

การออกแบบและสร้างเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงสด

Design and Fabrication of Fresh Lotus Seed Dehusking Machine

มานพ แยมแพง¹ และ พิมพ์พรรณ ปรีองาม^{2*}

Manop Yamfang¹ and Pimpan Pruengam^{2*}

Received: 20 February 2020, Revised: 18 October 2020, Accepted: 4 November 2020

บทคัดย่อ

เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงออกจากเปลือกได้ออกแบบเพื่อให้งานต่อเนื่องจากเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว ประกอบด้วยโครงซึ่งทำด้วยเหล็กฉาก และแบ่งการทำงานเป็นสองส่วน คือ ชุดกะพ้อลำเลียง และชุดใบมีดกรีด พิจารณาความเร็วรอบชุดกะพ้อลำเลียงและความเร็วรอบสายพานของชุดใบมีดกรีดที่เหมาะสม และออกแบบชุดใบมีดกรีดให้สามารถกรีดได้รอบเมล็ดบัว เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แกะได้ โดยมีรางใบมีด 5 ราง แต่ละรางมีใบมีดกรีด 3 ใบ โดยที่ใบมีดสูงขึ้นมาจากพื้นราง 2 มม. ตัวกะพ้อทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดบัวจากเครื่องแยกเมล็ดบัวไปยังชุดใบมีดกรีดเมล็ดบัวในเครื่องแกะเมล็ดบัว เมล็ดจะไหลเข้าสู่ชุดใบมีดกรีด ซึ่งประกอบด้วยรางที่มีใบมีดติดอยู่ที่ท้องราง โดยมีสายพานเป็นตัวพาเมล็ดและกดเมล็ดให้ถูกใบมีดกรีดเมล็ดที่ถูกกรีดจะไหลลงสู่ช่องทางออก การทดลองกำหนดความเร็วกะพ้อลำเลียง 3 ระดับ คือ 4.8, 5.8 และ 7.2 เมตร/วินาที และความเร็วชุดใบมีดกรีด 3 ระดับ คือ 1.3, 1.6 และ 1.9 เมตร/วินาที พบว่า ความเร็วกะพ้อลำเลียง และความเร็วชุดใบมีดกรีด ที่เหมาะสมในการทำงานคือ 5.8 เมตร/วินาที และ 1.6 เมตร/วินาที มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้สูงสุด 87% และมีอัตราทำงาน 5.55 กก./ชม. เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ใน 1 ปี ใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลังทำงาน 640 ชม. มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 27,359 บาท/ปี ถ้ารับจ้างแกะเมล็ดราคา 25 บาท/กก.ของเมล็ดบัว จะมีระยะเวลากินทุนเท่ากับ 2.5 เดือน จุดคุ้มทุนเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักเมล็ดบัวประมาณ 0.1 ตัน/ปี

คำสำคัญ: ชุดลำเลียง, ใบมีดกรีด, เมล็ดบัว, สายพาน, เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand.

² ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): fengpppn@ku.ac.th

ABSTRACT

Lotus Seed Dehusking Machine was designed in order to continue working after the lotus seed separating machine. The machine consists of an angle steel frame with two main mechanisms- bucket conveyor unit, and blading unit. The optimum speeds of the bucket conveyor unit and the blading unit were considered. The blading unit which allows the blade to cut around the lotus seed to increase the percentage of dehusked seeds was designed. The blading unit consists of 5 tracks. Each track has 3 slitting blades with 2 mm. above the track. Bucket conveyor will feed lotus seeds from the Lotus Seed Separating Machine to the blading unit in Lotus Seed Dehusking Machine. After that the lotus seed will flow into blading unit, which has blades installed in the center of the tracks. The belt will convey and press the lotus seed to be cut. The husk of lotus seed will be cut and the lotus seed will be dropped into the outlet. In the experiment, the bucket conveyor speed was set at 4.8, 5.8 and 7.2 m/s and the speed of blading unit was set at 1.3, 1.6 and 1.9 m/s. respectively. The result revealed that the optimum speed of the bucket conveyor unit of 5.8 m/s and the blading unit speed of 1.6 m/s resulted in the highest percentage of dehusked seeds at 87 and working capacity was 5.55 kg/h. An engineering economic analysis showed that it cost 27,359 baht at 640 working hours per year. If the dehusking wage is 25 baht/kg, the payback period will be 2.5 months and the break-even point of the machine considered from the dehusked lotus seed weight will be 0.1 ton/year.

Key words: conveyor unit, slitting blades, lotus seed, belt, percentage of dehusked seeds

บทนำ

เมล็ดบัว (Seeds of Lotus) นอกจากรับประทานสด ยังนิยมผลิตเมล็ดบัวแห้งโดยใช้เมล็ดที่แก่จัด เพื่อแปรรูปเป็นอาหารต่างๆ เมล็ดบัวสดแกะออกจากฝักแล้วราคากิโลกรัมละ 120-140 บาท (Lnwshop, 2017) ในขณะที่เมล็ดบัวแห้งแกะเปลือกแล้วราคาสูงถึง กิโลกรัมละ 300-600 บาท ในปัจจุบันเกษตรกรจะทำการแกะเปลือกเมล็ดบัวด้วยมีด โดยแกะได้ครั้งละเมล็ด (Sangsawang, 2017) เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานและลำบากเนื่องจากเมล็ดบัวแก่จะแห้งทำให้แข็งและเหนียวมาก

Ingpomsin and Pathaveerat (1984) ได้ออกแบบเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวถูกออกแบบโดยให้แรงกระทำกับเมล็ดบัวครั้งละ 1 เมล็ด เมล็ดบัวจะถูก

