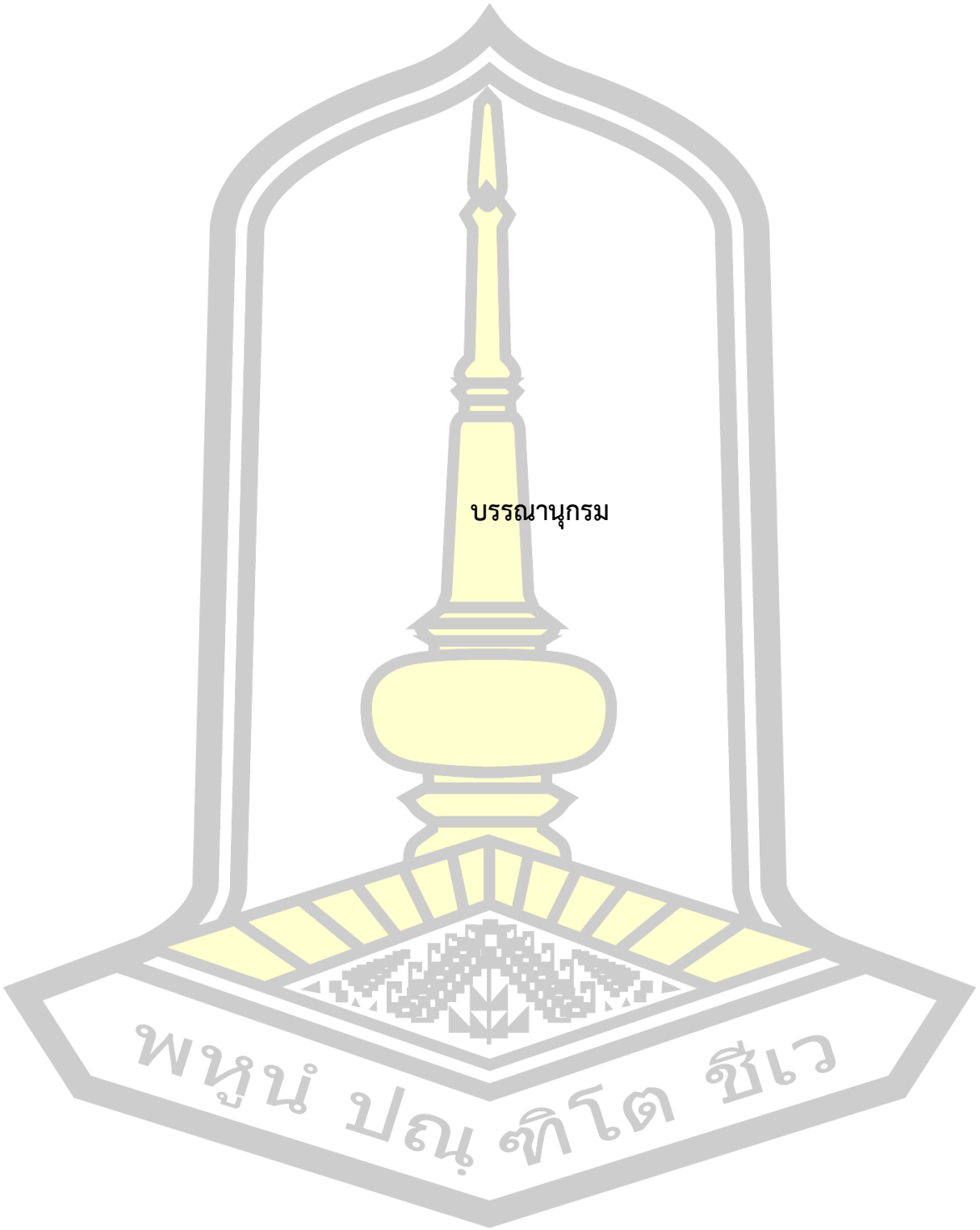
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของชุดกะเทาะฝักให้เป็นเมล็ดใน พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่อัตราการกะเทาะ 1,495.88 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 7.78 ปี ผลประโยชน์สุทธิ 10,285.71 บาท/ปี จากต้นทุนการใช้เครื่อง 4,673.09 บาท/ปี ที่อัตราการรับจ้างกิโลกรัมละ 10 บาท

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาที่สร้างขึ้น มีข้อเสนอแนะ และแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาการเตรียมถั่วดาวอินคาก่อนการกะเทาะก่อนการกะเทาะ
2. ศึกษาปัจจัยอัตราการป้อนเมล็ดของฝักและเมล็ดน้ำตาลในระดับที่แตกต่างกัน
3. ศึกษาปัจจัยมุมเอียงของใบโปรยซิกแซกเพิ่มเติม
4. ศึกษามุมเอียงของตะแกรงโยกทำความสะอาด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] กรมวิชาการเกษตร, “พืชกระแส ดาวอินคา,” วารสาร น.ส.พ.กสิกร, vol. 6, no. 47, pp. 12–16, 2557.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “ถั่วดาวอินคา,” วารสารเศรษฐกิจการเกษตร, vol. 61, no. 706, pp. 2–3, 2558.

[3] ฝ่ายเผยแพร่การใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, “ถั่วดาวอินคา,” วารสารข่าวเกษตรชลประทาน, vol. 72, no. 19, pp. 24–27, 2885.

[4] สนอง อมฤกษ์, และประพัฒน์ ทองจันทร์., “การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมียระดับอุตสาหกรรม,” *ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติครั้งที่ 6*, pp. 250–254, 2556.

[5] กลวัชร ทิมินกุล, วุฒิพล จันสระคู, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, พิมล วุฒิสินธ์, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, และนันทวรรณ สโรบล., “วิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวันพร้อมอุปกรณ์คัดแยกกาก,” *ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6*, pp. 314–320, 2556.

[6] อุดมวิทย์ ไวทยการ, กัญญรัตน์ จำปาทอง, และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ., “ดาวอินคา พืชมหัศจรรย์สุดยอดโภชนาการ,” จดหมายข่าวผลิใบ, vol. 10, no. 17, pp. 5–7, 2557.

[7] หจก. เอ็นจินเพาเวอร์, “ถั่วดาวอินคา.” .

[8] บัญฑิต จริโมภาส, สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.

[9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร.” .

[10] อารีย์ ทิมินกูล, “การออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดทานตะวัน.” สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

[11] นเรทร บุญส่ง, “การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดทานตะวัน.” สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

[12] ณัฐพล โสกุดเลาะ, นิรัตติศักดิ์ คงทน, จักรพันธ์ ด้วงคำจันทร์, ศักดิ์ดา จัมปานา, กิตติพงษ์ ลาลุน, และสมโภชน์ สุดาจันทร์., “คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดดาวอินคาแบบกะเทาะเปลือก,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, vol. 3, pp. 289–292, 2016.

[13] T. Ashwini and L. Vikas, “Effect of Moisture Content on the Physical Properties of Sunflower Seeds (helianthus annuus l .) for Development of Power Operated Sunflower Seed Decorticator,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 7, pp. 2298–2302, 2014.

[14] J. Tarighi, A. Mahmoudi, and M. K. Rad, “Moisture-dependent engineering properties of sunflower (var . Armaviriski),” vol. 2, no. 2, pp. 40–44, 2011.

[15] M. R. Seifi and R. Alimardani, “Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower (SHF8190),” *Mod. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 7, p. 135, 2010.

[16] พิศมาส หวังดี, “คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่ง,” วารสารวิจัย, vol. 1, no. 8. pp. 23–28, 2558.

[17] พีระพงศ์ กัทลี, และเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์., “คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้าก่อนคั่วและหลังคั่ว,” *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้ง ที่ 9*, pp. 97–104, 2555.

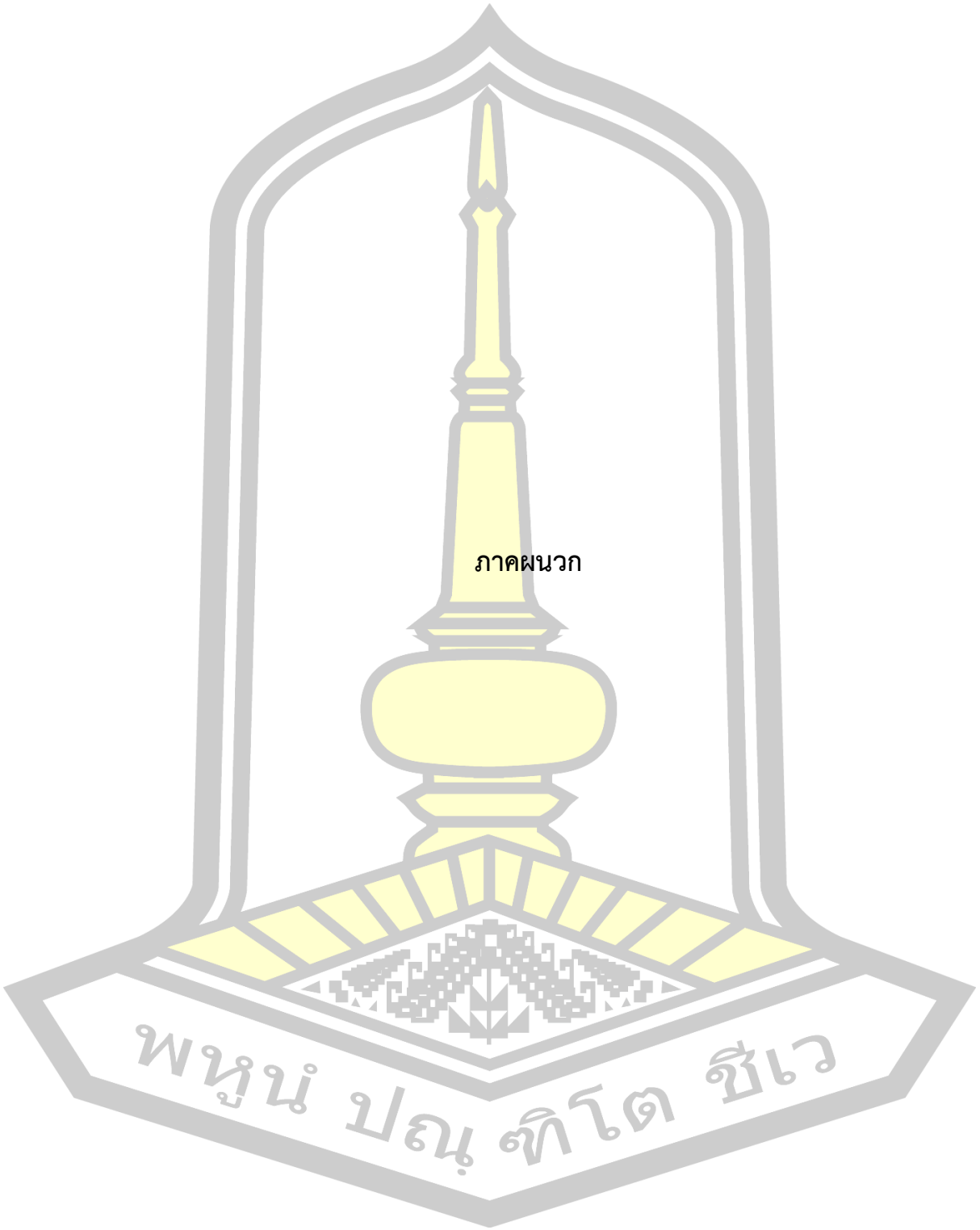
[18] สาทิป รัตนภาสกร, นวภัทรา หนูนาค, และอำนาจ คูตะคุ., “เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุม ,” *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*, vol. 4–5 เมษายน , pp. 667–672, 2555.

[19] บรรลุ เพียรชิน, “เครื่องกะเทาะลูกเดือยขนาดเล็ก.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.

[20] F. A. Oluwole, N. A. Aviara, and M. A. Haque, “Development and performance tests of a sheanut cracker,” *J. Food Eng.*, vol. 65, no. 1, pp. 117–123, 2004.

[21] R. C. Pradhan, S. N. Naik, N. Bhatnagar, and V. K. Vijay, “Design, development and testing of hand-operated decorticator for Jatropha fruit,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 3, pp. 762–768, 2010.

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติทางกายภาพของถั่วดาวอินคา

ตาราง ก.1 ขนาดของฝักถั่วดาวอินคา

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนแฉก	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
1	8.39	43.58	43.30	23.34	5	35.31	0.81
2	3.82	41.50	31.88	19.90	4	29.75	0.72
3	10.04	49.92	45.00	22.72	6	37.09	0.74
4	5.88	43.20	40.54	21.90	5	33.72	0.78
5	9.84	42.20	41.78	22.48	6	34.10	0.81
6	6.53	33.84	32.82	21.92	4	28.98	0.86
7	7.46	36.30	36.20	22.86	4	31.09	0.86
8	9.89	46.28	45.40	22.32	6	36.06	0.78
9	7.28	39.90	39.50	22.64	5	32.92	0.83
10	6.75	33.44	33.40	22.20	4	29.16	0.87
11	6.06	40.78	40.82	20.90	6	32.65	0.80
12	4.52	32.08	32.76	20.98	4	28.04	0.87
13	9.05	39.32	42.00	22.12	5	33.18	0.84
14	5.66	41.18	32.22	22.24	4	30.90	0.75
15	6.43	43.40	33.64	23.60	4	32.54	0.75
16	6.25	44.24	42.20	23.10	5	35.07	0.79
17	3.90	46.60	36.00	23.04	4	33.81	0.73
18	5.56	44.32	34.32	23.54	4	32.96	0.74
19	6.94	49.00	44.58	24.10	5	37.48	0.76
20	5.81	43.60	33.50	23.00	4	32.27	0.74
21	7.51	47.90	36.50	25.00	4	35.23	0.74
22	7.26	44.80	34.52	22.68	4	32.73	0.73

ตาราง ก.1 ขนาดของฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนแฉก	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
23	10.77	51.50	44.22	23.30	5	37.58	0.73
24	7.74	45.18	33.84	23.00	4	32.76	0.73
25	7.19	46.98	34.80	24.14	4	34.05	0.72
26	8.94	53.54	37.00	23.82	4	36.14	0.67
27	6.79	44.82	35.20	24.32	4	33.73	0.75
28	7.02	45.22	35.36	24.00	4	33.73	0.75
29	4.71	42.00	36.38	23.00	5	32.76	0.78
30	9.30	49.16	37.16	24.72	4	35.61	0.72
31	7.18	44.70	40.00	22.18	5	34.10	0.76
32	7.09	43.50	33.74	24.24	4	32.89	0.76
33	5.70	40.80	34.50	22.50	5	31.64	0.78
34	7.55	47.00	42.00	22.82	5	35.58	0.76
35	7.60	46.60	35.00	23.32	4	33.63	0.72
36	8.95	49.82	37.20	26.48	4	36.61	0.73
37	6.19	43.52	33.20	22.50	4	31.92	0.73
38	5.31	43.18	35.28	23.50	4	32.96	0.76
39	7.53	45.40	34.84	23.64	4	33.44	0.74
40	7.51	40.80	38.44	22.50	5	32.80	0.80
41	7.12	43.60	34.10	22.00	4	31.98	0.73
42	5.51	40.60	30.18	20.20	4	29.14	0.72
43	5.59	42.00	34.00	22.64	4	31.86	0.76
44	7.76	45.10	34.72	24.00	4	33.50	0.74

ตาราง ก.1 ขนาดของฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนแฉก	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
45	8.05	46.72	42.00	22.60	6	35.40	0.76
46	6.99	44.12	34.00	22.00	4	32.08	0.73
47	5.83	43.00	33.94	24.42	4	32.91	0.77
48	4.82	40.00	32.58	21.22	4	30.24	0.76
49	6.55	43.24	33.24	22.50	4	31.86	0.74
50	6.73	45.70	39.40	23.20	6	34.70	0.76
51	7.23	46.48	35.50	24.62	4	34.38	0.74
52	6.55	45.00	36.28	24.44	4	34.17	0.76
53	6.23	41.18	31.50	21.82	4	30.48	0.74
54	6.89	46.00	38.38	24.60	4	35.15	0.76
55	3.41	41.78	31.78	24.40	4	31.88	0.76
56	6.77	43.50	32.66	21.80	4	31.40	0.72
57	6.02	42.20	32.00	21.98	4	30.96	0.73
58	6.38	40.00	31.00	22.76	4	30.45	0.76
59	5.89	45.20	34.32	24.30	4	33.53	0.74
60	6.51	41.40	32.00	22.00	5	30.77	0.74
61	6.26	41.90	32.00	20.80	4	30.33	0.72
62	5.44	43.20	31.26	22.40	4	31.16	0.72
63	5.77	42.70	38.40	22.00	5	33.04	0.77
64	6.12	41.38	30.90	21.78	4	30.31	0.73
65	5.36	42.40	33.50	23.00	4	31.97	0.75
66	5.68	39.22	36.00	20.50	5	30.70	0.78

ตาราง ก.1 ขนาดของฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนแฉก	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
67	6.91	42.50	33.20	22.30	4	31.57	0.74
68	6.38	43.60	38.00	22.00	5	33.16	0.76
69	4.75	39.12	29.20	19.40	4	28.09	0.72
70	5.92	41.70	32.60	21.00	4	30.56	0.73
71	9.93	47.50	44.00	35.00	5	41.82	0.88
72	8.05	58.00	40.10	25.48	4	38.99	0.67
73	4.96	38.90	31.00	25.18	4	31.20	0.80
74	7.46	48.60	33.00	22.80	4	33.19	0.68
75	7.03	41.00	31.00	21.78	4	30.25	0.74
76	5.35	42.84	34.60	23.62	4	32.71	0.76
77	4.71	41.60	31.58	22.28	4	30.82	0.74
78	5.45	41.40	31.70	20.00	4	29.72	0.72
79	10.35	48.50	44.92	25.00	5	37.91	0.78
80	7.03	44.32	34.00	22.50	4	32.37	0.73
81	7.66	45.30	35.90	23.70	4	33.78	0.75
82	6.83	44.00	35.70	23.00	4	33.06	0.75
83	5.89	42.00	39.22	34.00	5	38.26	0.91
84	7.29	43.50	34.72	23.10	4	32.68	0.75
85	6.45	42.16	32.76	22.00	4	31.20	0.74
86	5.28	41.60	34.00	23.80	4	32.29	0.78
87	5.31	39.50	29.74	21.16	4	29.18	0.74
88	6.42	42.70	32.82	22.56	4	31.62	0.74

ตาราง ก.1 ขนาดของฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	จำนวนแฉก	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
89	5.34	48.00	29.00	20.00	4	30.31	0.63
90	5.37	41.38	33.00	22.50	4	31.32	0.76
91	5.87	39.00	30.00	20.84	4	29.00	0.74
92	4.74	39.50	32.26	22.56	4	30.63	0.78
93	6.85	41.50	31.40	22.90	4	31.02	0.75
94	5.68	39.62	30.30	20.00	4	28.85	0.73
95	6.74	42.00	32.40	32.00	4	35.18	0.84
96	6.77	40.80	31.50	21.60	4	30.28	0.74
97	4.90	38.58	29.00	20.50	4	28.41	0.74
98	4.50	34.52	26.70	18.68	4	25.82	0.75
99	5.20	39.00	30.00	20.40	4	28.79	0.74
100	4.50	40.00	34.00	32.00	4	35.17	0.88
ค่าเฉลี่ย	6.57	43.13	35.10	23.04	4.31	32.60	0.76
ค่ามากที่สุด	10.77	58.00	45.40	35.00	6.00	41.82	0.91
ค่าน้อยที่สุด	3.41	32.08	26.70	18.68	4.00	25.82	0.63
ค่าเบี่ยงเบน	1.46	3.93	4.14	2.53	0.58	2.63	0.05

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.2 ขนาดของผลย่อย

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
1	1.67	21.30	18.50	14.90	18.04	0.85
2	1.76	22.98	19.30	13.98	18.37	0.80
3	2.09	25.60	20.20	15.48	20.00	0.78
4	1.34	23.94	19.94	14.30	18.97	0.79
5	1.42	24.12	19.26	14.64	18.95	0.79
6	1.71	22.00	18.66	14.60	18.16	0.83
7	1.83	22.26	19.32	15.20	18.70	0.84
8	2.07	24.50	20.00	16.82	20.20	0.82
9	1.99	24.12	20.72	16.38	20.15	0.84
10	2.22	24.30	21.30	16.14	20.29	0.84
11	2.28	24.18	21.00	15.96	20.09	0.83
12	2.18	23.98	21.34	15.70	20.03	0.84
13	1.79	24.00	19.96	16.00	19.72	0.82
14	0.53	21.20	17.00	12.00	16.29	0.77
15	1.59	22.20	18.98	14.98	18.48	0.83
16	1.69	22.80	18.44	15.98	18.87	0.83
17	1.82	23.28	19.00	15.70	19.08	0.82
18	1.52	22.30	19.40	14.70	18.53	0.83
19	1.44	22.30	19.70	13.20	17.97	0.81
20	1.38	21.42	19.00	13.00	17.42	0.81
21	1.80	23.00	21.20	15.20	19.50	0.85
22	1.72	23.30	21.48	15.00	19.58	0.84
23	1.60	23.40	21.00	14.48	19.23	0.82

ตาราง ก.2 ขนาดของผลย่อย (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
24	1.98	23.36	20.20	15.32	19.34	0.83
25	2.08	24.00	20.70	14.20	19.18	0.80
26	1.63	21.98	19.20	14.00	18.08	0.82
27	1.64	21.20	18.00	13.50	17.27	0.81
28	1.51	22.00	19.50	12.68	17.59	0.80
29	1.81	22.20	19.30	14.70	18.47	0.83
30	1.79	22.42	19.78	14.68	18.67	0.83
31	2.31	23.98	21.20	16.20	20.19	0.84
32	2.52	25.10	22.10	17.50	21.33	0.85
33	0.84	23.30	18.98	14.32	18.50	0.79
34	0.95	24.50	18.20	15.00	18.84	0.77
35	1.50	21.42	18.38	16.00	18.47	0.86
36	1.28	22.80	19.20	14.20	18.39	0.81
37	1.20	24.20	19.00	15.10	19.08	0.79
38	1.71	24.42	19.50	16.50	19.88	0.81
39	1.52	22.00	18.00	13.98	17.69	0.80
40	1.51	21.00	18.20	14.48	17.69	0.84
41	1.53	23.00	18.98	12.98	17.83	0.78
42	1.36	22.50	18.20	12.00	17.00	0.76
43	1.65	21.50	19.50	14.50	18.25	0.85
44	1.89	25.00	21.82	15.90	20.55	0.82
45	1.58	21.42	18.82	14.20	17.89	0.84
46	1.86	25.70	20.82	15.02	20.03	0.78

ตาราง ก.2 ขนาดของผลย่อย (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
47	1.80	24.20	20.40	15.98	19.91	0.82
48	1.69	22.98	19.32	14.20	18.47	0.80
49	1.80	23.80	20.50	15.00	19.42	0.82
50	1.71	23.00	19.20	13.98	18.34	0.80
51	1.65	23.00	19.00	14.62	18.56	0.81
52	1.85	23.20	19.98	15.20	19.17	0.83
53	1.68	23.00	20.82	17.00	20.12	0.87
54	1.55	22.24	19.98	11.82	17.38	0.78
55	2.59	25.20	21.98	17.62	21.37	0.85
56	1.72	23.84	20.00	12.00	17.89	0.75
57	1.75	23.32	18.96	15.00	18.79	0.81
58	2.19	26.52	21.48	16.26	21.00	0.79
59	1.76	23.30	19.22	15.02	18.88	0.81
60	2.01	24.94	20.10	16.20	20.10	0.81
61	1.16	23.00	18.64	15.00	18.60	0.81
62	1.10	22.24	19.32	14.20	18.27	0.82
63	1.67	21.24	18.68	16.00	18.52	0.87
64	1.70	22.50	19.46	16.84	19.46	0.87
65	1.66	22.86	20.20	14.84	18.99	0.83
66	1.08	21.78	20.20	13.74	18.22	0.84
67	1.22	23.00	19.50	14.32	18.59	0.81
68	1.74	21.78	19.62	15.96	18.96	0.87
69	2.20	26.92	21.54	16.98	21.43	0.80

ตาราง ก.2 ขนาดของผลย่อย (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
70	1.19	19.20	14.18	13.44	15.41	0.80
71	1.62	22.22	18.26	14.68	18.13	0.82
72	1.63	22.52	18.40	14.32	18.10	0.80
73	1.70	22.74	18.22	14.52	18.19	0.80
74	1.81	22.76	21.20	15.72	19.65	0.86
75	1.85	24.42	20.82	13.10	18.81	0.77
76	1.81	22.00	20.95	15.60	19.30	0.88
77	1.75	21.82	18.60	14.20	17.93	0.82
78	1.92	25.00	20.48	14.72	19.61	0.78
79	1.58	20.98	18.00	13.64	17.27	0.82
80	1.28	23.42	19.10	15.14	18.92	0.81
81	1.92	24.86	20.96	14.48	19.61	0.79
82	1.55	22.40	19.88	14.74	18.72	0.84
83	1.99	23.22	20.02	15.62	19.36	0.83
84	1.87	22.78	21.20	15.10	19.39	0.85
85	1.30	22.00	19.20	11.98	17.17	0.78
86	1.20	22.48	19.12	11.50	17.03	0.76
87	1.46	22.42	18.74	14.32	18.19	0.81
88	2.21	25.04	21.78	14.44	19.90	0.79
89	1.98	22.74	20.32	15.20	19.15	0.84
90	1.75	21.78	18.52	14.34	17.95	0.82
91	1.97	24.98	20.86	14.00	19.39	0.78
92	2.25	23.20	21.38	15.80	19.86	0.86

ตาราง ก.2 ขนาดของผลย่อย (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
93	1.44	21.24	18.96	13.86	17.74	0.84
94	2.21	23.26	21.00	14.50	19.20	0.83
95	1.83	22.34	19.78	14.82	18.71	0.84
96	2.35	23.54	21.00	15.80	19.84	0.84
97	2.26	23.74	21.96	15.20	19.94	0.84
98	2.08	22.40	22.00	15.30	19.61	0.88
99	2.00	22.46	19.84	15.78	19.16	0.85
100	1.48	21.14	17.86	13.76	17.32	0.82
ค่าเฉลี่ย	1.72	23.04	19.73	14.79	18.86	0.82
ค่ามากที่สุด	2.59	26.92	22.10	17.62	21.43	0.88
ค่าน้อยที่สุด	0.53	19.20	14.18	11.50	15.41	0.75
ค่าเบี่ยงเบน	0.35	1.31	1.27	1.23	1.07	0.03

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.3 ขนาดของเมล็ดน้ำตาล

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
1	0.16	15.42	17.20	5.20	11.13	0.72
2	0.93	19.50	16.62	8.44	13.99	0.72
3	1.27	21.24	16.72	9.12	14.80	0.70
4	0.79	17.68	15.26	8.68	13.28	0.75
5	0.91	18.30	15.00	8.50	13.26	0.72
6	0.88	18.66	16.40	9.12	14.08	0.75
7	1.12	20.00	17.72	8.68	14.54	0.73
8	1.25	19.82	17.26	9.30	14.71	0.74
9	0.94	18.00	16.38	8.36	13.51	0.75
10	0.94	19.52	16.78	8.66	14.16	0.73
11	1.15	20.02	18.34	9.14	14.97	0.75
12	1.01	19.62	16.78	8.24	13.95	0.71
13	1.03	18.84	16.20	9.00	14.00	0.74
14	1.01	19.00	16.28	9.04	14.09	0.74
15	0.81	18.62	16.00	6.98	12.76	0.69
16	0.54	18.00	14.22	7.66	12.52	0.70
17	1.37	20.00	17.92	9.72	15.16	0.76
18	1.14	19.64	18.00	9.22	14.83	0.75
19	1.38	19.74	18.00	10.04	15.28	0.77
20	1.11	19.68	17.10	9.30	14.63	0.74
21	1.08	19.90	16.12	9.00	14.24	0.72
22	0.95	19.12	16.32	8.48	13.83	0.72
23	0.88	17.86	15.00	8.36	13.08	0.73

ตาราง ก.3 ขนาดของเมล็ดน้ำตาล (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
24	0.94	17.92	15.94	8.34	13.36	0.75
25	1.24	21.00	16.48	9.00	14.60	0.70
26	0.72	18.00	16.38	8.98	13.83	0.77
27	0.98	18.14	16.18	8.78	13.71	0.76
28	0.96	19.12	17.46	9.50	14.69	0.77
29	0.97	18.00	17.00	8.80	13.91	0.77
30	1.02	19.28	16.40	8.20	13.74	0.71
31	1.15	20.00	17.80	9.22	14.86	0.74
32	1.09	19.00	16.36	9.20	14.19	0.75
33	0.47	18.60	16.00	8.22	13.47	0.72
34	0.88	19.02	16.00	6.36	12.46	0.66
35	0.88	17.36	15.00	8.48	13.02	0.75
36	0.99	17.50	15.70	8.80	13.42	0.77
37	0.79	17.20	16.02	7.96	12.99	0.76
38	0.36	17.00	13.58	7.00	11.73	0.69
39	1.14	19.12	17.50	9.64	14.78	0.77
40	0.90	19.30	16.32	8.26	13.75	0.71
41	1.00	19.82	16.00	8.54	13.94	0.70
42	0.80	18.50	15.92	7.18	12.84	0.69
43	0.93	17.92	16.20	8.98	13.76	0.77
44	0.85	17.00	14.48	7.02	12.00	0.71
45	0.53	18.50	15.06	8.48	13.32	0.72
46	0.96	17.90	16.00	9.08	13.75	0.77

ตาราง ก.3 ขนาดของเมล็ดน้ำตาล (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
47	0.91	19.00	15.94	8.52	13.72	0.72
48	1.10	18.82	17.64	8.48	14.12	0.75
49	1.06	19.12	17.22	8.20	13.92	0.73
50	0.93	18.00	15.08	8.24	13.08	0.73
51	0.92	17.84	15.12	8.50	13.19	0.74
52	1.04	19.42	16.68	8.52	14.03	0.72
53	0.48	18.04	15.00	8.00	12.94	0.72
54	0.76	18.20	15.04	9.78	13.89	0.76
55	0.47	17.86	15.40	8.50	13.27	0.74
56	1.14	19.52	17.00	9.38	14.60	0.75
57	0.33	17.66	16.30	8.30	13.37	0.76
58	1.10	20.00	17.00	8.72	14.37	0.72
59	0.90	18.40	15.20	8.00	13.08	0.71
60	0.98	19.04	17.00	9.02	14.29	0.75
61	0.91	17.66	15.10	8.60	13.19	0.75
62	1.01	19.98	16.30	8.44	14.01	0.70
63	0.92	17.40	15.00	8.32	12.95	0.74
64	0.98	19.20	17.04	8.40	14.01	0.73
65	1.11	19.50	17.30	9.20	14.59	0.75
66	0.97	19.00	16.18	8.90	13.99	0.74
67	0.99	16.78	16.00	8.32	13.07	0.78
68	0.87	17.88	15.98	8.96	13.68	0.77
69	0.61	19.76	15.70	8.00	13.54	0.69

ตาราง ก.3 ขนาดของเมล็ดน้ำตาล (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
70	0.79	17.00	14.58	8.32	12.73	0.75
71	1.07	19.00	16.08	9.00	14.01	0.74
72	0.82	16.50	14.52	8.46	12.66	0.77
73	1.13	20.20	16.98	8.44	14.25	0.71
74	1.08	19.00	17.40	8.28	13.99	0.74
75	1.29	19.98	18.64	10.30	15.65	0.78
76	0.62	18.20	16.70	6.30	12.42	0.68
77	1.11	20.00	16.32	9.00	14.32	0.72
78	1.19	20.42	17.50	8.84	14.67	0.72
79	1.12	20.38	17.00	8.42	14.29	0.70
80	0.40	17.30	13.54	7.08	11.84	0.68
81	1.20	19.62	18.00	10.00	15.23	0.78
82	0.54	19.00	16.32	7.88	13.47	0.71
83	0.99	18.52	16.24	7.78	13.28	0.72
84	0.78	17.32	15.14	8.20	12.91	0.75
85	0.91	18.44	15.30	8.14	13.19	0.72
86	0.78	17.66	15.64	7.90	12.97	0.73
87	0.62	19.00	16.78	6.40	12.68	0.67
88	0.78	17.46	15.16	8.00	12.84	0.74
89	0.95	18.20	16.32	8.98	13.87	0.76
90	0.96	17.70	15.62	8.20	13.14	0.74
91	1.07	18.44	17.00	9.20	14.23	0.77
92	0.86	20.50	17.76	8.00	14.28	0.70

ตาราง ก.3 ขนาดของเมล็ดน้ำตาล (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
93	1.18	19.82	16.48	9.98	14.83	0.75
94	1.29	19.62	18.00	10.40	15.43	0.79
95	1.10	20.20	18.82	8.48	14.77	0.73
96	1.09	20.00	17.68	9.24	14.84	0.74
97	0.96	18.36	16.00	8.72	13.68	0.75
98	0.80	18.00	16.32	6.92	12.67	0.70
99	1.09	21.00	18.00	8.24	14.60	0.70
100	1.02	18.62	16.00	8.88	13.83	0.74
ค่าเฉลี่ย	0.93	18.77	16.33	8.52	13.75	0.73
ค่ามากที่สุด	1.38	21.24	18.82	10.40	15.65	0.79
ค่าน้อยที่สุด	0.16	15.42	13.54	5.20	11.13	0.66
ค่าเบี่ยงเบน	0.23	1.09	1.07	0.85	0.85	0.03

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.4 ขนาดของเมล็ดใน

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
1	0.74	15.80	13.04	8.20	11.91	0.75
2	0.66	14.12	12.32	8.00	11.16	0.79
3	0.74	15.90	13.60	7.66	11.83	0.74
4	0.77	16.34	14.00	7.80	12.13	0.74
5	0.66	15.00	12.90	7.66	11.40	0.76
6	0.68	14.98	12.66	6.92	10.95	0.73
7	0.42	11.60	12.20	7.00	9.97	0.86
8	0.94	16.50	13.32	9.00	12.55	0.76
9	0.92	16.98	14.00	8.82	12.80	0.75
10	0.75	16.42	12.72	8.02	11.88	0.72
11	0.78	16.20	12.90	8.64	12.18	0.75
12	0.74	13.34	15.20	8.00	11.75	0.88
13	0.89	16.50	14.00	9.20	12.86	0.78
14	0.62	14.42	12.50	7.46	11.04	0.77
15	0.74	15.70	13.62	8.20	12.06	0.77
16	0.60	14.32	12.00	7.40	10.83	0.76
17	0.59	15.20	12.36	7.12	11.02	0.72
18	0.66	14.90	12.32	7.90	11.32	0.76
19	0.24	9.72	10.30	5.00	7.94	0.82
20	0.28	10.20	10.18	5.98	8.53	0.84
21	0.62	15.32	13.20	7.40	11.44	0.75
22	0.59	14.48	12.00	7.66	11.00	0.76
23	0.54	14.00	12.20	7.30	10.76	0.77

ตาราง ก.4 ขนาดของเมล็ดใน (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
24	0.74	16.00	13.20	8.32	12.07	0.75
25	0.50	14.24	12.00	7.00	10.62	0.75
26	0.87	17.00	13.34	8.20	12.30	0.72
27	0.66	15.02	12.46	7.48	11.19	0.74
28	0.46	11.78	11.00	8.50	10.33	0.88
29	0.63	14.94	12.76	7.90	11.46	0.77
30	0.77	17.00	13.64	7.62	12.09	0.71
31	0.86	16.82	13.20	8.24	12.23	0.73
32	0.60	15.24	11.94	7.64	11.16	0.73
33	0.66	15.20	13.00	7.34	11.32	0.74
34	0.71	15.70	13.10	7.20	11.40	0.73
35	0.77	15.90	13.32	7.32	11.57	0.73
36	0.68	15.00	12.50	7.98	11.44	0.76
37	0.53	14.00	12.00	7.00	10.56	0.75
38	0.79	16.00	13.74	8.44	12.29	0.77
39	0.78	15.30	13.00	8.42	11.88	0.78
40	0.61	14.52	12.30	7.00	10.77	0.74
41	0.73	14.32	12.46	7.62	11.08	0.77
42	0.59	13.80	12.00	7.78	10.88	0.79
43	0.54	14.60	12.50	6.20	10.42	0.71
44	0.62	14.50	11.60	7.46	10.79	0.74
45	0.33	12.00	11.00	6.00	9.25	0.77
46	0.58	14.90	12.40	7.30	11.05	0.74