บรรจุอยู่ในช่องว่างของจานบรรจุเมล็ดทางด้าน ขอบตามความยาวของเมล็ด เมล็ดตกลงสู่ช่องด้วยน้ำหนักของตัวเอง อุปกรณ์กระแทกเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ของมือหมุน ซึ่งจับจานบรรจุเมล็ดบัวเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นและกระแทกให้เมล็ดบัวแตกจากการทดลองเปอร์เซ็นต์การตกของเมล็ดลงในช่องบรรจุเมล็ดเฉลี่ย 87.62 % ที่ความเร็วรอบ 39.42 รอบ/นาที ลักษณะของเมล็ดบัวเมื่อผ่านเครื่องแกะแล้วทำให้แตกเฉพาะเปลือกนอก (แตกดี) เฉลี่ย 81.89% ที่ความชื้น 2.65 % (w.b.) และแรงที่ใช้ในการหมุน 3 กิโลกรัม ซึ่งในงานวิจัยนี้ แม้จะได้เมล็ดที่เปลือกนอกแตกดีในปริมาณที่สูง แต่ยังคงทำงานได้ครั้งละ 1 เมล็ด เช่นเดียวกับแรงงาน ประมาณ 30 ปีต่อมา Sangsawang (2017) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่อง

กะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้ง โดยจะป้อนเมล็ดบัวทางด้านบนของเครื่อง แล้วถูกลำเลียงเข้าไปกะเทาะเมล็ด จากนั้นเมล็ดบัวที่กะเทาะเปลือกแล้วจะร่วงออกจากชุดกะเทาะลงทางด้านล่างของเครื่อง ที่ความเร็วของลูกกะเทาะ 300 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงาน 3.18 กก./ชม. และเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 81%

ถึงแม้จะมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของภาระเกี่ยวแล้ว พบว่า หากปล่อยให้เมล็ดบัวแห้งอยู่ในฝัก ระหว่างเกี่ยวเกี่ยวหรือเมื่อถูกลมพัดแรงๆ จะมีการสูญเสียเมล็ดบัว เพราะเมล็ดร่วงจากฝักได้ง่าย จากรายงานผลการศึกษานักวิจัยหลายคนได้มีการสร้างเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงสด โดยที่วิธีการเลียนแบบการแกะด้วยแรงงานคนคือใช้มีดกรีดโดยรอบเมล็ดบัว จากงานวิจัยของ Srisutto *et al.* (2009) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง การทำงานของเครื่อง ประกอบด้วย ชุดใบมีดกรีด ชุดสายพานลำเลียง ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อป้อนเมล็ดบัวลงในช่องป้อนสายพานลำเลียงจะลำเลียงเมล็ดบัวหมุนผ่านชุดใบมีดและร่วงสู่ช่องทางออก จากการทดลอง พบว่าเครื่องแกะเมล็ดบัวสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วของสายพานลำเลียง 240 เมตร/นาที มีความสามารถในการทำงาน 4.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 71.4 % เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัว 3.9%

ต่อมา Lungkapin *et al.* (2017) ได้ศึกษาและทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง ประกอบด้วย ชุดใบมีดกรีด กลไก Scotch Yoke ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของกลไก Scotch Yoke ช่วยลำเลียงเมล็ดบัวเข้าไปในชุดกรีด โดยการกรีดตามแนวเส้นรอบวง จากการทดสอบ พบว่า ความเร็วของชุดใบมีดกรีด 7.5 เมตร/วินาที มีความสามารถในการ

การทำงาน 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 79.8 % ไม่มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย แม้ว่าจะลดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวได้ แต่กลับมีความสามารถในการทำงานลดลง ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เทคโนโลยีเครื่องจักรเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตระดับชุมชน เนื่องจากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและทดแทนแรงงานคน เช่น การผ่าผลหมาก เพื่อทำหมากแห้งเพื่อส่งขายในประเทศและต่างประเทศทำให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Suchadpong and Muangkaew, 2008; Siphuengthong and Ploykrajang, 2009; Yamfang *et al.*, 2017) จนสามารถทำงานได้ตามที่ชุมชนต้องการ

เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงสดในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเพื่อให้ทำงานต่อเนื่องจากเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว (Pruengam and Manthamkam, 2018) ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจสามารถแยกเมล็ดบัวออกจากฝักได้สูงถึง 61 % โดยที่เมล็ดบัวที่ผ่านการแยกด้วยเครื่องไม่ปรากฏความเสียหายและมีอัตราการทำงานสูงกว่าแรงงานถึง 8 เท่า จึงได้พัฒนาในส่วนแกะเปลือกเพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่องและแกะเมล็ดบัวได้แล้วเสร็จ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบพัฒนาและทดสอบการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวสด โดยศึกษาความเร็วชุดกะพ้อลำเลียงและความเร็วสายพานของชุดใบมีดกรีดที่เหมาะสม และออกแบบชุดใบมีดกรีดให้สามารถกรีดได้รอบเมล็ดบัว เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แกะได้

การนำเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงมาใช้ในสำหรับแปรรูปเป็นเมล็ดบัวแห้ง จึงเป็นวิธีที่สามารถทำรายได้ให้เกษตรกรเพิ่มขึ้น เพราะนอกจากลดการใช้แรงงานลงยังทำให้ได้จำนวนเมล็ดดีที่แกะเปลือกได้ต่อชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น บัวที่ให้เมล็ดมีหลายพันธุ์ เช่น บัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู (East Indian Lotus) และ

บัวหลวงพันธุ์ดอกสีขาว (Hindu lotus) และส่วนมากบัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้เมล็ดเป็นอาหาร (Suwanro and Noramas, 1992) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกบัวสีชมพูเป็นตัวแทนบัวเมล็ดบัวที่ใช้ในการทดลอง

วิธีดำเนินการวิจัย

แบ่งการดำเนินงานออกเป็นหลายส่วนตามลำดับดังนี้คือ

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง
2. การออกแบบและสร้างเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง
3. การทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