ตาราง ก.4 ขนาดของเมล็ดใน (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
47	0.68	14.40	12.48	7.70	11.14	0.77
48	0.74	15.30	12.72	8.00	11.59	0.76
49	0.52	13.90	12.00	6.90	10.48	0.75
50	0.68	14.92	12.22	7.90	11.29	0.76
51	0.61	15.24	12.32	7.60	11.26	0.74
52	0.67	14.00	13.00	7.40	11.04	0.79
53	0.54	12.70	12.00	7.98	10.67	0.84
54	0.61	14.90	12.00	7.22	10.89	0.73
55	0.54	14.00	12.24	6.90	10.57	0.76
56	0.67	15.92	12.96	7.24	11.43	0.72
57	0.58	15.46	13.00	6.26	10.80	0.70
58	0.65	15.00	13.00	7.34	11.27	0.75
59	0.55	14.90	12.62	6.00	10.41	0.70
60	0.63	13.90	12.02	7.74	10.89	0.78
61	0.38	13.00	11.50	5.50	9.37	0.72
62	0.63	14.32	12.00	7.46	10.86	0.76
63	0.64	15.30	12.00	7.30	11.03	0.72
64	0.68	15.00	12.40	7.50	11.17	0.74
65	0.61	14.30	11.60	7.36	10.69	0.75
66	0.38	13.50	11.20	6.50	9.94	0.74
67	0.77	16.58	13.78	7.68	12.06	0.73
68	0.73	15.90	13.74	8.38	12.23	0.77
69	0.73	15.92	13.80	7.56	11.84	0.74

ตาราง ก.4 ขนาดของเมล็ดใน (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
70	0.73	15.96	12.90	8.00	11.81	0.74
71	0.86	15.64	15.34	8.62	12.74	0.81
72	0.76	15.00	13.48	7.74	11.61	0.77
73	0.70	15.48	12.56	7.92	11.55	0.75
74	0.76	16.50	13.62	7.76	12.04	0.73
75	0.63	14.76	12.56	7.86	11.34	0.77
76	0.85	16.96	13.38	8.18	12.29	0.72
77	0.72	16.56	12.60	7.80	11.76	0.71
78	0.72	15.92	12.20	8.00	11.58	0.73
79	0.76	14.68	14.32	7.72	11.75	0.80
80	0.80	16.58	13.72	7.86	12.14	0.73
81	0.68	15.60	12.68	7.52	11.42	0.73
82	0.68	15.04	12.62	7.78	11.39	0.76
83	0.61	14.66	12.36	7.28	10.97	0.75
84	0.28	10.98	9.76	6.62	8.92	0.81
85	0.54	15.62	13.28	6.14	10.84	0.69
86	0.63	14.50	12.68	7.48	11.12	0.77
87	0.52	14.38	11.78	7.00	10.58	0.74
88	0.56	14.12	11.68	7.38	10.68	0.76
89	0.65	15.58	12.08	7.89	11.41	0.73
90	0.62	14.88	11.98	7.80	11.16	0.75
91	0.55	13.90	11.96	7.38	10.71	0.77
92	0.54	14.56	12.24	6.98	10.75	0.74

ตาราง ก.4 ขนาดของเมล็ดใน (ต่อ)

ซ้ำที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mm)	ความเป็นทรงกลม
93	0.61	14.98	12.16	7.18	10.94	0.73
94	0.60	14.56	11.88	7.62	10.96	0.75
95	0.60	11.28	13.04	7.88	10.50	0.93
96	0.54	12.26	13.44	6.24	10.09	0.82
97	0.25	10.48	10.08	4.98	8.07	0.77
98	0.19	8.50	10.00	2.00	5.54	0.65
99	0.24	11.28	7.90	5.68	7.97	0.71
100	0.14	7.82	9.56	5.58	7.47	0.96
ค่าเฉลี่ย	0.63	14.59	12.48	7.40	11.02	0.76
ค่ามากที่สุด	0.94	17.00	15.34	9.20	12.86	0.96
ค่าน้อยที่สุด	0.14	7.82	7.90	2.00	5.54	0.65
ค่าเบี่ยงเบน	0.16	1.77	1.11	0.96	1.15	0.04

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.5 อัตราส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งเปลือก

ซ้ำที่	น้ำหนักรวม (g)	น้ำหนักเปลือกนอก (g)	น้ำหนักเปลือกขาว (g)	น้ำหนักเปลือกน้ำตาล (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	อัตราส่วนของเมล็ดน้ำตาลต่อน้ำหนักทั้งหมดของฝักถั่ว (K1)	อัตราส่วนของเมล็ดในต่อน้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดน้ำตาล (K2)
1	56.88	1.92	5.57	0.94	8.45	0.52	0.63
2	50.80	9.68	13.64	9.50	17.98	0.54	0.65
3	52.91	10.44	13.46	10.48	18.53	0.55	0.64
4	52.15	9.81	14.77	9.78	17.79	0.53	0.65
5	51.62	10.96	14.55	8.79	17.32	0.51	0.66
ค่าเฉลี่ย	52.87	10.56	14.40	9.90	18.01	0.53	0.65
ค่าสูงสุด	56.88	11.92	15.57	10.94	18.53	0.55	0.66
ค่าต่ำสุด	50.80	9.68	13.46	8.79	17.32	0.51	0.63
ค่าเบี่ยงเบน	2.37	0.92	0.86	0.84	0.50	0.02	0.01

ตาราง ก.6 ความชื้นถั่วดาวอินคา

ซ้ำที่	น้ำหนักกระป๋อง (g)	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
1	15.39	60.57	56.27	9.52
2	15.32	57.82	53.20	10.87
3	16.28	58.10	53.95	9.92
ค่าเฉลี่ย	15.66	58.83	54.47	10.10
ค่าสูงสุด	16.28	60.57	56.27	10.87
ค่าต่ำสุด	15.32	57.82	53.20	9.52
ค่าเบี่ยงเบน	0.44	1.24	1.31	0.57

ตาราง ก.7 ความหนาแน่นของฝักและผลย่อย

ซ้ำที่	ฝัก			ผลย่อย		
	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (ml)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (ml)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
1	46.69	250.00	186.76	61.48	250.00	245.92
2	50.96	250.00	203.84	62.38	250.00	249.52
3	50.98	250.00	203.92	65.41	250.00	261.64
4	48.56	250.00	194.24	66.59	250.00	266.36
5	48.83	250.00	195.32	60.58	250.00	242.32
6	477.69	2,000.00	238.85	66.61	250.00	266.44
7	480.83	2,000.00	240.42	64.52	250.00	258.08
8	473.30	2,000.00	236.65	63.03	250.00	252.12
9	481.37	2,000.00	240.69	66.36	250.00	265.44
10	484.51	2,000.00	242.26	67.31	250.00	269.24
ค่าเฉลี่ย	49.20	250.00	196.82	63.29	250.00	253.15
ค่ามากที่สุด	50.98	250.00	203.92	66.59	250.00	266.36
ค่าน้อยที่สุด	46.69	250.00	186.76	60.58	250.00	242.32
ค่าเบี่ยงเบน	1.81	-	7.24	2.59	-	10.36

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.8 ความหนาแน่นของเมล็ดน้ำตาลและเมล็ดใน

ซ้ำที่	เมล็ดน้ำตาล			เมล็ดใน		
	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (ml)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาตร (ml)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
1	140.89	250.00	563.56	151.54	250.00	606.16
2	135.77	250.00	543.08	149.99	250.00	599.96
3	144.23	250.00	576.92	147.64	250.00	590.56
4	141.14	250.00	564.56	148.22	250.00	592.88
5	145.70	250.00	582.80	147.17	250.00	588.68
6	141.01	250.00	564.04	149.90	250.00	599.60
7	138.40	250.00	553.60	147.98	250.00	591.92
8	140.58	250.00	562.32	145.49	250.00	581.96
9	140.48	250.00	561.92	146.74	250.00	586.96
10	141.93	250.00	567.72	151.33	250.00	605.32
ค่าเฉลี่ย	141.55	250.00	566.18	148.91	250.00	595.65
ค่ามากที่สุด	145.70	250.00	582.80	151.54	250.00	606.16
ค่าน้อยที่สุด	135.77	250.00	543.08	147.17	250.00	588.68
ค่าเบี่ยงเบน	3.82	-	15.29	1.82	-	7.27

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.9 มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของฝัก

ซ้ำที่	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของเมล็ดน้ำตาล					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
1	33.46	0.66	48.62	1.14	29.82	0.57
2	32.97	0.65	47.93	1.11	28.72	0.55
3	31.95	0.62	48.43	1.13	28.94	0.55
ค่าเฉลี่ย	32.79	0.64	48.33	1.13	29.16	0.56
ค่าสูงสุด	33.46	0.66	48.62	1.14	29.82	0.57
ค่าต่ำสุด	31.95	0.62	47.93	1.11	28.72	0.55
ค่าเบี่ยงเบน	0.77	0.02	0.36	0.02	0.58	0.01

ตาราง ก.10 มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของเมล็ดน้ำตาล

ซ้ำที่	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของเมล็ดน้ำตาล					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
1	23.2	0.43	28.56	0.54	18.54	0.33
2	22.51	0.41	27.62	0.52	18.23	0.33
3	23.46	0.43	29.43	0.56	18.62	0.34
ค่าเฉลี่ย	23.06	0.42	28.54	0.54	18.46	0.33
ค่าสูงสุด	23.46	0.43	28.54	0.56	18.62	0.34
ค่าต่ำสุด	22.51	0.41	29.43	0.52	18.23	0.33
ค่าเบี่ยงเบน	0.49	0.01	0.91	0.02	0.21	0.01

ตาราง ก.11 มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของเมล็ดใน

ซ้ำที่	มุมเลื่อนไถลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของเมล็ดใน					
	พลาสติก		ไม้		เหล็ก	
	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	มุม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
1	33.60	0.66	31.54	0.61	20.20	0.37
2	32.90	0.65	32.13	0.63	21.53	0.39
3	34.10	0.68	32.43	0.64	20.60	0.38
ค่าเฉลี่ย	33.53	0.66	32.03	0.63	20.78	0.38
ค่าสูงสุด	34.10	0.68	32.43	0.64	21.53	0.39
ค่าต่ำสุด	32.90	0.65	31.54	0.61	20.20	0.37
ค่าเบี่ยงเบน	0.60	0.02	0.45	0.02	0.68	0.01

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	15	2x8	1	169.69	100.53	15.22	80.15	3.75	62.29	3.56	19.94	50.27	16.35	25.60	2.72	5.59
			2	177.05	101.85	15.43	82.54	2.29	65.03	8.47	18.72	52.55	18.12	22.56	2.86	5.76
			3	169.82	103.30	15.18	79.44	3.16	63.22	8.53	15.47	55.55	16.08	23.01	2.12	6.54
		2.5x8	1	163.46	145.80	15.50	75.80	3.83	60.13	4.13	19.57	50.98	57.27	28.87	3.14	5.54
			2	158.77	144.20	15.53	72.27	3.80	59.11	6.24	17.35	49.53	54.18	30.88	4.48	5.13
			3	170.63	146.64	15.58	79.74	4.57	67.38	5.17	13.77	51.97	55.85	31.79	2.86	4.17
		3x8	1	168.83	164.26	15.40	78.82	4.63	64.74	5.72	14.92	54.21	70.98	30.05	3.58	5.44
			2	165.75	168.86	15.56	80.92	2.29	65.08	4.60	12.86	52.28	72.47	34.93	3.69	5.49
			3	168.02	161.25	15.54	79.47	3.97	63.86	7.83	12.89	50.74	75.22	26.62	3.75	4.92

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	20	2x8	1	169.69	100.53	15.22	80.15	3.75	62.29	3.56	19.94	50.27	16.35	25.60	2.72	5.59
			2	177.05	101.85	15.43	82.54	2.29	65.03	8.47	18.72	52.55	18.12	22.56	2.86	5.76
			3	169.82	103.30	15.18	79.44	3.16	63.22	8.53	15.47	55.55	16.08	23.01	2.12	6.54
		2.5x8	1	163.46	145.80	15.50	75.80	3.83	60.13	4.13	19.57	50.98	57.27	28.87	3.14	5.54
			2	158.77	144.20	15.53	72.27	3.80	59.11	6.24	17.35	49.53	54.18	30.88	4.48	5.13
			3	170.63	146.64	15.58	79.74	4.57	67.38	5.17	13.77	51.97	55.85	31.79	2.86	4.17
		3x8	1	168.83	164.26	15.40	78.82	4.63	64.74	5.72	14.92	54.21	70.98	30.05	3.58	5.44
			2	165.75	168.86	15.56	80.92	2.29	65.08	4.60	12.86	52.28	72.47	34.93	3.69	5.49
			3	168.02	161.25	15.54	79.47	3.97	63.86	7.83	12.89	50.74	75.22	26.62	3.75	4.92

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	25	2x8	1	144.82	147.95	15.56	52.14	24.31	61.84	2.78	3.75	34.43	98.09	14.03	1.18	0.22
			2	150.16	141.09	15.46	54.14	22.26	65.88	3.73	4.15	30.78	92.22	17.55	0.00	0.54
			3	143.20	150.05	15.57	51.14	18.11	66.67	3.76	3.52	36.98	97.08	15.30	0.00	0.69
		2.5x8	1	112.91	203.81	15.41	47.08	16.95	43.24	2.43	3.21	44.66	139.40	19.75	0.00	0.00
			2	114.39	197.84	15.61	48.41	19.67	40.81	2.71	2.79	48.58	135.09	14.17	0.00	0.00
			3	112.31	200.53	15.50	45.37	18.25	41.87	3.84	2.98	46.48	136.07	16.65	1.33	0.00
		3x8	1	113.65	258.39	15.55	38.89	15.69	54.84	3.77	0.46	38.56	202.09	16.94	0.80	0.00
			2	102.95	256.62	15.85	34.53	18.21	44.25	3.49	2.47	43.31	198.06	15.25	0.00	0.00
			3	104.07	252.02	15.53	38.44	16.14	42.63	4.10	2.76	30.23	203.73	17.33	0.73	0.00

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	15	2x8	1	172.89	103.85	15.52	94.24	5.34	48.10	7.06	18.15	44.87	11.36	36.88	2.53	8.21
			2	177.03	98.48	15.32	98.58	4.91	51.91	7.05	14.58	43.02	10.73	32.89	4.61	7.23
			3	167.71	96.93	15.48	89.16	4.52	52.23	6.29	15.51	42.39	12.74	29.07	4.52	8.21
		2.5x8	1	169.14	159.97	15.57	80.16	6.51	60.60	6.66	15.21	54.60	53.76	41.23	1.68	8.70
			2	182.95	148.25	15.53	86.65	2.31	69.26	7.93	16.80	51.96	48.12	37.18	2.68	8.31
			3	177.40	157.60	15.52	84.01	3.77	66.30	7.77	15.55	50.49	58.44	38.36	2.24	8.07
		3x8	1	162.85	198.93	15.54	82.19	4.09	58.93	7.59	10.05	60.21	82.35	48.39	3.22	4.76
			2	152.97	189.39	15.47	78.19	1.42	55.42	7.70	10.24	58.85	80.58	41.81	2.61	5.54
			3	163.42	187.03	15.50	80.77	5.95	61.23	4.59	10.88	62.78	79.45	35.32	4.08	5.40

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	20	2x8	1	161.34	136.72	15.16	59.30	8.50	82.35	5.07	6.12	43.71	46.06	40.32	2.32	4.31
			2	159.84	143.42	15.31	58.18	7.07	84.86	3.92	5.81	44.46	51.52	40.77	2.09	4.58
			3	157.01	136.49	15.41	60.88	8.57	80.10	4.11	3.35	42.87	52.38	36.01	1.55	3.68
		2.5x8	1	134.55	171.85	15.03	61.15	4.03	60.95	2.44	5.98	49.13	69.56	49.07	1.57	2.52
			2	135.56	167.60	15.09	62.14	4.96	59.46	3.18	5.82	46.56	70.20	46.11	2.20	2.53
			3	140.91	168.51	14.68	63.75	9.83	58.01	3.11	6.21	48.12	73.63	44.49	1.20	1.07
		3x8	1	114.14	234.21	15.55	39.53	6.66	58.26	3.53	6.16	50.58	129.04	48.64	2.53	3.42
			2	118.30	244.72	15.50	42.15	5.24	64.50	2.33	4.08	49.55	139.09	52.16	1.05	2.87
			3	113.63	237.14	15.57	38.68	2.50	61.91	3.35	7.19	47.84	134.67	51.70	2.69	0.24

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	25	2x8	1	173.78	124.14	14.56	59.87	28.77	79.10	3.58	2.46	38.96	53.91	29.18	0.00	2.09
			2	179.92	128.72	14.18	55.97	24.27	89.89	4.06	5.73	45.71	54.43	25.05	2.47	1.06
			3	172.81	126.97	15.11	62.80	26.47	74.07	4.74	4.73	34.37	69.12	22.87	0.00	0.61
		2.5x8	1	111.60	216.53	15.62	35.63	17.86	50.71	3.89	3.51	37.74	153.91	23.03	1.14	0.71
			2	124.99	221.74	15.72	36.69	22.82	59.54	3.48	2.46	39.13	155.91	25.05	0.49	1.16
			3	125.65	214.71	15.44	30.08	25.72	63.53	3.24	3.08	33.03	158.76	21.85	1.07	0.00
		3x8	1	98.34	251.27	15.25	45.09	11.08	38.90	1.33	1.94	32.00	192.56	26.71	0.00	0.00
			2	99.44	255.03	15.03	41.52	9.95	43.07	3.59	1.31	35.56	191.98	27.49	0.00	0.00
			3	96.20	252.95	15.28	39.01	12.76	40.08	2.66	1.69	38.09	190.19	24.67	0.00	0.00