ความหนาของเปลือกเมล็ดบัว = $\frac{\phi 1 - \phi 2}{2}$



ภาพที่ 1 การวัดความหนาเปลือกเมล็ดบัว

ในงานวิจัยนี้ไม่วัดความหนาจากเปลือกโดยตรง เนื่องจากเมล็ดบัวด้านใน (ส่วนที่เป็นสีขาว) ไม่ได้อยู่ชิดกับเปลือกสีเขียวด้านนอกเพราะมีช่องว่างระหว่างเปลือกอยู่ เมื่อหากเราวัดความหนาเปลือกโดยวิธีนี้จะรวมช่องว่างระหว่างเปลือกด้วย เมื่อนำค่าที่ได้ไปกำหนดความสูงของใบมีด จะทำให้ใบมีดสามารถกรีดเปลือกเมล็ดบัวได้ลึกขึ้นโดยไม่ทำให้เมล็ดด้านในเสียหาย และสามารถกรีดเปลือกให้ขาดได้โดยรอบ

2. การออกแบบและสร้างเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

2.1 หลักการออกแบบ

4. การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

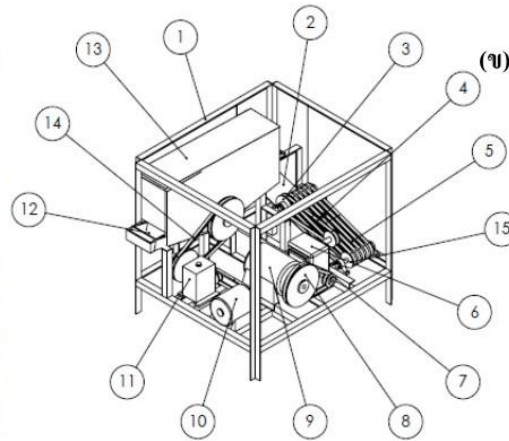
นำเมล็ดบัวหลวงที่แก่จัด (อายุประมาณ 3-4 เดือน) จำนวน 100 เมล็ด มาชั่งน้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ดบัว แล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดบัว ($\phi 1$) และความยาวเฉลี่ยของเมล็ดบัว (L) ด้วยเวอร์เนียรคาลิเปอร์ เพื่อใช้กำหนดระยะกระหว่งสายพานและร่องใบมีด จากนั้นแกะเมล็ดบัวออกมาจากเปลือก วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละเมล็ด ($\phi 2$) คำนวณหาความหนาของเปลือกดังสมการ (1) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ ค่าที่ได้ใช้กำหนดความสูงของใบมีดกรีดเมล็ดบัวหลวง ดังแสดงในภาพที่ 1

(1)

เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง เป็นเครื่องที่ทำงานต่อจากเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว (Pruengam and Manthamkam, 2018) การทำงานจะเริ่มจากชุดลำเลียง ซึ่งมีโซ่ทำหน้าที่ลำเลียงฝักบัวไปยังชุดตัดแล้วตัดฐานฝักและก้านบัวด้วยใบมีดสี เหลี่ยม เพื่อให้ได้ฝักบัวเฉพาะส่วนที่มีเมล็ดอยู่ จากนั้นจะถูกส่งต่อเข้าที่ชุดแยกเมล็ดบัวซึ่งทำจากแปรงลวดกลมสวมอยู่ในเพลลา และหมุนสวนทางกันในทิศทางลง เพื่อแยกเมล็ดบัวให้หลุดออกจากฝักเมล็ดบัวที่แยกแล้วจะหล่นลงด้านล่างของตัวเครื่อง ดังนั้นในการออกแบบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงจึง

เริ่มจาก ชุดกะพ้อลำเลียง ประกอบด้วยโซ่ปิกที่ติดด้วยตัวกะพ้อทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดบัวจากเครื่องแยกเมล็ดบัวไปยังชุดไบนิดกริดเมล็ดบัวในเครื่องแกะเมล็ดบัว เมล็ดจะไหลลงสู่ชุดไบนิดกริด ซึ่งประกอบ

ด้วยรางที่มีไบนิดติดอยู่ที่ท้องราง โดยมีสายพานเป็นตัวพาเมล็ดและกดเมล็ดให้ถูกไบนิดกริดเมล็ดที่ถูกกริดจะไหลลงสู่ช่องทางออก ดังแสดงในภาพที่ 2

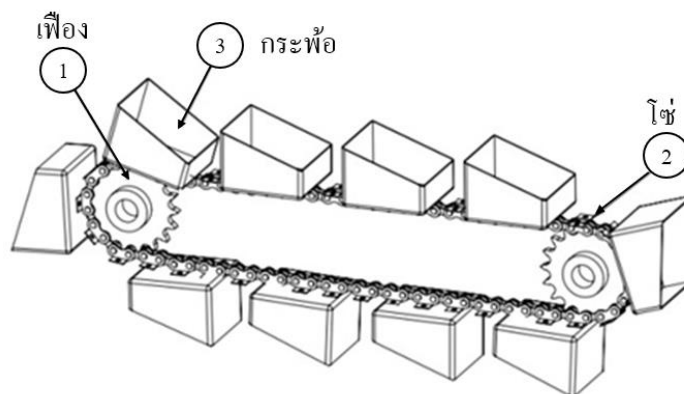


ภาพที่ 2 (ก) เครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว (Pruengam and Manthamkarn, 2018)
(ข) เครื่องแกะเมล็ดบัว

2.2 การออกแบบชุดกะพ้อลำเลียง

ชุดกะพ้อลำเลียงประกอบด้วยโซ่ปิกเบอร์ 40 ยาว 1.2 เมตร ใช้เฟืองในการเคลื่อนโซ่ลำเลียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. จำนวน 18 ฟันติดตั้งทำมุมเอียง 20 องศา ที่ติดกับกะพ้อขนาด 60 มม. × 40 มม. × 65 มม. เพื่อลำเลียงเมล็ดบัวเข้าสู่ชุดกริด

เมล็ด ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 186.42 วัตต์ เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน ลดความเร็วรอบผ่านเกียร์ทดรอบ มีอัตราทดรอบ 1:10 ทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดบัวที่ผู้ปฏิบัติงานป้อนเข้าสู่ชุดกะพ้อลำเลียงและชุดกริดเมล็ดในลำดับต่อไป



ภาพที่ 3 กะพ้อลำเลียง

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ของชุดกะป้อลำเลียง

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

$$T = F \times r \quad (3)$$

เมื่อ P คือ กำลัง (วัตต์)

T คือ Torque (นิวตันเมตร)

n คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

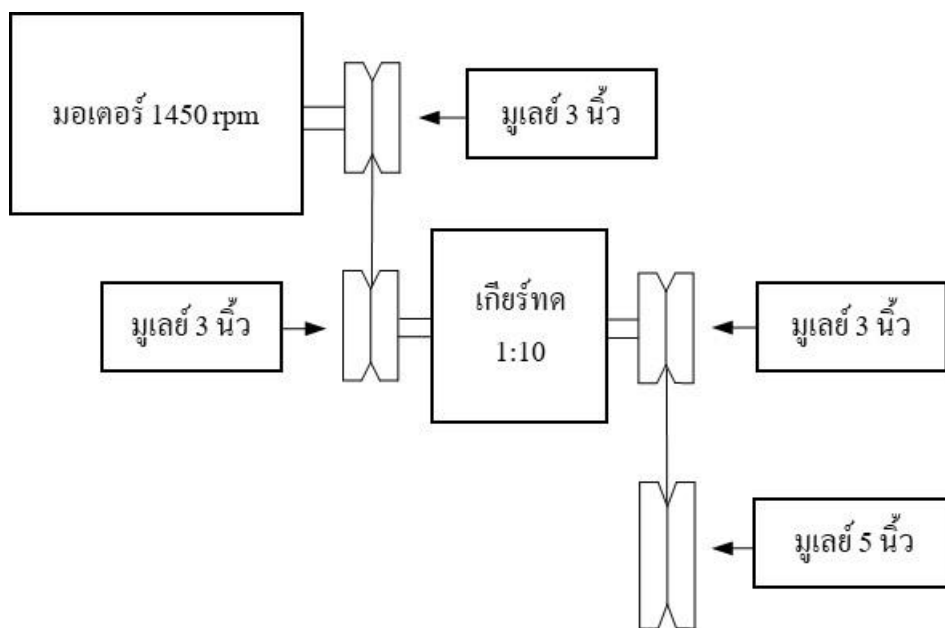
F คือ แรง (นิวตัน)

r คือ รัศมี (เมตร)

จากการทดสอบแรงที่ใช้ทำให้ชุดกะป้อเกิดการเคลื่อนที่โดยใช้เครื่องวัดแรงดึงระบบคิติดอลได้แรง 310 N ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดขับเคลื่อนกะป้อมีขนาด 80 มิลลิเมตร

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= 310 \times 0.04 \\ &= 12.4 \text{ นิวตันเมตร} \end{aligned}$$

คำนวณหาความเร็วรอบมอเตอร์



ภาพที่ 4 ระบบส่งกำลังของชุดกะป้อ

$$n = \frac{1450}{i_{a1} \times i_{a2}} \quad (4)$$

โดยที่ i_{a1} คือ อัตราการทดของเกียร์ทดคือ 1 : 10

i_{a2} คือ อัตราการทดมูเลย์คือ 3 : 5 นิ้ว

$$\begin{aligned} n &= \frac{1450}{\left(\frac{10}{1}\right) \times \left(\frac{5}{3}\right)} \\ &= 87 \text{ รอบ/นาที} \end{aligned}$$

จากสมการ (2)

$$P = \frac{2\pi Tn}{60}$$

$$= 2\pi(12.4)(87) / 60$$

$$= 113 \text{ วัตต์}$$

ซึ่งกำลังที่ได้เป็นกำลังทางกล ในงานวิจัยเลือกใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง สมมติให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 80% จะได้กำลังทางไฟฟ้าดังนี้

$$80\% \text{ ของกำลังไฟฟ้า} = \text{กำลังทางกลที่คำนวณได้}$$

$$\text{ซึ่งจะต้องใช้กำลังทางไฟฟ้า} = (113/0.8)$$

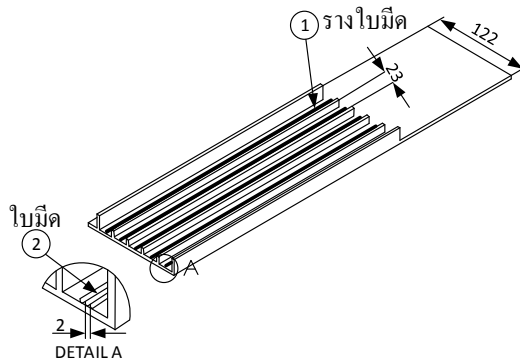
$$= 141.2 \text{ วัตต์}$$

$$= 0.19 \text{ แรมม้า}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรมม้า หรือ 186.42 วัตต์