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	15	2x8	1	172.73	114.60	15.68	99.43	0.00	57.78	5.51	10.01	51.23	29.88	15.03	6.35	12.11
			2	170.41	118.04	15.37	97.53	2.40	54.29	3.21	12.98	53.43	28.19	13.97	7.78	14.67
			3	175.15	113.58	15.44	100.08	6.64	51.54	5.40	11.49	56.70	25.76	12.61	5.43	13.08
		2.5x8	1	176.53	150.76	15.34	92.53	4.94	59.84	4.27	14.95	66.15	48.67	20.03	2.43	13.48
			2	179.26	163.43	15.50	98.43	1.35	61.04	4.13	14.31	76.38	43.30	23.74	7.14	12.87
			3	173.17	161.92	15.56	101.30	0.00	50.55	6.26	15.06	63.39	62.90	21.26	2.37	12.00
		3x8	1	183.82	192.22	15.62	112.61	4.91	47.50	4.31	14.49	74.62	76.34	25.11	5.25	10.90
			2	165.75	187.56	15.38	97.09	3.74	43.26	6.36	15.30	68.28	82.33	26.38	1.41	9.16
			3	189.28	186.90	15.41	105.22	4.35	51.74	8.84	19.13	68.15	80.69	27.66	3.23	7.17

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	20	2x8	1	180.57	145.00	15.28	69.71	6.84	88.20	6.07	9.75	45.44	55.52	36.43	2.78	4.83
			2	181.89	122.05	15.22	74.08	7.10	86.50	3.63	10.58	49.13	43.47	23.68	2.13	3.64
			3	171.76	147.90	15.35	70.36	5.71	82.50	4.38	8.81	48.53	67.45	24.07	3.24	4.61
		2.5x8	1	160.96	182.40	15.40	66.89	6.36	78.52	1.96	7.23	55.01	85.58	36.74	1.72	3.35
			2	158.83	193.12	15.25	64.96	5.95	70.19	8.87	8.86	61.85	88.36	35.83	3.14	3.94
			3	153.76	190.37	15.35	62.34	5.29	73.10	4.40	8.63	69.36	82.89	34.83	0.66	2.63
		3x8	1	134.51	236.64	15.44	60.53	1.23	62.82	3.78	6.15	79.89	121.24	31.81	1.07	2.63
			2	148.72	213.56	15.38	68.45	2.58	69.95	2.30	5.44	68.40	106.21	30.87	5.33	2.75
			3	146.13	230.47	15.47	65.81	3.62	65.40	4.85	6.45	77.48	117.29	34.06	0.00	1.64

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ(rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (ตะแกรง) (g)	น้ำหนัก (ช่องออก) (g)	เวลาสุ่ม (s)	ผ่านตะแกรง					ผ่านช่องออก				
							นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)	นน. เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	25	2x8	1	178.90	150.35	15.69	70.24	14.60	86.13	3.21	4.72	54.29	74.80	17.68	0.88	2.70
			2	144.86	155.42	15.53	65.08	10.55	59.04	4.94	5.25	46.65	82.59	22.56	0.87	2.75
			3	161.90	167.74	15.40	63.31	11.38	79.20	3.67	4.34	46.85	89.55	28.88	0.23	2.23
		2.5x8	1	113.62	211.53	15.34	49.38	18.47	40.29	2.93	2.55	44.43	145.71	19.37	0.24	1.78
			2	114.75	214.92	15.44	48.75	19.03	42.38	2.20	2.39	49.16	148.83	16.93	0.00	0.00
			3	104.04	218.07	15.53	45.64	13.70	40.05	3.00	1.65	48.73	151.03	16.11	0.73	1.47
		3x8	1	105.36	268.41	15.56	42.52	22.26	36.81	2.60	1.17	42.66	195.97	29.78	0.00	0.00
			2	108.57	264.99	15.47	46.01	18.23	38.06	5.12	1.15	47.76	187.80	29.43	0.00	0.00
			3	121.55	256.83	15.43	45.26	27.71	43.28	3.89	1.41	44.14	189.30	22.34	1.05	0.00

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	15	2x8	1	270.22	15.22	130.42	20.10	87.89	6.28	25.53
			2	278.90	15.43	135.09	20.41	87.59	11.33	24.48
			3	273.12	15.18	134.99	19.24	86.23	10.65	22.01
		2.5x8	1	309.26	15.50	126.78	61.10	89.00	7.27	25.11
			2	302.97	15.53	121.80	57.98	89.99	10.72	22.48
			3	317.27	15.38	131.71	60.42	99.17	8.03	17.94
		3x8	1	333.09	15.40	133.03	75.61	94.79	9.30	20.36
			2	334.61	15.56	133.20	74.76	100.01	8.29	18.35
			3	329.27	15.44	130.21	79.19	90.48	11.58	17.81

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	20	2x8	1	276.20	15.38	111.17	53.15	97.65	6.26	7.97
			2	294.03	15.32	122.37	55.91	99.92	7.33	8.50
			3	289.06	15.31	128.38	51.90	94.75	5.74	8.29
		2.5x8	1	290.30	15.46	99.31	84.68	93.08	6.70	6.53
			2	314.21	15.50	97.40	91.20	111.08	7.09	7.44
			3	285.01	15.50	85.84	88.79	97.71	6.60	6.07
		3x8	1	307.06	15.44	112.87	101.06	80.11	6.61	6.41
			2	322.14	15.50	105.66	104.76	99.82	7.38	4.52
			3	315.29	15.22	109.36	102.32	92.76	6.33	4.52

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
240	25	2x8	1	292.77	15.06	86.57	122.40	75.87	3.96	3.97
			2	291.25	15.06	84.92	114.48	83.43	3.73	4.69
			3	293.25	14.37	88.12	115.19	81.97	3.76	4.21
		2.5x8	1	316.72	15.41	91.74	156.35	62.99	2.43	3.21
			2	312.23	15.61	96.99	154.76	54.98	2.71	2.79
			3	312.84	15.50	91.85	154.32	58.52	5.17	2.98
		3x8	1	372.04	15.25	77.45	217.78	71.78	4.57	0.46
			2	359.57	15.85	77.84	216.27	59.50	3.49	2.47
			3	356.09	15.53	68.67	219.87	59.96	4.83	2.76

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	15	2x8	1	276.74	15.22	139.11	16.70	84.98	9.59	26.36
			2	275.51	15.22	141.60	15.64	84.80	11.66	21.81
			3	264.64	14.28	131.55	17.26	81.30	10.81	23.72
		2.5x8	1	329.11	15.37	134.76	60.27	101.83	8.34	23.91
			2	331.20	15.41	138.61	50.43	106.44	10.61	25.11
			3	335.00	15.32	134.50	62.21	104.66	10.01	23.62
		3x8	1	361.78	15.44	142.40	86.44	107.32	10.81	14.81
			2	342.36	15.47	137.04	82.00	97.23	10.31	15.78
			3	350.45	15.50	143.55	85.40	96.55	8.67	16.28

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	20	2x8	1	298.06	15.16	103.01	54.56	122.67	7.39	10.43
			2	303.26	15.31	102.64	58.59	125.63	6.01	10.39
			3	293.50	15.41	103.75	60.95	116.11	5.66	7.03
		2.5x8	1	306.40	15.03	110.28	73.59	110.02	4.01	8.50
			2	303.16	15.09	108.70	75.16	105.57	5.38	8.35
			3	309.42	15.40	111.87	83.46	102.50	4.31	7.28
		3x8	1	348.35	15.25	90.11	135.70	106.90	6.06	9.58
			2	363.02	15.40	91.70	144.33	116.66	3.38	6.95
			3	350.77	15.47	86.52	137.17	113.61	6.04	7.43

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
270	25	2x8	1	297.92	15.56	98.83	82.68	108.28	3.58	4.55
			2	308.64	14.78	101.68	78.70	114.94	6.53	6.79
			3	299.78	15.91	97.17	95.59	96.94	4.74	5.34
		2.5x8	1	328.13	14.62	73.37	171.77	73.74	5.03	4.22
			2	346.73	15.72	75.82	178.73	84.59	3.97	3.62
			3	340.36	15.44	63.11	184.48	85.38	4.31	3.08
		3x8	1	349.61	15.25	77.09	203.64	65.61	1.33	1.94
			2	354.47	15.03	77.08	201.93	70.56	3.59	1.31
			3	349.15	15.28	77.10	202.95	64.75	2.66	1.69

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	15	2x8	1	287.33	15.68	150.66	29.88	72.81	11.86	22.12
			2	288.45	15.37	150.96	30.59	68.26	10.99	27.65
			3	288.73	15.44	156.78	32.40	64.15	10.83	24.57
		2.5x8	1	327.29	15.34	158.68	53.61	79.87	6.70	28.43
			2	342.69	15.50	174.81	44.65	84.78	11.27	27.18
			3	335.09	15.56	164.69	62.90	71.81	8.63	27.06
		3x8	1	376.04	15.62	187.23	81.25	72.61	9.56	25.39
			2	353.31	15.38	165.37	86.07	69.64	7.77	24.46
			3	376.18	15.41	173.37	85.04	79.40	12.07	26.30

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	20	2x8	1	325.57	15.28	115.15	62.36	124.63	8.85	14.58
			2	303.94	15.22	123.21	50.57	110.18	5.76	14.22
			3	319.66	15.35	118.89	73.16	106.57	7.62	13.42
		2.5x8	1	343.36	15.40	121.90	91.94	115.26	3.68	10.58
			2	351.95	15.25	126.81	94.31	106.02	12.01	12.80
			3	344.13	15.35	131.70	88.18	107.93	5.06	11.26
		3x8	1	371.15	15.44	140.42	122.47	94.63	4.85	8.78
			2	362.28	15.38	136.85	108.79	100.82	7.63	8.19
			3	376.60	15.47	143.29	120.91	99.46	4.85	8.09

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่มรวม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.ฝักไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาล (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลแตก (g)	นน.เมล็ดใน (g)
300	25	2x8	1	329.25	15.69	124.53	89.40	103.81	4.09	7.42
			2	300.28	15.53	111.73	93.14	81.60	5.81	8.00
			3	329.64	15.40	110.16	100.93	108.08	3.90	6.57
		2.5x8	1	325.15	15.34	93.81	164.18	59.66	3.17	4.33
			2	329.67	15.44	97.91	167.86	59.31	2.20	2.39
			3	322.11	15.53	94.37	164.73	56.16	3.73	3.12
		3x8	1	373.77	15.56	85.18	218.23	66.59	2.60	1.17
			2	373.56	15.47	93.77	206.03	67.49	5.12	1.15
			3	378.38	15.43	89.40	217.01	65.62	4.94	1.41

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
240	15	2x8	1	63.92	92.55	14.38	62.87	4.49	18.26
			2	65.07	92.58	14.19	60.91	7.88	17.02
			3	64.77	92.67	13.93	62.43	7.71	15.93
		2.5x8	1	71.83	80.48	33.48	48.77	3.98	13.76
			2	70.23	81.27	32.00	49.67	5.92	12.41
			3	74.26	80.45	32.56	53.44	4.33	9.67
		3x8	1	77.87	76.84	37.79	47.38	4.65	10.18
			2	77.42	77.11	37.12	49.65	4.12	9.11
			3	76.77	75.12	39.78	45.45	5.82	8.95

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
240	20	2x8	1	64.65	79.88	32.21	59.17	3.79	4.83
			2	69.09	79.63	32.57	58.21	4.27	4.95
			3	67.97	79.87	32.30	58.97	3.57	5.16
		2.5x8	1	67.60	70.15	44.34	48.74	3.51	3.42
			2	72.98	72.02	42.06	51.23	3.27	3.43
			3	66.20	69.84	44.58	49.06	3.31	3.05
		3x8	1	71.59	63.43	52.04	41.25	3.40	3.30
			2	74.82	66.27	48.39	46.11	3.41	2.09
			3	74.58	65.16	49.69	45.04	3.07	2.19

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
240	25	2x8	1	69.98	55.91	59.36	36.79	1.92	1.93
			2	69.62	59.84	55.48	40.44	1.81	2.27
			3	73.47	59.11	56.15	39.96	1.83	2.05
		2.5x8	1	73.99	44.83	69.50	28.00	1.08	1.43
			2	72.01	41.97	71.90	25.54	1.26	1.30
			3	72.66	44.40	69.83	26.48	2.34	1.35
		3x8	1	87.83	38.75	73.93	24.37	1.55	0.16
			2	81.67	35.75	76.76	21.12	1.24	0.88
			3	82.55	36.15	76.50	20.86	1.68	0.96

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝักไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลเต็ม	%เมล็ดน้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดในแตกหัก
270	15	2x8	1	65.46	93.81	12.13	61.75	6.97	19.15
			2	65.17	93.92	11.68	63.33	8.71	16.29
			3	66.72	93.29	12.97	61.09	8.12	17.82
		2.5x8	1	77.08	81.91	31.01	52.40	4.29	12.30
			2	77.37	85.15	26.19	55.27	5.51	13.04
			3	78.72	81.83	31.03	52.20	4.99	11.78
		3x8	1	84.35	74.92	39.40	48.92	4.93	6.75
			2	79.67	74.72	39.94	47.36	5.02	7.69
			3	81.39	73.74	41.28	46.67	4.19	7.87

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
270	20	2x8	1	70.78	82.95	27.97	62.89	3.79	5.35
			2	71.31	82.07	29.20	62.62	3.00	5.18
			3	68.57	79.74	32.12	61.19	2.98	3.70
		2.5x8	1	73.39	75.82	37.52	56.10	2.04	4.33
			2	72.32	74.94	38.65	54.29	2.77	4.29
			3	72.33	71.94	42.25	51.89	2.18	3.69
		3x8	1	82.23	63.12	52.55	41.40	2.35	3.71
			2	84.86	62.10	53.20	43.00	1.25	2.56
			3	81.63	63.37	51.91	42.99	2.29	2.81

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
270	25	2x8	1	68.93	72.16	41.53	54.39	1.80	2.29
			2	75.18	75.19	38.03	55.54	3.16	3.28
			3	67.83	67.51	47.18	47.85	2.34	2.64
		2.5x8	1	80.80	47.29	67.42	28.94	1.97	1.66
			2	79.40	48.70	65.97	31.22	1.47	1.34
			3	79.36	47.95	66.54	30.80	1.55	1.11
		3x8	1	82.53	38.17	74.72	24.08	0.49	0.71
			2	84.90	40.35	72.80	25.44	1.29	0.47
			3	82.26	38.26	74.60	23.80	0.98	0.62

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
300	15	2x8	1	65.97	88.12	21.86	53.27	8.68	16.18
			2	67.56	88.25	22.25	49.65	7.99	20.11
			3	67.32	86.76	24.55	48.62	8.21	18.62
		2.5x8	1	76.81	82.06	31.80	47.37	3.97	16.86
			2	79.59	85.26	26.60	50.50	6.71	16.19
			3	77.53	78.52	36.91	42.14	5.06	15.88
		3x8	1	86.67	73.70	43.03	38.46	5.06	13.45
			2	82.70	71.53	45.80	37.05	4.13	13.01
			3	87.88	74.40	41.93	39.15	5.95	12.97

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
300	20	2x8	1	76.70	82.04	29.64	59.23	4.21	6.93
			2	71.89	83.31	27.98	60.96	3.19	7.87
			3	74.97	77.13	36.44	53.08	3.80	6.68
		2.5x8	1	80.27	72.80	41.52	52.05	1.66	4.78
			2	83.08	72.73	41.89	47.09	5.33	5.69
			3	80.71	72.94	41.51	50.81	2.38	5.30
		3x8	1	86.54	62.67	53.08	41.01	2.10	3.81
			2	84.80	66.89	48.26	44.72	3.38	3.63
			3	87.64	63.69	51.82	42.63	2.08	3.47

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการทำงานชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	% กะเทาะ	%ฝัก ไม่กะเทาะ	%เมล็ด น้ำตาลเต็ม	%เมล็ด น้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดใน แตกหัก
300	25	2x8	1	75.54	70.76	43.67	50.71	2.00	3.62
			2	69.61	66.10	49.40	43.28	3.08	4.24
			3	77.06	68.64	45.99	49.24	1.78	2.99
		2.5x8	1	76.31	43.42	70.97	25.79	1.37	1.87
			2	76.87	41.17	72.43	25.59	0.95	1.03
			3	74.67	41.51	72.33	24.66	1.64	1.37
		3x8	1	86.48	36.84	75.62	23.07	0.90	0.41
			2	86.93	39.29	73.64	24.12	1.83	0.41
			3	88.28	37.55	75.10	22.71	1.71	0.49

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%กะเทาะ	%ฝักไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลเต็ม	%เมล็ดน้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดในแตกหัก
240	15	2x8	64.59	92.60	14.17	62.07	6.69	17.07
		2.5x8	72.11	80.73	32.68	50.63	4.74	11.95
		3x8	77.35	76.36	38.23	47.50	4.86	9.41
	20	2x8	67.24	79.79	32.36	58.78	3.88	4.98
		2.5x8	68.92	70.67	43.66	49.68	3.36	3.30
		3x8	73.66	64.95	50.04	44.14	3.30	2.53
	25	2x8	71.02	58.29	57.00	39.06	1.85	2.08
		2.5x8	72.89	43.73	70.41	26.67	1.56	1.36
		3x8	84.01	36.89	75.73	22.12	1.49	0.66
270	15	2x8	65.78	93.68	12.26	62.05	7.93	17.75
		2.5x8	77.73	82.96	29.41	53.29	4.93	12.37
		3x8	81.81	74.46	40.21	47.65	4.71	7.43
	20	2x8	70.22	81.59	29.77	62.23	3.26	4.74
		2.5x8	72.68	74.23	39.47	54.09	2.33	4.10