2.3 การออกแบบชุดไบริดกริดเมล็ด

ปริมาณอัตราการผลิตที่ต้องการประมาณ 5-10 กก./ชม. ดังนั้นจึงออกแบบชุดไบริดประกอบด้วย 5 รางในแต่ละรางจะประกอบไปด้วย ไบริดจำนวน 3 ไบริ และแต่ละไบริห่างกัน 2 มม. เพื่อรองรับเมล็ดเล็กที่ไม่ได้กลิ้งเข้ามาอยู่กลางรางที่อาจเบี่ยงซ้ายหรือขวา และเพิ่มเปอร์เซ็นต์การกริดเมล็ดดี ไบริดในแต่ละรางจะสูงมาจากพื้นราง 2 มม. ซึ่งเป็นความหนาของเปลือกเมล็ดบัว โดยในแต่ละรางจะกว้าง 23 มม. มาจากความยาวที่ยาวที่สุดของเมล็ดบัว กำหนดให้รางเอียงทำมุม 20 องศา ดังแสดงในภาพที่ 5 ด้านบน รางมีสายพานไทม์มิ่ง (Timing Belt) ชนิดร่อง B จำนวน 5 เส้น แต่ละเส้นคล้องอยู่กับล้อสายพานที่ทำจากไม้ขนาด 3 นิ้ว ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 599.27 วัตต์ เป็นต้นกำลัง ลดความเร็วรอบด้วย เกียร์ทดรอบขนาด 1:60 สายพานจะทำหน้าที่พาและกดเมล็ดบัวให้ถูกไบริดกริดรอบเมล็ดและไหลลงสู่ช่องทางออก



ภาพที่ 5 ชุดไบริดกริด

2.4 ลักษณะการทำงานของเครื่อง

ผู้ปฏิบัติงานป้อนเมล็ดบัวเข้าสู่ช่องทางเข้าชุดกะพ้อลำเลียง เมล็ดจะถูกกะพ้อลำเลียงเข้าสู่ชุดไบริดกริด ชุดไบริดกริดจะทำการกริดรอบเมล็ดโดย

จะมีสายพานเป็นตัวพาเมล็ดให้กลิ้งผ่านไบริดและไหลออกช่องทางออกที่มีภาชนะรองรับไว้ เมื่อประกอบส่วนต่างๆสมบูรณ์แล้ว ดังแสดงในภาพที่ 6

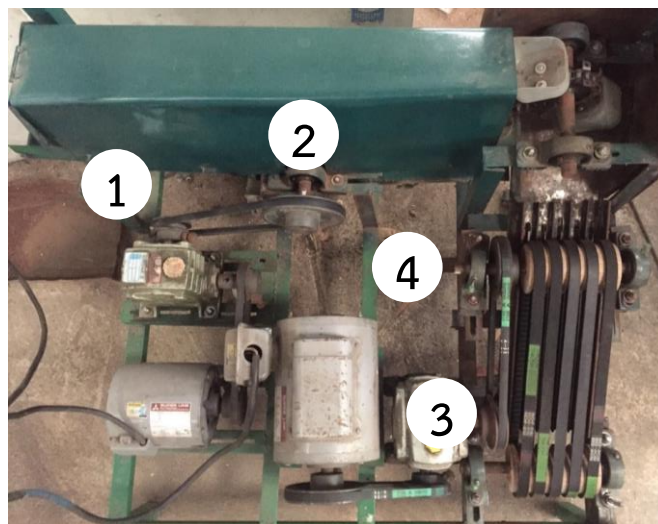


ภาพที่ 6 เครื่องแกะเมล็ดบัว

3. การทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

นำเมล็ดบัวไปชั่งน้ำหนักก่อนทดลอง แต่ละการทดลองใช้เมล็ดบัว 50 เมล็ด บ้อนเมล็ดบัวเข้าสู่ชุดกะพ้อลำเลียงของเครื่องแกะเปลือกเมล็ด ทำงานโดยได้รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที เปลี่ยนขนาดล้อยางพาน ตำแหน่งที่ (1) และ (2) ดังแสดงในภาพที่ 5 เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของชุดกะพ้อลำเลียงที่

แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 4.8, 5.8 และ 7.2 เมตร/วินาที เปลี่ยนขนาดล้อยางพาน ตำแหน่งที่ (3) และ (4) ดังแสดงในภาพที่ 7 เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของชุดใบมีดกรีดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.3, 1.6 และ 1.9 เมตร/วินาที ซึ่งการทำงานระหว่างชุดกะพ้อและชุดใบมีดกรีดจะมีความสัมพันธ์กันเป็นผลให้ได้สมรรถนะของเครื่องสูงสุด



ภาพที่ 7 ล้อยางพานของชุดกะพ้อและชุดใบมีดกรีด

เริ่มจับเวลาที่ป้อนเมล็ดบัวจากเมล็ดแรกที่เข้าสู่ชุดกะป้อนจนถึงเมล็ดสุดท้ายที่เข้าสู่ชุดกะป้อน เพื่อ

หาอัตราการป้อน ดังสมการที่ (5)

อัตราการป้อน = น้ำหนักเมล็ดรวมทั้งหมด / เวลา

(5)

เริ่มจับเวลาที่เมล็ดบัวจากเมล็ดแรกที่เข้าสู่ชุด ไบโอมิดกริดจนถึงเมล็ดสุดท้ายที่ออกจากชุด ไบโอมิด

กริด เพื่อหาอัตราการทำงาน ซึ่งอัตราการทำงานนี้ก็คือ อัตราการกริดเปลือกเมล็ดบัว ดังสมการที่ (6)

อัตราการทำงาน = น้ำหนักเมล็ดดี / เวลา

(6)

เมล็ดบัวจะร่วงลงสู่ทางออก นับจำนวนเมล็ดบัวที่ผ่านการกริด โดยแยกเป็นเมล็ดดี เมล็ดเสีย และเมล็ดที่ไม่ถูกกริด และชั่งน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้เมล็ดดี คือ เมล็ดที่กริดเปลือกแล้วไม่มีรอยบาดหรือสร้างความเสียหายให้กับเนื้อของเมล็ดบัว เมล็ดเสียคือ เมล็ดที่กริดออกมาแล้วเนื้อของเมล็ดบัวมีความ

เสียหาย เช่น ถูกไบโอมิดกริดจนเมล็ดบัวขาดออกจากกัน บาดแหง หรือถูกสายพานกดจนเมล็ดละ และเมล็ดที่ไม่ถูกกริด คือ เมล็ดที่ลอดผ่านชุดไบโอมิดกริดโดยไม่ถูกกริดหรือไม่มีรอยการ โคนกริด ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างเมล็ดดี เมล็ดเสีย และเมล็ดที่ไม่ถูกกริด

จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กริดได้ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย และเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่ถูกกริด ดังสมการที่ (7), (8) และ (9) โดยแต่ละ

เงื่อนไขทำการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กริดได้ = (จำนวนเมล็ดดี / จำนวนเมล็ดทั้งหมด) × 100

(7)

เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย = (จำนวนเมล็ดเสีย / จำนวนเมล็ดทั้งหมด) × 100

(8)

เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่ถูกกริด = (จำนวนเมล็ดที่ไม่ถูกกริด / จำนวนเมล็ดทั้งหมด) × 100

(9)

จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของระดับความเร็วรอบชุดกะพ้อลำเลียงและชุดใบมีดกรีด เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่กรีดได้ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย และเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่ถูกกรีด

แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีใช้การทดสอบแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4. การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

4.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องแบบเส้นตรง (บาท/ปี)} = (P-L) / N \quad (10)$$

โดย P = ราคาเครื่องแกะเมล็ดบัว (=13,500 บาท)

L = ราคาซากเครื่อง (= 0.1×P บาท)

N = อายุการใช้งาน (= 10 ปี)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน (บาท/ปี)} = ((P+L) / 2) \times (i / 100) \quad (11)$$

โดย i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี (7.5 %)

$$FC \text{ ต้นทุนคงที่รวม (บาท/ปี)} = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน} \quad (12)$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)} = \text{ราคาเครื่อง} \times \text{ค่าซ่อมแซม} \quad (13)$$

โดย อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว 10 ปี และมีค่าซ่อมแซมประมาณ 100% ของราคาเครื่อง

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ปี)} = \text{อัตราค่าจ้าง} \times \text{วันทำงาน} \quad (14)$$

โดย อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 310 บาท (ค่าแรงขั้นต่ำนครปฐม 1 มกราคม 2560 กระทรวงแรงงาน)

ใน 1 ปี สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ดบัวได้ 3-4 เดือน (Suwanro and Noramas, 1992) หยุดเสาร์-อาทิตย์ ดังนั้นทำงาน 60-80 วัน

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)} = \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} \times \text{ค่าหน่วยไฟฟ้า} \times \text{วันทำงาน} \quad (15)$$

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า (Unit day}^{-1}\text{)} = \text{ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \quad (16)$$

โดย ค่าหน่วยไฟฟ้า 3 บาท/หน่วย วัดความสิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.225 kW และใน 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง

$$VC \text{ ต้นทุนผันแปรรวม (บาท/ปี)} = \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} \quad (17)$$

$$AC \text{ ต้นทุนรวมทั้งหมด (บาท/ปี)} = FC + VC \quad (18)$$

$$\text{ต้นทุนการแกะเมล็ดบัวด้วยเครื่อง (บาท/ กก. ของเมล็ดบัว)} = AC / (\text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{อัตราการแยกเมล็ด}) \quad (19)$$

4.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

$$BEP \text{ จุดคุ้มทุน (ตัน/ปี)} = FC / (p - VC) \quad (20)$$

โดย p = ค่ารับจ้างเครื่องแกะเมล็ดบัว (บาท/ กก.) พิจารณาในช่วงเท่ากับ 11-50 บาท/กก. ของเมล็ดบัว

4.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

$$PBP = CF_0 / YCF \quad (21)$$

$$YCF = R - AC \quad (22)$$

โดย CF_0 = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องแกะเมล็ดบัว (บาท)

YCF = กำไร (บาท/ปี)

R = รายได้ (บาท/ปี)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

จากผลการทดลองวัดสมบัติทางกายภาพของเมล็ดบัว ด้วยการวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก มีรายละเอียดดังนี้ เมล็ดบัวหลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 14.88 ± 0.03 มม. ความยาวเฉลี่ย 20.36 ± 0.10 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 110.34 ± 4.78 กรัม และความหนาของเปลือกเฉลี่ย 2.58 ± 0.11 มม. ผลที่ได้ใช้ในการออกแบบเครื่องแกะเมล็ดบัว โดยที่ใช้ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดบัวกำหนดความกว้างของรางใบมีด และความสูงของใบมีดที่จะไม่ทำให้เมล็ดเสียหายได้กำหนดจากความหนาเปลือกของเมล็ดบัว

2. การทดสอบเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวง

จากผลการทดลองแกะเปลือกเมล็ดบัวด้วยเครื่องความเร็วรอบชุดกะป้อลำเลียง 4.8, 5.8 และ 7.2 เมตร/วินาที และใช้ความเร็วรอบชุดใบมีดกรีดที่

แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.3, 1.6 และ 1.9 เมตร/วินาที ผลของความเร็วรอบชุดกะป้อลำเลียงและความเร็วรอบชุดใบมีดกรีดที่มีผลต่อการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบทำการวัดอัตราการป้อนโดยการป้อนเมล็ดบัวเข้าเครื่องแกะเมล็ดที่ความเร็วรอบ 1.3, 1.6 และ 1.9 เมตร/วินาที พบว่า มีอัตราการป้อนอยู่ในช่วง 11.15-11.46 กก./ชม. เนื่องจากน้ำหนักของเมล็ดบัวที่ใช้ในแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และระยะเวลาที่ใช้ป้อนในแต่ละความเร็วรอบก็ยังมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 35 วินาที ส่งผลให้อัตราการป้อนในแต่ละความเร็วรอบกะป้อลำเลียงต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในช่วงอัตราการป้อนที่กำหนดนี้ไม่ทำให้เมล็ดบัวสั่นทางเข้าสู่ชุดใบมีดกรีดระหว่างทำการทดลอง