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่าง (mm)	ช่องออก (cm)	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%กะเทาะ	%ฝักไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลเต็ม	%เมล็ดน้ำตาลแตกหัก	%เมล็ดในแตกหัก
270	20	3x8	82.91	62.87	52.55	42.46	1.96	3.03
	25	2x8	70.65	71.62	42.24	52.59	2.43	2.73
		2.5x8	79.85	47.98	66.65	30.32	1.66	1.37
		3x8	83.23	38.93	74.04	24.44	0.92	0.60
300	15	2x8	66.95	87.71	22.89	50.51	8.29	18.31
		2.5x8	77.98	81.95	31.77	46.67	5.25	16.31
		3x8	85.75	73.21	43.59	38.22	5.05	13.14
	20	2x8	74.52	80.82	31.35	57.76	3.73	7.16
		2.5x8	81.35	72.83	41.64	49.98	3.13	5.25
		3x8	86.32	64.42	51.05	42.79	2.52	3.64
	25	2x8	74.07	68.50	46.35	47.74	2.29	3.62
		2.5x8	75.95	42.03	71.91	25.35	1.32	1.42
		3x8	87.23	37.89	74.78	23.30	1.48	0.43

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
480	2.6	A	3.36	340.65	41.73	0.00	0.00	385.74	1.02
		B	7.69	131.67	733.71	6.37	7.50	886.94	
		C	16.98	0.00	4.26	3.11	63.43	87.78	
		D	741.23	0.00	0.00	0.00	2.22	743.45	
		รวม	769.26	472.32	779.7	9.48	73.15	2103.91	
	2.8	A	0.00	368.5	37.1	0.00	0.00	405.6	0.57
		B	0.00	102.31	743.11	6.11	18.59	870.12	
		C	7.67	0.00	0.00	3.12	51.16	61.95	
		D	763.29	0.00	0.00	0.00	6.83	770.12	
		รวม	770.96	470.81	780.21	9.23	76.58	2107.79	
	3.0	A	0.00	384.58	54.6	0.00	0.00	439.18	0.53
		B	0.19	86.76	725.67	6.27	16.43	835.32	
		C	4.24	0.00	1.65	2.81	38.86	47.56	
		D	768.65	0.00	0.00	0.00	16.84	785.49	
		รวม	773.08	471.34	781.92	9.08	72.13	2107.55	
500	2.6	A	2.02	415.84	77.48	0.00	0.00	495.34	1.00
		B	0.00	54.98	711.37	6.35	12.58	785.28	
		C	10.06	0.00	0.00	3.14	52.98	66.18	
		D	753.85	0.00	0.00	0.00	4.15	758.00	
		รวม	765.93	470.82	788.85	9.49	69.71	2104.8	
	2.8	A	0.75	344.47	36.84	0.00	2.89	384.95	0.59
		B	2.11	126.76	728.49	3.76	11.31	872.43	
		C	5.46	0.00	3.17	5.20	54.91	68.74	

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
500	2.8	D	768.46	0.00	0.00	0.00	7.11	775.57	0.59
		รวม	776.78	471.23	768.5	8.96	76.22	2101.69	
	3.0	A	0.75	412.92	60.04	0.00	0.00	473.71	0.55
		B	1.00	59.26	720.6	6.01	10.09	796.96	
		C	3.23	0.00	2.05	3.46	47.64	56.38	
		D	765.11	0.00	0.00	0.00	14.66	779.77	
		รวม	770.09	472.18	782.69	9.47	72.39	2106.82	
520	2.6	A	2.63	419.6	76.21	0.00	0.00	498.44	0.59
		B	5.44	53.37	716.12	9.93	3.11	787.97	
		C	15.63	0.00	0.00	0.00	69.76	85.39	
		D	728.94	0.00	0.00	0.00	3.09	732.03	
		รวม	752.64	472.97	792.33	9.93	75.96	2103.83	
	2.8	A	0.00	410.84	126.75	0.00	0.00	537.59	0.51
		B	1.68	51.54	655.6	6.66	3.04	718.52	
		C	6.76	0.00	0.00	2.90	66.03	75.69	
		D	767.94	0.00	0.00	0.00	9.37	777.31	
		รวม	776.38	462.38	782.35	9.56	78.44	2109.11	
	3.0	A	1.66	420.98	131.08	0.00	2.76	556.48	0.49
		B	0.00	52.5	649.78	7.07	14.57	723.92	
		C	5.11	0.00	0.00	2.47	32.67	40.25	
		D	768.78	0.00	0.00	0.00	23.31	792.09	
		รวม	775.55	473.48	780.86	9.54	73.31	2112.74	

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
480	2.6	A	4.43	322.5	11.26	0.00	0.00	338.19	0.59
		B	15.56	149.82	764.77	4.71	6.65	941.51	
		C	23.87	0.00	3.67	4.77	63.76	96.07	
		D	721.40	0.00	0.00	0.00	3.74	725.14	
		รวม	765.26	472.32	779.7	9.48	74.15	2100.91	
	2.8	A	1.26	342.34	22.23	0.00	0.00	365.83	0.59
		B	2.18	118.47	755.86	3.72	16.43	896.66	
		C	5.43	0.00	2.12	5.51	53.76	66.82	
		D	765.53	0.00	0.00	0.00	8.39	773.92	
		รวม	774.40	460.81	780.21	9.23	78.58	2103.23	
	3.0	A	1.24	388.90	24.56	0.00	0.00	414.70	0.57
		B	1.56	72.44	755.37	7.30	16.22	852.89	
		C	2.36	0.00	1.99	1.78	48.67	54.80	
		D	763.92	0.00	0.00	0.00	17.24	781.16	
		รวม	769.08	461.34	781.92	9.08	82.13	2103.55	
500	2.6	A	3.45	412.67	67.54	0.00	0.00	483.66	0.58
		B	14.36	78.15	712.11	7.66	14.22	826.5	
		C	40.45	0.00	2.20	1.83	54.76	99.24	
		D	692.65	0.00	0.00	0.00	3.73	696.38	
		รวม	750.91	490.82	781.85	9.49	72.71	2105.78	
	2.8	A	2.08	378.45	54.95	0.00	0.00	435.48	0.54
		B	5.34	92.78	731.32	4.85	9.79	844.08	
		C	16.56	0.00	4.23	4.11	60.89	85.79	

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
500	2.8	D	730.94	0.00	0.00	0.00	9.65	740.59	0.54
		รวม	754.92	471.23	790.5	8.96	80.33	2105.94	
	3.0	A	0.00	345.12	17.44	0.00	0.00	362.56	0.53
		B	1.11	127.06	740.89	5.76	6.65	881.47	
		C	2.69	0.00	2.36	3.71	62.89	71.65	
		D	766.29	0.00	0.00	0.00	22.85	789.14	
		รวม	770.09	472.18	760.69	9.47	92.39	2104.82	
520	2.6	A	7.04	385.34	18.29	0.00	0.00	410.67	0.58
		B	9.55	87.63	761.55	5.26	2.97	866.96	
		C	34.77	0.00	2.49	4.67	68.37	110.30	
		D	718.72	0.00	0.00	0.00	2.62	721.34	
		รวม	770.08	472.97	782.33	9.93	73.96	2109.27	
	2.8	A	2.86	378.82	69.70	1.12	0.00	452.50	0.52
		B	5.98	78.56	700.67	3.78	16.98	805.97	
		C	12.87	0.00	1.98	4.66	52.48	71.99	
		D	766.67	0.00	0.00	0.00	8.98	775.65	
		รวม	788.38	457.38	772.35	9.56	78.44	2106.11	
	3.0	A	1.89	412.15	78.56	0.00	0.00	492.60	0.50
		B	1.89	51.33	689.18	6.98	9.65	759.03	
		C	5.70	0.00	3.12	2.56	58.44	69.82	
		D	762.07	0.00	0.00	0.00	25.22	787.29	
		รวม	771.55	463.48	770.86	9.54	93.31	2108.74	

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
480	2.6	A	7.43	322.5	11.26	0.00	0.00	341.19	0.58
		B	14.56	149.82	764.77	4.71	6.65	940.51	
		C	23.87	0.00	3.67	4.77	63.76	96.07	
		D	721.40	0.00	0.00	0.00	2.74	724.14	
		รวม	767.26	472.32	779.7	9.48	73.15	2101.91	
	2.8	A	1.26	342.34	22.23	0.00	0.00	365.83	0.55
		B	2.35	118.47	755.86	3.72	16.43	896.83	
		C	5.43	0.00	2.12	5.51	53.76	66.82	
		D	765.53	0.00	0.00	0.00	7.39	772.92	
		รวม	774.57	460.81	780.21	9.23	77.58	2102.40	
	3.0	A	2.24	398.9	24.56	0.00	0.00	425.70	0.54
		B	1.56	72.44	755.37	7.30	16.22	852.89	
		C	2.36	0.00	1.99	1.78	48.67	54.80	
		D	763.92	0.00	0.00	0.00	17.24	781.16	
		รวม	770.08	471.34	781.92	9.08	82.13	2114.55	
500	2.6	A	3.45	412.67	87.54	0.00	0.00	503.66	0.58
		B	14.36	58.15	722.11	7.66	14.22	816.50	
		C	30.45	0.00	2.20	1.83	54.76	89.24	
		D	692.65	0.00	0.00	0.00	3.73	696.38	
		รวม	740.91	470.82	811.85	9.49	72.71	2105.78	
	2.8	A	2.08	378.45	24.95	0.00	0.00	405.48	0.54
		B	6.34	92.78	761.32	4.85	9.79	875.08	
		C	17.56	0.00	4.23	4.11	60.89	86.79	

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	น้ำหนักเปลือก (g)	น้ำหนักไม่กะเทาะ (g)	น้ำหนักน้ำตาลเต็ม (g)	น้ำหนักน้ำตาลแตก (g)	น้ำหนักเมล็ดใน (g)	น้ำหนักรวม (g)	เวลา (min)
500	2.8	D	730.94	0.00	0.00	0.00	10.65	741.59	0.54
		รวม	756.92	471.23	790.5	8.96	81.33	2108.94	
	3.0	A	0.00	325.12	17.44	0.00	0.00	342.56	0.49
		B	1.11	127.06	762.89	5.76	6.65	903.47	
		C	2.69	0.00	2.36	3.71	62.89	71.65	
		D	766.29	0.00	0.00	0.00	22.85	789.14	
		รวม	770.09	452.18	782.69	9.47	92.39	2106.82	
520	2.6	A	7.04	385.34	18.29	0.00	0.00	410.67	0.58
		B	9.55	87.63	761.55	5.26	2.97	866.96	
		C	34.77	0.00	2.49	4.67	68.37	110.30	
		D	718.72	0.00	0.00	0.00	2.62	721.34	
		รวม	770.08	472.97	782.33	9.93	73.96	2109.27	
	2.8	A	2.86	393.82	69.70	1.12	0.00	467.50	0.55
		B	4.98	78.56	710.67	3.78	16.98	814.97	
		C	12.87	0.00	1.98	4.66	52.48	71.99	
		D	756.67	0.00	0.00	0.00	8.98	765.65	
		รวม	777.38	472.38	782.35	9.56	78.44	2120.11	
	3.0	A	1.89	412.15	78.56	0.00	0.00	492.60	0.48
		B	1.89	51.33	689.18	6.98	9.65	759.03	
		C	5.70	0.00	3.12	2.56	58.44	69.82	
		D	762.07	0.00	0.00	0.00	23.22	785.29	
		รวม	771.55	463.48	770.86	9.54	91.31	2106.74	

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
480	2.6	A	0.44	72.12	5.35	0.00	0.00	96.36	3.64	3.03	123.76
		B	1.00	27.88	94.10	67.19	10.25				
		C	2.21	0.00	0.55	32.81	86.71				
		D	96.36	0.00	0.00	0.00	3.03				
	2.8	A	0.00	78.27	4.76	0.00	0.00	99.01	0.99	8.92	221.87
		B	0.00	21.73	95.24	66.20	24.28				
		C	0.99	0.00	0.00	33.80	66.81				
		D	99.01	0.00	0.00	0.00	8.92				
	3.0	A	0.00	81.59	6.98	0.00	0.00	99.43	0.57	23.35	238.59
		B	0.02	18.41	92.81	69.05	22.78				
		C	0.55	0.00	0.21	30.95	53.87				
		D	99.43	0.00	0.00	0.00	23.35				

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
500	2.6	A	0.26	88.32	9.82	0.00	0.00	98.42	1.58	5.95	126.29
		B	0.00	11.68	90.18	66.91	18.05				
		C	1.31	0.00	0.00	33.09	76.00				
		D	98.42	0.00	0.00	0.00	5.95				
	2.8	A	0.10	73.10	4.79	0.00	3.79	98.93	1.07	9.33	213.73
		B	0.27	26.90	94.79	41.96	14.84				
		C	0.70	0.00	0.41	58.04	72.04				
		D	98.93	0.00	0.00	0.00	9.33				
	3.0	A	0.10	87.45	7.67	0.00	0.00	99.35	0.65	20.25	229.83
		B	0.13	12.55	92.07	63.46	13.94				
		C	0.42	0.00	0.26	36.54	65.81				
		D	99.35	0.00	0.00	0.00	20.25				

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
520	2.6	A	0.35	88.72	9.62	0.00	0.00	96.85	3.15	4.07	213.95
		B	0.72	11.28	90.38	100.00	4.09				
		C	2.08	0.00	0.00	0.00	91.84				
		D	96.85	0.00	0.00	0.00	4.07				
	2.8	A	0.00	88.85	16.20	0.00	0.00	98.91	1.09	11.95	248.13
		B	0.22	11.15	83.80	69.67	3.88				
		C	0.87	0.00	0.00	30.33	84.18				
		D	98.91	0.00	0.00	0.00	11.95				
	3.0	A	0.21	88.91	16.79	0.00	3.76	99.13	0.87	31.80	258.70
		B	0.00	11.09	83.21	74.11	19.87				
		C	0.66	0.00	0.00	25.89	44.56				
		D	99.13	0.00	0.00	0.00	31.80				

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
480	2.6	A	0.58	68.28	1.44	0.00	0.00	94.27	5.73	5.04	213.65
		B	2.03	31.72	98.09	49.68	8.97				
		C	3.12	0.00	0.47	50.32	85.99				
		D	94.27	0.00	0.00	0.00	5.04				
	2.8	A	0.16	74.29	2.85	0.00	0.00	98.85	1.15	10.68	213.89
		B	0.28	25.71	96.88	40.30	20.91				
		C	0.70	0.00	0.27	59.70	68.41				
		D	98.85	0.00	0.00	0.00	10.68				
	3.0	A	0.16	84.30	3.14	0.00	0.00	99.33	0.67	20.99	221.43
		B	0.20	15.70	96.60	80.40	19.75				
		C	0.31	0.00	0.25	19.60	59.26				
		D	99.33	0.00	0.00	0.00	20.99				

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
500	2.6	A	0.46	84.08	8.64	0.00	0.00	92.24	7.76	5.13	217.84
		B	1.91	15.92	91.08	80.72	19.56				
		C	5.39	0.00	0.28	19.28	75.31				
		D	92.24	0.00	0.00	0.00	5.13				
	2.8	A	0.28	80.31	6.95	0.00	0.00	96.82	3.18	12.01	233.99
		B	0.71	19.69	92.51	54.13	12.19				
		C	2.19	0.00	0.54	45.87	75.80				
		D	96.82	0.00	0.00	0.00	12.01				
	3.0	A	0.00	73.09	2.29	0.00	0.00	99.51	0.49	24.73	238.28
		B	0.14	26.91	97.40	60.82	7.20				
		C	0.35	0.00	0.31	39.18	68.07				
		D	99.51	0.00	0.00	0.00	24.73				

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
520	2.6	A	0.91	81.47	2.34	0.00	0.00	93.33	6.67	3.54	218.20
		B	1.24	18.53	97.34	52.97	4.02				
		C	4.52	0.00	0.32	47.03	92.44				
		D	93.33	0.00	0.00	0.00	3.54				
	2.8	A	0.36	82.82	9.02	11.72	0.00	97.25	2.75	11.45	243.01
		B	0.76	17.18	90.72	39.54	21.65				
		C	1.63	0.00	0.26	48.74	66.90				
		D	97.25	0.00	0.00	0.00	11.45				
	3.0	A	0.24	88.93	10.19	0.00	0.00	98.77	1.23	27.03	253.05
		B	0.24	11.07	89.40	73.17	10.34				
		C	0.74	0.00	0.40	26.83	62.63				
		D	98.77	0.00	0.00	0.00	27.03				

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
480	2.6	A	0.97	68.28	1.44	0.00	0.00	94.02	5.98	3.75	217.44
		B	1.90	31.72	98.09	49.68	9.09				
		C	3.11	0.00	0.47	50.32	87.16				
		D	94.02	0.00	0.00	0.00	3.75				
	2.8	A	0.16	74.29	2.85	0.00	0.00	98.83	1.17	9.53	229.35
		B	0.30	25.71	96.88	40.30	21.18				
		C	0.70	0.00	0.27	59.70	69.30				
		D	98.83	0.00	0.00	0.00	9.53				
	3.0	A	0.29	84.63	3.14	0.00	0.00	99.20	0.80	20.99	234.95
		B	0.20	15.37	96.60	80.40	19.75				
		C	0.31	0.00	0.25	19.60	59.26				
		D	99.20	0.00	0.00	0.00	20.99				

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
500	2.6	A	0.47	87.65	10.78	0.00	0.00	93.49	6.51	5.13	217.84
		B	1.94	12.35	88.95	80.72	19.56				
		C	4.11	0.00	0.27	19.28	75.31				
		D	93.49	0.00	0.00	0.00	5.13				
	2.8	A	0.27	80.31	3.16	0.00	0.00	96.57	3.43	13.09	234.33
		B	0.84	19.69	96.31	54.13	12.04				
		C	2.32	0.00	0.54	45.87	74.87				
		D	96.57	0.00	0.00	0.00	13.09				
	3.0	A	0.00	71.90	2.23	0.00	0.00	99.51	0.49	24.73	257.98
		B	0.14	28.10	97.47	60.82	7.20				
		C	0.35	0.00	0.30	39.18	68.07				
		D	99.51	0.00	0.00	0.00	24.73				

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
520	2.6	A	0.91	81.47	2.34	0.00	0.00	93.33	6.67	3.54	218.20
		B	1.24	18.53	97.34	52.97	4.02				
		C	4.52	0.00	0.32	47.03	92.44				
		D	93.33	0.00	0.00	0.00	3.54				
	2.8	A	0.37	83.37	8.91	11.72	0.00	97.34	2.66	11.45	231.28
		B	0.64	16.63	90.84	39.54	21.65				
		C	1.66	0.00	0.25	48.74	66.90				
		D	97.34	0.00	0.00	0.00	11.45				
	3.0	A	0.24	88.93	10.19	0.00	0.00	98.77	1.23	25.43	263.34
		B	0.24	11.07	89.40	73.17	10.57				
		C	0.74	0.00	0.40	26.83	64.00				
		D	98.77	0.00	0.00	0.00	25.43				

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
480	2.6	A	0.66	69.56	2.75	0.00	0.00	94.88	5.12	3.94	184.95
		B	1.64	30.44	96.76	55.52	9.44				
		C	2.81	0.00	0.50	44.48	86.62				
		D	94.88	0.00	0.00	0.00	3.94				
	2.8	A	0.11	75.62	3.48	0.00	0.00	98.90	1.10	9.71	221.70
		B	0.19	24.38	96.33	48.93	22.12				
		C	0.80	0.00	0.18	51.07	68.17				
		D	98.90	0.00	0.00	0.00	9.71				
	3.0	A	0.15	83.51	4.42	0.00	0.00	99.32	0.68	21.78	231.66
		B	0.14	16.49	95.34	76.62	20.76				
		C	0.39	0.00	0.24	23.38	57.46				
		D	99.32	0.00	0.00	0.00	21.78				

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
500	2.6	A	0.40	86.68	9.75	0.00	0.00	94.72	5.28	5.40	187.32
		B	1.28	13.32	90.07	76.12	19.05				
		C	3.60	0.00	0.18	23.88	75.54				
		D	94.72	0.00	0.00	0.00	5.40				
	2.8	A	0.22	77.91	4.97	0.00	1.26	97.44	2.56	11.48	227.35
		B	0.61	22.09	94.54	50.07	13.02				
		C	1.74	0.00	0.49	49.93	74.24				
		D	97.44	0.00	0.00	0.00	11.48				
	3.0	A	0.03	77.48	4.06	0.00	0.00	99.46	0.54	23.24	242.03
		B	0.14	22.52	95.64	61.70	9.44				
		C	0.37	0.00	0.29	38.30	67.32				
		D	99.46	0.00	0.00	0.00	23.24				

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดฝักถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	%เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% น้ำตาลเต็ม	% น้ำตาลแตก	% เมล็ดใน	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
520	2.6	A	0.73	83.89	4.76	0.00	0.00	94.50	5.50	3.72	216.78
		B	1.07	16.11	95.02	68.65	4.04				
		C	3.70	0.00	0.21	31.35	92.24				
		D	94.50	0.00	0.00	0.00	3.72				
	2.8	A	0.24	85.02	11.38	7.81	0.00	97.83	2.17	11.61	240.81
		B	0.54	14.98	88.45	49.58	15.72				
		C	1.39	0.00	0.17	42.61	72.66				
		D	97.83	0.00	0.00	0.00	11.61				
	3.0	A	0.23	88.92	12.39	0.00	1.25	98.89	1.11	28.08	258.36
		B	0.16	11.08	87.34	73.48	13.59				
		C	0.71	0.00	0.27	26.52	57.07				
		D	98.89	0.00	0.00	0.00	28.08				

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
650	45	เรียบ	1	212.85	3.57	48.79	41.48	49.68	59.81	9.79	3.30
			2	200.08	4.19	42.87	41.53	47.96	52.66	10.99	4.07
			3	206.47	3.88	45.83	41.51	48.82	56.24	10.39	3.69
		เส้น	1	187.05	3.47	65.01	22.88	22.49	42.73	25.16	8.78
			2	201.86	3.59	69.88	26.45	29.39	48.68	21.16	6.30
			3	194.46	3.53	67.45	24.67	25.94	45.71	23.16	7.54
		ตะแกรง	1	194.40	3.75	37.92	67.70	46.11	30.57	9.59	2.51
			2	187.09	3.72	43.46	45.34	52.67	35.49	8.25	1.88
			3	190.75	3.74	40.69	56.52	49.39	33.03	8.92	2.20
	90	เรียบ	1	194.39	3.68	41.32	39.26	47.02	46.61	14.36	5.82
			2	197.74	3.93	40.52	31.92	59.32	50.10	12.43	3.45
			3	196.07	3.81	40.92	35.59	53.17	48.36	13.40	4.64

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
650	90	เส้น	1	210.13	3.99	51.25	27.45	41.75	55.22	25.64	8.82
			2	183.38	3.50	48.03	25.69	31.29	45.76	18.49	14.12
			3	196.76	3.75	49.64	26.57	36.52	50.49	22.07	11.47
		ตะแกรง	1	209.39	4.07	36.36	66.60	59.25	35.02	8.64	3.52
			2	218.29	3.98	38.39	64.14	74.66	28.89	9.32	2.89
			3	213.84	4.03	37.38	65.37	66.96	31.96	8.98	3.21
	โค้ง	เรียบ	1	167.42	3.26	37.70	28.64	48.56	30.31	20.00	2.21
			2	155.34	3.41	41.95	23.62	39.11	29.78	17.62	3.26
			3	161.38	3.34	39.83	26.13	43.84	30.05	18.81	2.74
		เส้น	1	187.55	3.81	42.59	14.15	46.40	41.03	37.31	6.07
			2	210.85	3.92	48.27	26.81	39.11	57.78	30.62	8.26
			3	199.20	3.87	45.43	20.48	42.76	49.41	33.97	7.17

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
650	โค้ง	ตะแกรง	1	195.96	4.09	36.16	48.29	60.18	30.84	18.15	2.34
			2	184.93	3.66	30.87	53.31	57.79	27.64	13.58	1.74
			3	190.45	3.88	33.52	50.80	58.99	29.24	15.87	2.04
700	45	เรียบ	1	217.77	3.21	48.22	31.47	37.42	81.56	13.32	5.78
			2	203.98	3.72	53.87	27.83	27.55	78.24	10.19	6.30
			3	210.88	3.47	51.05	29.65	32.49	79.90	11.76	6.04
		เส้น	1	230.80	3.68	61.08	11.94	18.88	97.87	28.98	12.05
			2	222.62	3.56	56.14	10.84	28.03	81.88	35.38	10.35
			3	226.71	3.62	58.61	11.39	23.46	89.88	32.18	11.20
		ตะแกรง	1	247.92	4.03	42.37	67.86	53.29	65.88	13.95	4.57
			2	236.08	3.87	39.82	50.04	60.12	69.25	11.37	5.48
			3	242.00	3.95	41.10	58.95	56.71	67.57	12.66	5.03

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
700	90	เรียบ	1	222.77	3.93	42.65	23.23	46.49	82.98	18.76	8.66
			2	218.90	3.57	38.11	29.26	52.21	77.22	15.53	6.57
			3	220.84	3.75	40.38	26.25	49.35	80.10	17.15	7.62
		เส้น	1	240.23	3.64	56.90	13.89	28.87	86.22	38.05	16.30
			2	231.85	3.94	61.63	11.97	33.28	80.58	32.90	11.49
			3	236.04	3.79	59.27	12.93	31.08	83.40	35.48	13.90
		ตะแกรง	1	225.20	3.75	38.56	40.92	73.28	57.33	10.75	4.36
			2	235.71	3.85	32.28	47.99	69.70	62.25	17.22	6.27
			3	230.46	3.80	35.42	44.46	71.49	59.79	13.99	5.32
	โค้ง	เรียบ	1	220.84	3.56	40.21	28.97	56.84	61.92	29.48	3.42
			2	218.98	3.66	38.38	25.81	55.87	58.78	34.26	5.88
			3	219.91	3.61	39.30	27.39	56.36	60.35	31.87	4.65

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
700	โค้ง	เส้น	1	237.01	4.03	67.95	9.80	45.58	59.38	37.21	17.09
			2	240.00	3.90	52.83	8.78	57.49	65.27	45.78	9.85
			3	238.51	3.97	60.39	9.29	51.54	62.33	41.50	13.47
		ตะแกรง	1	226.72	3.65	35.72	42.05	65.39	59.33	19.21	5.02
			2	205.72	3.66	38.64	34.00	69.13	47.26	13.14	3.55
			3	216.22	3.66	37.18	38.03	67.26	53.30	16.18	4.29
750	45	เรียบ	1	245.25	3.78	83.67	17.44	25.26	62.78	36.17	19.93
			2	241.29	3.50	78.03	23.56	32.32	54.90	35.12	17.36
			3	243.27	3.64	80.85	20.50	28.79	58.84	35.65	18.65
		เส้น	1	235.84	3.58	90.42	7.65	17.87	58.36	40.35	21.19
			2	244.27	3.60	83.86	6.27	16.59	64.92	45.87	26.76
			3	240.06	3.59	87.14	6.96	17.23	61.64	43.11	23.98

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน. เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน. เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
750	45	ตะแกรง	1	258.75	3.97	64.87	42.93	52.11	54.67	25.96	18.21
			2	251.32	3.72	57.23	45.40	48.98	60.09	23.78	15.84
			3	255.04	3.85	61.05	44.17	50.55	57.38	24.87	17.03
	90	เรียบ	1	239.70	3.68	89.58	16.78	37.87	50.59	30.12	14.76
			2	243.57	3.63	95.27	22.84	31.93	48.73	28.44	16.36
			3	241.64	3.66	92.43	19.81	34.90	49.66	29.28	15.56
		เส้น	1	258.39	3.75	89.87	10.11	18.96	60.49	49.08	29.88
			2	263.70	3.94	82.03	9.83	22.74	67.23	51.56	30.31
			3	261.05	3.85	85.95	9.97	20.85	63.86	50.32	30.10
		ตะแกรง	1	236.35	3.65	61.23	38.11	57.24	47.29	19.72	12.76
			2	237.99	3.39	69.78	30.43	55.23	51.11	23.09	8.35
			3	237.17	3.52	65.51	34.27	56.24	49.20	21.41	10.56

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	น้ำหนักสุ่ม (g)	เวลาสุ่ม (s)	นน.เปลือก (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)
750	โค้ง	เรียบ	1	238.21	3.44	65.48	17.18	53.28	52.20	39.89	10.18
			2	232.66	3.50	58.25	25.05	55.44	48.91	35.10	9.91
			3	235.44	3.47	61.87	21.12	54.36	50.56	37.50	10.05
		เส้น	1	250.35	3.68	73.50	5.89	44.76	57.08	57.20	11.92
			2	250.86	3.66	77.77	4.36	40.80	61.00	51.56	15.37
			3	250.61	3.67	75.64	5.13	42.78	59.04	54.38	13.65
		ตะแกรง	1	228.59	3.57	64.03	35.57	54.86	44.11	22.05	7.97
			2	217.39	3.35	68.91	28.92	44.02	42.52	29.34	3.68
			3	222.99	3.46	66.47	32.25	49.44	43.32	25.70	5.83

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
650	45	เรียบ	1	214.64	69.21	25.28	30.28	36.46	5.97	2.01
			2	171.91	67.78	26.42	30.51	33.50	6.99	2.59
			3	191.57	68.51	25.84	30.39	35.01	6.47	2.29
		เส้น	1	194.06	78.96	18.75	18.43	35.01	20.62	7.19
			2	202.42	76.93	20.04	22.27	36.88	16.03	4.77
			3	198.31	77.92	19.42	20.42	35.99	18.23	5.94
		ตะแกรง	1	186.62	47.62	43.26	29.47	19.54	6.13	1.60
			2	181.05	59.71	31.57	36.67	24.71	5.74	1.31
			3	183.85	53.25	37.67	32.91	22.01	5.94	1.46
	90	เรียบ	1	190.16	68.67	25.65	30.72	30.45	9.38	3.80
			2	181.14	73.88	20.30	37.73	31.87	7.91	2.19
			3	185.50	71.24	22.94	34.27	31.17	8.63	2.99

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
650	90	เส้น	1	189.59	79.55	17.28	26.28	34.76	16.14	5.55
			2	188.62	78.02	18.98	23.12	33.81	13.66	10.43
			3	189.14	78.84	18.06	24.82	34.32	15.00	7.80
		ตะแกรง	1	185.21	51.76	38.49	34.24	20.24	4.99	2.03
			2	197.45	52.78	35.65	41.50	16.06	5.18	1.61
			3	191.26	52.26	37.04	37.94	18.11	5.09	1.82
	โค้ง	เรียบ	1	184.88	71.66	22.08	37.43	23.37	15.42	1.70
			2	164.00	73.84	20.83	34.49	26.26	15.54	2.88
			3	174.20	72.69	21.50	36.06	24.72	15.47	2.25
		เส้น	1	177.21	87.96	9.76	32.01	28.30	25.74	4.19
			2	193.64	80.78	16.49	24.06	35.54	18.83	5.08
			3	185.54	84.07	13.32	27.80	32.13	22.09	4.66

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
650	โค้ง	ตะแกรง	1	172.48	61.14	30.22	37.66	19.30	11.36	1.46
			2	181.90	55.55	34.60	37.51	17.94	8.81	1.13
			3	176.93	58.40	32.37	37.59	18.63	10.11	1.30
700	45	เรียบ	1	244.23	78.66	18.56	22.07	48.10	7.86	3.41
			2	197.40	79.21	18.54	18.35	52.12	6.79	4.20
			3	219.09	78.92	18.55	20.32	49.99	7.35	3.78
		เส้น	1	225.78	92.47	7.04	11.12	57.67	17.08	7.10
			2	225.12	92.77	6.51	16.84	49.18	21.25	6.22
			3	225.46	92.62	6.78	13.95	53.47	19.14	6.66
		ตะแกรง	1	221.47	61.02	33.01	25.93	32.05	6.79	2.22
			2	219.61	68.87	25.50	30.63	35.28	5.79	2.79
			3	220.56	64.79	29.34	28.22	33.63	6.30	2.50

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
700	90	เรียบ	1	204.06	84.78	12.90	25.81	46.07	10.42	4.81
			2	220.74	80.49	16.18	28.88	42.71	8.59	3.63
			3	212.00	82.66	14.54	27.35	44.39	9.50	4.22
		เส้น	1	237.59	91.65	7.58	15.75	47.03	20.75	8.89
			2	211.84	92.05	7.03	19.55	47.34	19.33	6.75
			3	224.21	91.84	7.31	17.58	47.18	20.07	7.86
		ตะแกรง	1	216.19	71.46	21.92	39.26	30.72	5.76	2.34
			2	220.40	70.43	23.59	34.26	30.60	8.46	3.08
			3	218.33	70.91	22.79	36.65	30.66	7.17	2.73
	โค้ง	เรียบ	1	223.32	80.30	16.04	31.47	34.28	16.32	1.89
			2	215.39	82.52	14.29	30.94	32.55	18.97	3.26
			3	219.30	81.41	15.16	31.20	33.41	17.65	2.57

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
700	โค้ง	เส้น	1	211.72	93.11	5.80	26.96	35.12	22.01	10.11
			2	221.54	94.27	4.69	30.72	34.87	24.46	5.26
			3	216.55	93.71	5.22	28.93	34.99	23.30	7.56
		ตะแกรง	1	223.61	72.41	22.02	34.24	31.06	10.06	2.63
			2	202.35	73.07	20.35	41.38	28.29	7.86	2.12
			3	212.97	72.71	21.24	37.57	29.77	9.03	2.39
750	45	เรียบ	1	233.57	88.11	10.79	15.63	38.85	22.39	12.33
			2	248.18	83.66	14.43	19.80	33.63	21.51	10.63
			3	240.60	85.90	12.62	17.73	36.23	21.95	11.48
		เส้น	1	237.16	94.33	5.26	12.29	40.13	27.75	14.57
			2	244.27	95.84	3.91	10.34	40.47	28.60	16.68
			3	240.72	95.12	4.55	11.27	40.31	28.19	15.68

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
750	45	ตะแกรง	1	234.63	73.68	22.14	26.88	28.20	13.39	9.39
			2	243.21	72.51	23.39	25.24	30.96	12.25	8.16
			3	238.78	73.09	22.77	26.06	29.58	12.82	8.78
	90	เรียบ	1	234.49	86.87	11.18	25.23	33.70	20.06	9.83
			2	241.56	82.36	15.40	21.53	32.86	19.18	11.03
			3	238.00	84.60	13.28	23.39	33.28	19.62	10.43
		เส้น	1	248.05	93.57	6.00	11.25	35.89	29.12	17.73
			2	240.94	94.16	5.41	12.52	37.01	28.38	16.68
			3	244.41	93.88	5.69	11.91	36.47	28.74	17.19
		ตะแกรง	1	233.11	73.03	21.76	32.69	27.00	11.26	7.29
			2	252.73	77.56	18.09	32.83	30.38	13.73	4.96
			3	242.56	75.25	19.96	32.76	28.66	12.47	6.15

ตาราง ข.13 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ซ้ำที่	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
750	โค้ง	เรียบ	1	249.29	87.84	9.95	30.85	30.22	23.09	5.89
			2	239.31	82.32	14.36	31.79	28.04	20.12	5.68
			3	244.26	85.08	12.17	31.32	29.13	21.60	5.79
		เส้น	1	244.91	96.08	3.33	25.31	32.28	32.34	6.74
			2	246.75	97.07	2.52	23.57	35.24	29.79	8.88
			3	245.83	96.58	2.93	24.45	33.74	31.08	7.80
		ตะแกรง	1	230.51	73.09	21.62	33.34	26.80	13.40	4.84
			2	233.61	76.39	19.48	29.65	28.64	19.76	2.48
			3	232.01	74.68	20.60	31.59	27.67	16.42	3.72