จากการทดสอบทำการวัดอัตราการทำงานในช่วงที่เมล็ดบัวเข้าสู่ชุดใบมีดกรีดด้วยความเร็วรอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ที่ความเร็วรอบชุดกะป้อลำเลียง 7.2 เมตร/วินาที และ ความเร็วรอบชุดใบมีดกรีด 1.9 เมตร/วินาทีที่มีอัตราการทำงานสูงสุด

คือ 8.27 ± 0.24 กก./ชม. ซึ่งมากกว่า 2 เท่า ของการทดลองซึ่งมีอัตราการทำงานต่ำสุด (ความเร็วรอบชุดกะป้อลำเลียง 4.8 เมตร/วินาที และ ความเร็วรอบชุดใบมีดกรีด 1.3 เมตร/วินาที)

ตารางที่ 1 อัตราการทำงาน

การทดลองที่	ความเร็วกะป้อลำเลียง (เมตร/วินาที)	ความเร็วชุดใบมีดกรีด (เมตร/วินาที)	อัตราการทำงาน (กก./ชม.)
1	4.8	1.3	3.66 ± 0.21^A
2		1.6	5.31 ± 0.2^B
3		1.9	7.53 ± 0.4^D
4	5.8	1.3	3.59 ± 0.26^A
5		1.6	5.55 ± 0.28^B
6		1.9	7.78 ± 0.24^D
7	7.2	1.3	3.5 ± 0.25^A
8		1.6	5.89 ± 0.37^C
9		1.9	8.27 ± 0.24^E

หมายเหตุ อักษรที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในการออกแบบเครื่องแกะเมล็ดบัวนั้นพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้เป็นสำคัญพบว่า การทดลองที่ 2 และ 5 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้สูงสุดถึง 87% ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ Srisutto *et al.* (2009) ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 71.4 % และสูงกว่าการแกะเมล็ดบัวแห้งของ Ingpornsini and Pathaveerat (1984) และ Sangsawang (2017) ซึ่งได้ทำการทดลองแกะเมล็ดบัวแห้งพบว่า ได้เมล็ดดี 81.89% และ 81% ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วการทดลองที่ 2 และ 5 ยังมีอัตราการทำงานสูงกว่า Srisutto *et al.* (2009) ถึงแม้ว่าจำนวนชุดกรีดของงานวิจัยนี้จะมีมากกว่างานวิจัยของ Srisutto *et al.* (2009) 4 ชุด แต่อัตราการทำงานสูงกว่าเพียง 1.1-1.2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อกะป้อลำเลียง

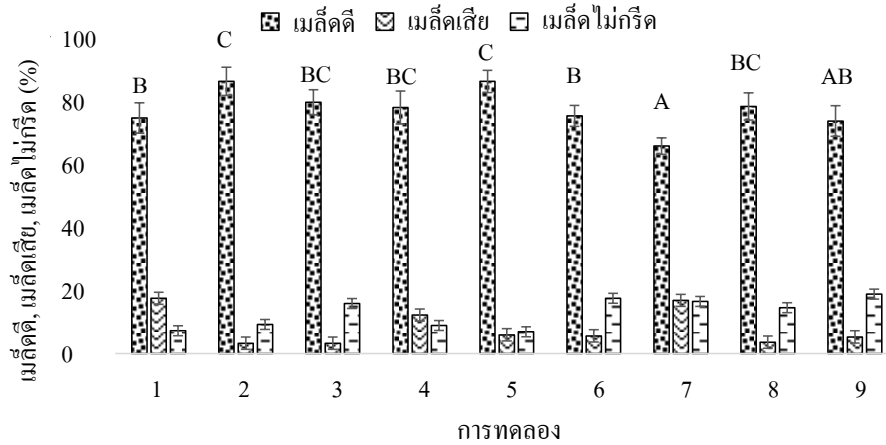
เมล็ดบัวมาแล้วจะปล่อยตกบริเวณเหนือรางร่องใบมีดก่อนจะค่อยๆ ทอยออกถึงเข้าสู่รางร่องใบมีดกรีดเมล็ดบัวจึงไม่ได้เข้าสู่ชุดใบมีดกรีดทั้งหมดได้ทันทีแล้วสายพานจะทำหน้าที่กดและพาเมล็ดบัวเข้ารางในกรณีที่เมล็ดบัวไม่เข้ากึ่งกลางราง จะทำให้เมล็ดบัวถูกบีบคั้นเข้ากับด้านข้างทำให้ใช้เวลาในรางมากขึ้น

การทดลองที่ 1 4 และ 7 ซึ่งเป็นการทดลองที่ใช้ความเร็วชุดใบมีดกรีด 1.3 เมตร/วินาทีนั้นมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียมากที่สุด ประมาณ 12-17% เนื่องจากความเร็วรอบที่สายพานเคลื่อนที่ในรางใบมีดช้าที่สุด ทำให้เมล็ดบัวที่กลิ้งผ่านรางใบมีดถูกสายพานกดจนเสียหาย ในขณะที่ความเร็วชุดใบมีดกรีด 1.6 และ 1.9 เมตร/วินาทีที่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย

ใกล้เคียงกัน และน้อยกว่าที่ความเร็วชุดใบมีดกรีด 1.3 เมตร/วินาทีประมาณ 3-4 เท่า

การทดลองที่ 3 6 และ 9 ซึ่งเป็นการทดลองที่ใช้ความเร็วชุดใบมีดกรีด 1.9 เมตร/วินาทีนั้นมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่ถูกกรีดมากที่สุด ประมาณ 16-19% เนื่องจากความเร็วรอบที่สายพานเคลื่อนที่ใน

รางใบมีดเร็วที่สุด ทำให้เมล็ดบัวผ่านใบมีดอย่างรวดเร็วถูกใบมีดกรีดเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีรอยกรีดเลย ซึ่งก็สอดคล้องกับการทดลองที่ 7 และ 8 ซึ่งเป็นการทดลองที่มีอัตราการป้อนสูงสุด (ความเร็วกะพ้อ 7.2 เมตร/วินาที) ก็มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่ถูกกรีดสูงรองลงมาเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 9



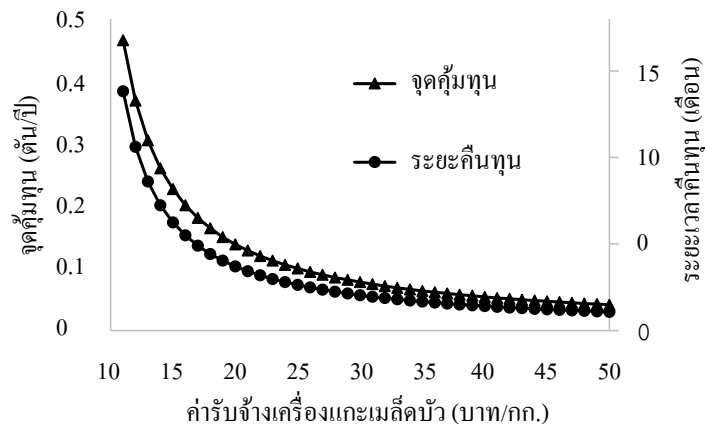
ภาพที่ 9 เปอร์เซนต์เมล็ดดี เมล็ดเสีย และเมล็ดที่ไม่ถูกกรีด
 หมายเหตุ อักษรที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

หลังจากได้ทดสอบการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวออกจากฝักแล้ว ในขั้นตอนต่อไปได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม กำหนดให้ต้นทุนในการสร้างต้นแบบมีราคา 13,500 บาท อายุการใช้งานของเครื่อง พิจารณาที่ 10 ปี ค่าเสื่อมราคาของเครื่องแยกเมล็ดบัว 1,215 บาท/ปี อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7.5 % คิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) เท่ากับ 1,771.875 บาท/ปี จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน พิจารณาการทำงานที่ความเร็วกะพ้อลำเลียง 87 เมตร/วินาที และความเร็วชุดใบมีดกรีด 30 เมตร/วินาที อัตราการทำงาน 5.55 กก./ชม. และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้ 87 % มีความสิ้นเปลืองพลังงานต่อชั่วโมงเฉลี่ย 0.225

กิโลวัตต์ โดยพิจารณาใช้เครื่องทำงานวันละ 8 ชม. ปีละ 80 วัน อัตราการรับจ้างพิจารณาจากค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ 310 บาท/วัน หรือเท่ากับ 24,800 บาท/ปี และค่าไฟฟ้า 432 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร (VC) 38,732 บาท/ปี ดังนั้นต้นทุนรวมของเครื่องทั้งหมด (AC) 40,503.875 บาท/ปี เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุน พบว่าค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยเท่ากับ 10.9 บาท/กก. ของเมล็ดบัว กำหนดให้ค่ารับจ้างเครื่องแกะเมล็ดบัวเท่ากับ 11-50 บาท/กก. จะได้จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนดังแสดงในภาพที่ 10

ผลการวิเคราะห์พบว่า ถ้าคิดค่ารับจ้าง 25 บาท/กก.ของเมล็ดบัว จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.5 เดือน จุดคุ้มทุนในหนึ่งปี เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักเมล็ดบัวประมาณ 0.1 ตัน/ปี



ภาพที่ 10 จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคุ้มทุนของเครื่องแกะเมล็ดบัว

สรุป

จากการทดสอบทางกายภาพ พบว่า เมล็ดบัว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 14.88 ± 0.03 มม. ความยาวเฉลี่ย 20.36 ± 0.10 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 110.34 ± 4.78 กรัม และความหนาของเปลือกเฉลี่ย 2.58 ± 0.11 มม. โดยที่จากการทดสอบหาความสามารถในการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง พบว่า การทดลองที่ 2 และ 5 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้สูงสุดใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่ 5 มีอัตราการทำงานสูงกว่าการทดลองที่ 2 และถึงแม้การทดลองที่ 9 จะมีอัตราการทำงานสูงสุด 8.27 กก./ชม. แต่ก็มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่กรีดได้เพียง 74.3% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การทดลองที่ 5 ความเร็วกะพ้อลำเลียง และความเร็วชุดใบมีดกรีดที่เหมาะสมในการทำงานคือ 5.8 เมตร/วินาที และ 1.6 เมตร/วินาที ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ปีการศึกษา 2561 รหัสโครงการ วศ.กพส. 10/2561

เอกสารอ้างอิง

- Ingpomsin, S. and Pathaveerat, S. 1984. A mechanical cracker for lotus seed. Bachelor Thesis of Engineering, Kasetsart University. (in Thai)
- Lnwshop. 2017. **Fresh lotus seed**. Available Source: <http://lotuseverything.lnwshop.com/product/6/เมล็ดบัวสด>, September 15, 2017. (in Thai)
- Lungkapi, J., Parnsakhorn, S., Kalsirisilp, R., Phorod, M. and Kod Phomsri, N. 2017. Study and testing of a lotus seed peeling machine. **Journal of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi** 15(1): 35-42. (in Thai)
- Pruengam, P. and Manthamkarn, V. 2018. Design of lotus seed separating machine from its pod. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 24(2): 8-16. (in Thai)
- Sangsawang, S. 2017. Design and development of a dried lotus seed sheller. Master Thesis of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)

- Siphuengthong, M. and Ploykrajang, A. 2009. Design and development of a betel nut splitter. Bachelor Thesis of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Srisutto, P., Pimparian, P., Apmaka, T. and Lungkapin, J. 2009. Design and development of a lotus seed sheller. Bachelor Thesis of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Suchadpong, N. and Muangkaew, P. 2008. Design and fabrication of a betel nut splitter. Bachelor Thesis of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Suwanro, T. and Noramas, P. 1992. **Lotus cultivation**. 2nd ed. Extension and Training Office of Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Yamfang, M., Boonwan, Ch