ตาราง ข.14 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
650	45	เรียบ	192.70	68.50	25.85	30.39	34.99	6.48	2.30
		เส้น	198.26	77.94	19.40	20.37	35.96	18.29	5.97
		ตะแกรง	183.84	53.53	37.50	33.02	22.09	5.94	1.46
	90	เรียบ	185.60	71.26	22.96	34.24	31.16	8.64	2.99
		เส้น	189.12	78.80	18.11	24.74	34.29	14.93	7.93
		ตะแกรง	191.31	52.26	37.06	37.90	18.14	5.09	1.82
	โค้ง	เรียบ	174.36	72.73	21.47	36.00	24.78	15.48	2.28
		เส้น	185.46	84.27	13.19	27.96	31.99	22.22	4.64
		ตะแกรง	177.10	58.36	32.40	37.59	18.62	10.09	1.30
700	45	เรียบ	220.24	78.93	18.55	20.25	50.07	7.33	3.79
		เส้น	225.45	92.62	6.77	13.97	53.44	19.16	6.66
		ตะแกรง	220.54	64.89	29.28	28.26	33.66	6.29	2.51

ตาราง ข.14 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
700	90	เรียบ	212.27	82.64	14.54	27.35	44.39	9.50	4.22
		เส้น	224.55	91.85	7.31	17.63	47.18	20.05	7.83
		ตะแกรง	218.31	70.93	22.77	36.73	30.66	7.13	2.71
	โค้ง	เรียบ	219.34	81.41	15.16	31.20	33.41	17.65	2.57
		เส้น	216.60	93.70	5.23	28.87	35.00	23.26	7.64
		ตะแกรง	212.98	72.73	21.20	37.73	29.71	8.99	2.38
750	45	เรียบ	240.78	85.89	12.62	17.72	36.24	21.95	11.48
		เส้น	240.72	95.10	4.57	11.30	40.30	28.18	15.64
		ตะแกรง	238.88	73.10	22.77	26.06	29.58	12.82	8.78
	90	เรียบ	238.02	84.61	13.29	23.38	33.28	19.62	10.43
		เส้น	244.47	93.87	5.70	11.89	36.46	28.75	17.20
		ตะแกรง	242.80	75.28	19.94	32.76	28.68	12.49	6.13

ตาราง ข.14 ผลการทดสอบชุดกะเทาะเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ชนิดลูกกะเทาะ	ชนิดเป้ากระทบ	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)	%การกะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ	%เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน	%เมล็ดในเต็ม	%เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	%เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย
750	โค้ง	เรียบ	244.28	85.08	12.16	31.32	29.13	21.61	5.79
		เส้น	245.83	96.58	2.93	24.44	33.75	31.07	7.81
		ตะแกรง	232.05	74.72	20.56	31.52	27.71	16.53	3.68

ตาราง ข.15 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	2.8	A	0.43	85.06	53.80	3.63	1.09	0.00	144.01	34.00
		B	2.99	3.94	42.32	228.40	153.90	0.00	431.55	
		C	7.24	0.00	0.00	0.00	0.00	54.22	61.46	
		D	286.04	0.00	0.00	0.00	0.00	53.73	339.77	
		รวม	296.70	89.00	96.12	232.03	154.99	107.95	976.79	
	3.0	A	0.00	60.69	41.63	2.50	0.00	0.00	104.82	35.00
		B	0.00	4.33	50.67	247.66	131.33	0.00	433.99	
		C	3.82	0.00	0.00	0.00	0.00	45.93	49.75	
		D	318.38	0.00	0.00	0.00	0.00	64.49	382.87	
		รวม	322.20	65.02	92.30	250.16	131.33	110.42	971.43	
	3.2	A	0.00	89.48	91.70	1.81	1.07	0.00	184.06	32.00
		B	0.00	0.00	83.73	220.62	44.43	0.00	348.78	
		C	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	17.91	18.94	

ตาราง ข.15 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	3.2	D	391.61	0.00	0.00	0.00	0.00	42.74	434.35	32.00
		รวม	392.64	89.48	175.43	222.43	45.50	60.65	986.13	
440	2.8	A	0.00	37.89	71.54	4.67	0.00	3.30	117.40	37.00
		B	0.36	3.57	27.93	284.84	177.22	0.00	493.92	
		C	5.32	0.00	0.00	0.00	0.00	63.03	68.35	
		D	264.29	0.00	0.00	0.00	0.00	36.46	300.75	
		รวม	269.97	41.46	99.47	289.51	177.22	102.79	980.42	
	3.0	A	0.00	67.24	84.14	4.20	1.12	0.70	157.40	31.00
		B	0.00	12.81	68.21	270.15	43.97	10.55	405.69	
		C	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	27.25	29.85	
		D	302.81	0.00	0.00	0.00	0.00	56.27	359.08	
		รวม	305.41	80.05	152.35	274.35	45.09	94.77	952.02	
	3.2	A	0.00	64.59	103.48	5.08	0.00	0.00	173.15	33.00

ตาราง ข.15 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
440	3.2	B	0.00	8.15	51.69	287.34	69.76	0.00	416.94	33.00
		C	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	22.71	24.10	
		D	261.83	0.00	0.00	0.00	0.00	104.67	366.50	
		รวม	263.22	72.74	155.17	292.42	69.76	127.38	980.69	
460	2.8	A	0.57	38.43	56.65	2.48	2.59	0.00	100.72	30.00
		B	1.70	5.56	37.22	272.63	148.24	0.00	465.35	
		C	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	61.30	66.90	
		D	292.93	0.00	0.00	0.00	0.00	66.95	359.88	
		รวม	300.80	43.99	93.87	275.11	150.83	128.25	992.85	
	3.0	A	0.00	58.68	46.94	5.51	0.00	0.00	111.13	29.00
		B	0.43	2.71	36.91	222.21	166.61	0.00	428.87	
		C	1.56	0.00	0.00	0.00	0.00	50.36	51.92	
		D	358.80	0.00	0.00	0.00	0.00	70.71	429.51	

ตาราง ข.15 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
460	3.0	รวม	360.79	61.39	83.85	227.72	166.61	121.07	1021.43	29.00
	3.2	A	0.00	45.72	42.09	2.50	0.00	0.00	90.31	26.00
		B	0.00	3.39	28.02	233.94	104.87	0.00	370.22	
		C	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	26.64	27.73	
		D	381.53	0.00	0.00	0.00	0.00	89.43	470.96	
		รวม	382.62	49.11	70.11	236.44	104.87	116.07	959.22	

ตาราง ข.16 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	2.8	A	0.00	87.54	0.00	25.12	0.00	0.00	112.66	38.00
		B	0.00	0.00	11.54	205.50	126.58	0.00	343.62	
		C	5.19	0.00	0.00	0.00	0.00	64.16	69.35	
		D	314.73	0.00	0.00	0.00	0.00	20.08	334.81	
		รวม	319.92	87.54	11.54	230.62	126.58	84.24	860.44	
	3.0	A	0.00	65.08	58.70	39.64	0.00	0.00	163.42	35.00
		B	0.00	0.00	6.87	208.84	116.75	0.00	332.46	
		C	7.79	0.00	0.00	0.00	0.00	61.04	68.83	
		D	361.92	0.00	0.00	0.00	0.00	25.24	387.16	
		รวม	369.71	65.08	65.57	248.48	116.75	86.28	951.87	
	3.2	A	0.00	117.65	114.26	11.86	0.00	0.00	243.77	35.00
		B	0.00	0.00	11.96	189.92	44.78	0.00	246.66	
		C	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	35.41	37.71	

ตาราง ข.16 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	3.2	D	359.34	0.00	0.00	0.00	0.00	31.99	391.33	35.00
		รวม	361.64	117.65	126.22	201.78	44.78	67.40	919.47	
440	2.8	A	0.00	40.75	86.17	31.62	6.07	0.00	164.61	35.00
		B	0.00	0.00	8.34	240.54	167.19	0.00	416.07	
		C	5.77	0.00	0.00	0.00	0.00	65.17	70.94	
		D	291.95	0.00	0.00	0.00	0.00	20.78	312.73	
		รวม	297.72	40.75	94.51	272.16	173.26	85.95	964.35	
	3.0	A	0.00	72.86	126.65	13.15	0.95	0.00	213.61	30.00
		B	0.00	2.69	17.32	239.92	67.67	0.00	327.60	
		C	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	36.76	39.50	
		D	315.17	0.00	0.00	0.00	0.00	34.76	349.93	
		รวม	317.91	75.55	143.97	253.07	68.62	71.52	930.64	
	3.2	A	0.00	1.21	119.64	21.72	4.15	0.00	146.72	31.00

ตาราง ข.16 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
440	3.2	B	0.00	0.00	13.70	481.85	70.13	0.00	565.68	31.00
		C	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	30.64	31.70	
		D	315.17	0.00	0.00	0.00	0.00	34.76	349.93	
		รวม	316.23	1.21	133.34	503.57	74.28	65.40	1094.03	
460	2.8	A	0.00	44.06	77.81	42.03	9.42	0.00	173.32	30.00
		B	0.00	0.00	13.60	213.23	137.71	0.00	364.54	
		C	3.49	0.00	0.00	0.00	0.00	56.30	59.79	
		D	351.44	0.00	0.00	0.00	0.00	33.81	385.25	
		รวม	354.93	44.06	91.41	255.26	147.13	90.11	982.90	
	3.0	A	0.00	56.22	75.56	31.08	10.96	0.00	173.82	29.00
		B	0.00	0.90	6.76	176.84	100.81	0.00	285.31	
		C	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	43.82	44.90	
		D	395.67	0.00	0.00	0.00	0.00	50.58	446.25	

ตาราง ข.16 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
460	3.0	รวม	396.75	57.12	82.32	207.92	111.77	94.40	950.28	29.00
	3.2	A	0.00	37.12	58.50	28.03	0.22	0.00	123.87	27.00
		B	0.00	0.00	163.24	98.26	5.64	0.00	267.14	
		C	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	25.66	27.24	
		D	456.80	0.00	0.00	0.00	0.00	71.11	527.91	
		รวม	458.38	37.12	221.74	126.29	5.86	96.77	946.16	

ตาราง ข.17 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	2.8	A	0.00	33.27	107.18	13.93	6.16	1.49	162.03	32.00
		B	0.00	0.00	21.78	212.79	161.70	21.11	417.38	
		C	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	85.60	87.00	
		D	214.03	0.00	0.00	0.00	0.00	8.37	222.40	
		รวม	215.43	33.27	128.96	226.72	167.86	116.57	888.81	
	3.0	A	0.00	69.24	137.14	27.86	7.14	0.00	241.38	37.00
		B	0.00	0.00	30.40	261.09	145.68	0.00	437.17	
		C	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	85.60	87.00	
		D	214.03	0.00	0.00	0.00	0.00	8.37	222.40	
		รวม	215.43	69.24	167.54	288.95	152.82	93.97	987.95	
	3.2	A	0.00	38.26	35.63	31.50	1.06	0.00	106.45	33.00
		B	0.00	0.00	3.86	171.57	77.38	0.00	252.81	
		C	3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	41.69	45.23	

ตาราง ข.17 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
410	3.2	D	389.42	0.00	0.00	0.00	0.00	25.09	414.51	33.0
		รวม	392.96	38.26	39.49	203.07	78.44	66.78	819.00	
440	2.8	A	0.00	59.45	130.26	0.00	0.00	0.00	189.71	35.00
		B	0.00	0.00	40.12	306.97	154.31	0.00	501.40	
		C	7.26	0.00	0.00	0.00	0.00	63.20	70.46	
		D	473.50	0.00	0.00	0.00	0.00	31.28	504.78	
		รวม	480.76	59.45	170.38	306.97	154.31	94.48	1266.35	
	3.0	A	0.00	60.21	150.87	14.81	6.77	0.00	232.66	30.00
		B	0.00	0.00	32.10	231.63	90.43	0.00	354.16	
		C	2.69	0.00	0.00	0.00	0.00	87.18	89.87	
		D	260.11	0.00	0.00	0.00	0.00	19.78	279.89	
		รวม	262.80	60.21	182.97	246.44	97.20	106.96	956.58	
	3.2	A	0.00	49.77	129.16	26.45	0.70	0.00	206.08	30.00

ตาราง ข.17 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
440	3.2	B	0.00	0.00	8.30	221.98	152.40	0.00	382.68	30.00
		C	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	56.86	58.05	
		D	327.42	0.00	0.00	0.00	0.00	28.83	356.25	
		รวม	328.61	49.77	137.46	248.43	153.10	85.69	1003.06	
460	2.8	A	0.72	57.79	117.20	31.86	5.42	0.00	212.99	30.00
		B	0.70	0.00	27.56	260.55	128.12	0.00	416.93	
		C	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00	30.44	36.36	
		D	411.89	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	415.35	
		รวม	419.23	57.79	144.76	292.41	133.54	33.90	1081.63	
	3.0	A	0.00	55.36	128.78	26.18	0.00	0.00	210.32	30.00
		B	0.38	0.00	30.75	271.49	75.20	0.00	377.82	
		C	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	30.44	32.36	

ตาราง ข.17 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	นน.เปลือก (g)	นน.ไม่กะเทาะ (g)	นน.เมล็ดกะเทาะบางส่วน (g)	นน.เมล็ดในเต็ม (g)	นน.เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (g)	นน.เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (g)	นน.รวม (g)	เวลา (s)
460	3.0	D	411.89	0.00	0.00	0.00	0.00	53.46	465.35	30.00
	3.2	รวม	414.19	55.36	159.53	297.67	75.20	83.90	1085.85	
		A	0.00	56.52	128.78	33.24	0.00	0.00	218.54	25.00
		B	0.00	0.00	35.92	277.65	20.92	0.00	334.49	
		C	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	21.90	22.69	
		D	312.30	0.00	0.00	0.00	0.00	16.74	329.04	
		รวม	313.09	56.52	164.70	310.89	20.92	38.64	904.76	

ตาราง ข.18 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
410	2.8	A	0.14	95.57	55.97	1.56	0.70	0.00	96.41	3.59	49.77	103.42
		B	1.01	4.43	44.03	98.44	99.30	0.00				
		C	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	50.23				
		D	96.41	0.00	0.00	0.00	0.00	49.77				
	3.0	A	0.00	93.34	45.10	1.00	0.00	0.00	98.81	1.19	58.40	99.92
		B	0.00	6.66	54.90	99.00	100.00	0.00				
		C	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	41.60				
		D	98.81	0.00	0.00	0.00	0.00	58.40				
	3.2	A	0.00	100.00	52.27	0.81	2.35	0.00	99.74	0.26	70.47	110.94
		B	0.00	0.00	47.73	99.19	97.65	0.00				
		C	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	29.53				
		D	99.74	0.00	0.00	0.00	0.00	70.47				

ตาราง ข.18 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
440	2.8	A	0.00	91.39	71.92	1.61	0.00	3.21	97.90	2.10	35.47	95.39
		B	0.13	8.61	28.08	98.39	100.00	0.00				
		C	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00	61.32				
		D	97.90	0.00	0.00	0.00	0.00	35.47				
	3.0	A	0.00	84.00	55.23	1.53	2.48	0.74	99.15	0.85	59.38	110.56
		B	0.00	16.00	44.77	98.47	97.52	11.13				
		C	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	28.75				
		D	99.15	0.00	0.00	0.00	0.00	59.38				
	3.2	A	0.00	88.80	66.69	1.74	0.00	0.00	99.47	0.53	82.17	106.98
		B	0.00	11.20	33.31	98.26	100.00	0.00				
		C	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	17.83				
		D	99.47	0.00	0.00	0.00	0.00	82.17				

ตาราง ข.18 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 1 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
460	2.8	A	0.19	87.36	60.35	0.90	1.72	0.00	97.38	2.62	52.20	119.14
		B	0.57	12.64	39.65	99.10	98.28	0.00				
		C	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00	47.80				
		D	97.38	0.00	0.00	0.00	0.00	52.20				
	3.0	A	0.00	95.59	55.98	2.42	0.00	0.00	99.45	0.55	58.40	126.80
		B	0.12	4.41	44.02	97.58	100.00	0.00				
		C	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	41.60				
		D	99.45	0.00	0.00	0.00	0.00	58.40				
	3.2	A	0.00	93.10	60.03	1.06	0.00	0.00	99.72	0.28	77.05	132.82
		B	0.00	6.90	39.97	98.94	100.00	0.00				
		C	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	22.95				
		D	99.72	0.00	0.00	0.00	0.00	77.05				

ตาราง ข.19 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
410	2.8	A	0.00	100.00	0.00	10.89	0.00	0.00	98.38	1.62	23.84	81.52
		B	0.00	0.00	100.00	89.11	100.00	0.00				
		C	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	76.16				
		D	98.38	0.00	0.00	0.00	0.00	23.84				
	3.0	A	0.00	100.00	89.52	15.95	0.00	0.00	97.89	2.11	29.25	97.91
		B	0.00	0.00	10.48	84.05	100.00	0.00				
		C	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	70.75				
		D	97.89	0.00	0.00	0.00	0.00	29.25				
	3.2	A	0.00	100.00	90.52	5.88	0.00	0.00	99.36	0.64	47.46	94.57
		B	0.00	0.00	9.48	94.12	100.00	0.00				
		C	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	52.54				
		D	99.36	0.00	0.00	0.00	0.00	47.46				

ตาราง ข.19 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
440	2.8	A	0.00	100.00	91.18	11.62	3.50	0.00	98.06	1.94	24.18	99.19
		B	0.00	0.00	8.82	88.38	96.50	0.00				
		C	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	75.82				
		D	98.06	0.00	0.00	0.00	0.00	24.18				
	3.0	A	0.00	96.44	87.97	5.20	1.38	0.00	99.14	0.86	48.60	111.68
		B	0.00	3.56	12.03	94.80	98.62	0.00				
		C	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	51.40				
		D	99.14	0.00	0.00	0.00	0.00	48.60				
	3.2	A	0.00	100.00	89.73	4.31	5.59	0.00	99.66	0.34	53.15	127.05
		B	0.00	0.00	10.27	95.69	94.41	0.00				
		C	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	46.85				
		D	99.66	0.00	0.00	0.00	0.00	53.15				

ตาราง ข.19 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 2 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
460	2.8	A	0.00	100.00	85.12	16.47	6.40	0.00	99.02	0.98	37.52	117.95
		B	0.00	0.00	14.88	83.53	93.60	0.00				
		C	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	62.48				
		D	99.02	0.00	0.00	0.00	0.00	37.52				
	3.0	A	0.00	98.42	91.79	14.95	9.81	0.00	99.73	0.27	53.58	117.97
		B	0.00	1.58	8.21	85.05	90.19	0.00				
		C	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	46.42				
		D	99.73	0.00	0.00	0.00	0.00	53.58				
	3.2	A	0.00	100.00	26.38	22.19	3.75	0.00	99.66	0.34	73.48	126.15
		B	0.00	0.00	73.62	77.81	96.25	0.00				
		C	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	26.52				
		D	99.66	0.00	0.00	0.00	0.00	73.48				

ตาราง ข.20 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
410	2.8	A	0.00	100.00	83.11	6.14	3.67	1.28	99.35	0.65	7.18	99.99
		B	0.00	0.00	16.89	93.86	96.33	18.11				
		C	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	73.43				
		D	99.35	0.00	0.00	0.00	0.00	7.18				
	3.0	A	0.00	100.00	81.86	9.64	4.67	0.00	99.35	0.65	8.91	96.12
		B	0.00	0.00	18.14	90.36	95.33	0.00				
		C	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	91.09				
		D	99.35	0.00	0.00	0.00	0.00	8.91				
	3.2	A	0.00	100.00	90.23	15.51	1.35	0.00	99.10	0.90	37.57	89.35
		B	0.00	0.00	9.77	84.49	98.65	0.00				
		C	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	62.43				
		D	99.10	0.00	0.00	0.00	0.00	37.57				

ตาราง ข.20 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
440	2.8	A	0.00	100.00	76.45	0.00	0.00	0.00	98.49	1.51	33.11	130.25
		B	0.00	0.00	23.55	100.00	100.00	0.00				
		C	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	66.89				
		D	98.49	0.00	0.00	0.00	0.00	33.11				
	3.0	A	0.00	100.00	82.46	6.01	6.97	0.00	98.98	1.02	18.49	114.79
		B	0.00	0.00	17.54	93.99	93.03	0.00				
		C	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	81.51				
		D	98.98	0.00	0.00	0.00	0.00	18.49				
	3.2	A	0.00	100.00	93.96	10.65	0.46	0.00	99.64	0.36	33.64	120.37
		B	0.00	0.00	6.04	89.35	99.54	0.00				
		C	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	66.36				
		D	99.64	0.00	0.00	0.00	0.00	33.64				

ตาราง ข.20 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคาซ้ำที่ 3 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
460	2.8	A	0.17	100.00	80.96	10.90	4.06	0.00	98.25	1.75	10.21	129.80
		B	0.17	0.00	19.04	89.10	95.94	0.00				
		C	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	89.79				
		D	98.25	0.00	0.00	0.00	0.00	10.21				
	3.0	A	0.00	100.00	80.72	8.79	0.00	0.00	99.44	0.56	63.72	130.30
		B	0.09	0.00	19.28	91.21	100.00	0.00				
		C	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	36.28				
		D	99.44	0.00	0.00	0.00	0.00	63.72				
	3.2	A	0.00	100.00	78.19	10.69	0.00	0.00	99.75	0.25	43.32	130.29
		B	0.00	0.00	21.81	89.31	100.00	0.00				
		C	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	56.68				
		D	99.75	0.00	0.00	0.00	0.00	43.32				

ตาราง ข.21 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
410	2.8	A	0.05	98.52	46.36	6.20	1.46	0.43	98.05	1.95	26.93	94.98
		B	0.34	1.48	53.64	93.80	98.54	6.04				
		C	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	66.61				
		D	98.05	0.00	0.00	0.00	0.00	26.93				
	3.0	A	0.00	97.78	72.16	8.86	1.56	0.00	98.69	1.31	32.19	97.98
		B	0.00	2.22	27.84	91.14	98.44	0.00				
		C	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	67.81				
		D	98.69	0.00	0.00	0.00	0.00	32.19				
	3.2	A	0.00	100.00	77.67	7.40	1.23	0.00	99.40	0.60	51.83	98.29
		B	0.00	0.00	22.33	92.60	98.77	0.00				
		C	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	48.17				
		D	99.40	0.00	0.00	0.00	0.00	51.83				

ตาราง ข.21 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
440	2.8	A	0.00	97.13	79.85	4.41	1.17	1.07	98.15	1.85	30.92	108.28
		B	0.04	2.87	20.15	95.59	98.83	0.00				
		C	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	68.01				
		D	98.15	0.00	0.00	0.00	0.00	30.92				
	3.0	A	0.00	93.48	75.22	4.25	3.61	0.25	99.09	0.91	42.16	112.34
		B	0.00	6.52	24.78	95.75	96.39	3.71				
		C	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	53.89				
		D	99.09	0.00	0.00	0.00	0.00	42.16				
	3.2	A	0.00	96.27	83.46	5.57	2.01	0.00	99.59	0.41	56.32	118.13
		B	0.00	3.73	16.54	94.43	97.99	0.00				
		C	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	43.68				
		D	99.59	0.00	0.00	0.00	0.00	56.32				

ตาราง ข.21 ผลการทดสอบชุดทำความสะอาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา (ต่อ)

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	ชั้น	% เปลือก	% ไม่กะเทาะ	% เมล็ดกะเทาะบางส่วน	% เมล็ดในเต็ม	% เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย	% เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย	% การทำความสะอาด	% การปนของเปลือก	% การสูญเสียเมล็ด	ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)
460	2.8	A	0.12	95.79	75.48	9.42	4.06	0.00	98.22	1.78	33.31	122.30
		B	0.24	4.21	24.52	90.58	95.94	0.00				
		C	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	66.69				
		D	98.22	0.00	0.00	0.00	0.00	33.31				
	3.0	A	0.00	98.00	76.16	8.72	3.27	0.00	99.54	0.46	58.57	125.02
		B	0.07	2.00	23.84	91.28	96.73	0.00				
		C	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	41.43				
		D	99.54	0.00	0.00	0.00	0.00	58.57				
	3.2	A	0.00	97.70	54.87	11.31	1.25	0.00	99.71	0.29	64.62	129.75
		B	0.00	2.30	45.13	88.69	98.75	0.00				
		C	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	35.38				
		D	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	64.62				

ตาราง ข.22 การคำนวณต้นทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

รายการ	สัญลักษณ์	จำนวน/อัตรา	หน่วย	คิดเป็น	หน่วย
ราคารวมแรกซื้อ	P	50000	บาท		
อายุใช้งาน	N	7	ปี		
มูลค่าซาก	S	0.1	ของP	5000	บาท/ปี
อัตราดอกเบี้ย	i	0.05	เปอร์เซ็นต์ต่อปี		
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	R&M	0.1	ของP	5000	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะ (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	F	5.39	บาท/ชั่วโมง	4481.63	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)		6.14	บาท/ชั่วโมง	1597.40	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ารวม				6079.03	บาท/ปี
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	Oil	0	ของF	0.00	บาท/ปี
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	Lo	300	1 คน/วัน	46800	บาท/ปี
ความสามารถในการกะเทาะ	Ct	70.22	กิโลกรัม/ชั่วโมง	58423.04	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		104	วัน/ปี		
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		8	ชั่วโมง/วัน		
ความสามารถในการทำความสะอาด		240.81	กิโลกรัม/ชั่วโมง	62610.6	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		52	วัน/ปี		

ตาราง ข.22 การคำนวณต้นทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล (ต่อ)

รายการ	สัญลักษณ์	จำนวน/อัตรา	หน่วย	คิดเป็น	หน่วย
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		5	ชั่วโมง/วัน		
ค่าเสื่อมราคา D=(P-S)/N				6428.57	บาท/ปี
ดอกเบี้ย I=((P+S)/2)*(i)				1375	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง	Ac	5	บาท/กิโลกรัม		
ต้นทุนคงที่ Fc =D+I				7803.57	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง Ac=(Fc/A)+(1/Ct)*(R&M+F+O+Lo)				0.99	บาท/กิโลกรัม
จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี	A			1946.36	กิโลกรัม/ปี

ตาราง ข.23 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ (กิโลกรัม/ปี)	ดอกเบี้ย (บาท/ปี)	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าน้ำมันหล่อลื่น (บาท/ปี)	แรงงาน (บาท/ปี)	รวมต้นทุน (บาท/ปี)
1000	1375	85.58	104.05	0.00	801.05	2365.69
1500	1375	128.37	156.08	0.00	1201.58	2861.03
1946.36	1375	166.57	202.52	0.00	1559.14	3303.24
3000	1375	256.75	312.16	0.00	2403.16	4347.07
5000	1375	427.91	520.26	0.00	4005.27	6328.44
10000	1375	855.83	1040.52	0.00	8010.54	11281.88
20000	1375	1711.65	2081.04	0.00	16021.08	21188.77
30000	1375	2567.48	3121.56	0.00	24031.61	31095.65
40000	1375	3423.31	4162.08	0.00	32042.15	41002.54
50000	1375	4279.13	5202.60	0.00	40052.69	50909.42
58423.04	1375	5000.00	6079.03	0.00	46800.00	59254.03
60000	1375	5134.96	6243.12	0.00	48063.23	60816.31
70000	1375	5990.79	7283.63	0.00	56073.77	70723.19

ตาราง ข.24 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ (กิโลกรัม/ปี)	ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
1000	5000.00	2365.69	2634.31	18.98
1500	7500.00	2861.03	4638.97	10.78
1946.36	9731.81	3303.24	6428.57	7.78
3000	15000.00	4347.07	10652.93	4.69
5000	25000.00	6328.44	18671.56	2.68
10000	50000.00	11281.88	38718.12	1.29
20000	100000.00	21188.77	78811.23	0.63
30000	150000.00	31095.65	118904.35	0.42
40000	200000.00	41002.54	158997.46	0.31
50000	250000.00	50909.42	199090.58	0.25
58423.04	292115.20	59254.03	232861.17	0.21
60000	300000.00	60816.31	239183.69	0.21
70000	350000.00	70723.19	279276.81	0.18

ตาราง ข.25 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี	ต้นทุนการกะเทาะต่อกิโลกรัม	ต้นทุนต่อกิโลกรัมที่เกิดขึ้นจริงจากการกะเทาะต่อปี
Ac	A	Aca
1000	5	8.79
1500	5	6.19
1946.36	5	5.00
3000	5	3.59
5000	5	2.55
10000	5	1.77
20000	5	1.38
30000	5	1.25
40000	5	1.19
50000	5	1.15
58423.04	5	1.12
60000	5	1.12
70000	5	1.10

ตาราง ข.26 การคำนวณต้นทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดใน

รายการ	สัญลักษณ์	จำนวน/อัตรา	หน่วย	คิดเป็น	หน่วย
ราคารวมแรกซื้อ	P	80000	บาท		
อายุใช้งาน	N	7	ปี		
มูลค่าซาก	S	0.1	ของP	8000	บาท/ปี
อัตราดอกเบี้ย	i	0.05	เปอร์เซ็นต์ต่อปี		
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	R&M	0.1	ของP	8000	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะฝัก (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)	F	5.39	บาท/ชั่วโมง	4481.63	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)		5.43	บาท/ชั่วโมง	1597.40	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ากะเทาะเมล็ด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)		4.89	บาท/ชั่วโมง	1270.49	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าทำความสะอาด (ค่าไฟ 3.76 บาท/หน่วย)		6.23	บาท/ชั่วโมง	3239.38	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้ารวม				10588.89	บาท/ปี
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	Oil	0	ของF	0.00	บาท/ปี
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	Lo	300	1 คน/วัน	78000	บาท/ปี
ความสามารถในการกะเทาะ	Ct	70.22	กิโลกรัม/ชั่วโมง	58423.04	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		104	วัน/ปี		
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		8	ชั่วโมง/วัน		

ตาราง ข.26 การคำนวณต้นทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดใน (ต่อ)

รายการ	สัญลักษณ์	จำนวน/อัตรา	หน่วย	คิดเป็น	หน่วย
ความสามารถในการทำความสะอาด		240.81	กิโลกรัม/ชั่วโมง	62610.60	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		52	วัน/ปี		
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		5	ชั่วโมง/วัน		
ความสามารถในการกะเทาะ		220.24	กิโลกรัม/ชั่วโมง	57262.40	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		52	วัน/ปี		
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		5	ชั่วโมง/วัน		
ความสามารถในการทำความสะอาด		108.28	กิโลกรัม/ชั่วโมง	56305.60	กิโลกรัม/ปี
จำนวนวันทำงาน		52	วัน/ปี		
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน		10	ชั่วโมง/วัน		
ค่าเสื่อมราคา D=(P-S)/N				10285.70	บาท/ปี
ดอกเบี้ย I=((P+S)/2)*(i)				2200	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง	Ac	10	บาท/กิโลกรัม		
ต้นทุนคงที่ Fc =D+I				12485.70	บาท/ปี
ต้นทุนการใช้เครื่อง Ac=(Fc/A)+(1/Ct)*(R&M+F+O+Lo)				1.65	บาท/กิโลกรัม
จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี	A			1495.88	กิโลกรัม/ปี

ตาราง ข.27 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ (กิโลกรัม/ปี)	ดอกเบี้ย (บาท/ปี)	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าน้ำมันหล่อลื่น (บาท/ปี)	แรงงาน (บาท/ปี)	รวมต้นทุน (บาท/ปี)
500	2200	68.47	90.62	0.00	667.54	3026.63
1000	2200	136.93	181.25	0.00	1335.09	3853.27
1495.88	2200	204.83	271.12	0.00	1997.13	4673.09
2000	2200	273.86	362.49	0.00	2670.18	5506.53
5000	2200	684.66	906.23	0.00	6675.45	10466.34
10000	2200	1369.32	1812.45	0.00	13350.90	18732.67
20000	2200	2738.65	3624.90	0.00	26701.79	35265.34
30000	2200	4107.97	5437.36	0.00	40052.69	51798.02
40000	2200	5477.29	7249.81	0.00	53403.59	68330.69
50000	2200	6846.61	9062.26	0.00	66754.49	84863.36
58423.04	2200	8000.00	10588.89	0.00	78000.00	98788.89
60000	2200	8215.94	10874.71	0.00	80105.38	101396.03
70000	2200	9585.26	12687.16	0.00	93456.28	117928.70

ตาราง ข.28 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ (กิโลกรัม/ปี)	ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
500	5000.00	3026.63	1973.37	40.54
1000	10000.00	3853.27	6146.73	13.02
1495.88	14958.80	4673.09	10285.71	7.78
2000	20000.00	5506.53	14493.47	5.52
5000	50000.00	10466.34	39533.66	2.02
10000	100000.00	18732.67	81267.33	0.98
20000	200000.00	35265.34	164734.66	0.49
30000	300000.00	51798.02	248201.98	0.32
40000	400000.00	68330.69	331669.31	0.24
50000	500000.00	84863.36	415136.64	0.19
58423.04	584230.40	98788.89	485441.51	0.16
60000	600000.00	101396.03	498603.97	0.16
70000	700000.00	117928.70	582071.30	0.14

ตาราง ข.29 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนการกะเทาะเป็นเมล็ดน้ำตาล

จำนวนถั่วดาวอินคาที่กะเทาะได้ต่อปี	ต้นทุนการกะเทาะต่อกิโลกรัม	ต้นทุนต่อกิโลกรัมที่เกิดขึ้นจริงจากการกะเทาะต่อปี
Ac	A	Aca
500	10	26.62
1000	10	14.14
1495.88	10	10.00
2000	10	7.90
5000	10	4.15
10000	10	2.90
20000	10	2.28
30000	10	2.07
40000	10	1.97
50000	10	1.90
58423.04	10	1.87
60000	10	1.86
70000	10	1.83

ภาคผนวก ค

ภาพอุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบ และภาพประกอบเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา

ภาพประกอบ ค.1 การกะเทาะโดยใช้แรงงานคน

ภาพประกอบ ค.2 การวัดขนาดฝักถั่วดาวอินคา

ภาพประกอบ ค.3 การวัดขนาดเมล็ดน้ำตาลถั่วดาวอินคา

ภาพประกอบ ค.4 การวัดขนาดเมล็ดในถั่วดาวอินคา

เปลือก (A)

ฝักไม่กะเทาะ (B)

เมล็ดน้ำตาลแตกหัก (C)

เมล็ดน้ำตาลเต็ม (D)

เมล็ดในแตกหัก (E)

ภาพประกอบ ค.5 ส่วนประกอบเมล็ดถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

เปลือก (A)

เมล็ดน้ำตาลไม่กะเทาะ (B)

เมล็ดน้ำตาลกะเทาะบางส่วน (C)

เมล็ดในเต็ม (D)

เมล็ดในแตกหักเล็กน้อย (E)

เมล็ดในแตกหักชิ้นเล็กชิ้นน้อย (F)

ภาพประกอบ ค.6 ส่วนประกอบเมล็ดถั่วดาวอินคาหลังการกะเทาะ

ภาพประกอบ ค.7 เครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคาเป็นเมล็ดน้ำตาล

ภาพประกอบ ค.8 เครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาลเป็นเมล็ดใน

ภาพประกอบ ค.9 เครื่องคัดแยกและทำความสะอาด

ภาพประกอบ ค.10 การเตรียมถั่วดาวอินคาก่อนการทดสอบด้วยวิธีการตากแดด

ภาพประกอบ ค.11 การทดสอบการทำงานของเครื่องกะเทาะฝักถั่วดาวอินคา

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ ค.12 การทดสอบการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดน้ำตาล

ภาพประกอบ ค.13 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาด

พหุน ปณ ฑิโต ชะ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายภาณุวัฒน์ ขามประไพ

วันเกิด วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2533

สถานที่เกิด อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 166 หมู่ที่ 7 ตำบลแคนเหนือ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านโคกโก ตำบลแคนเหนือ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น

พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบ้านไผ่ (ขก. 5) ตำบลในเมือง อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น

พ.ศ. 2556 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พ.ศ. 2561 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ทุนวิจัย โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโทประจำปีการศึกษา 2559

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว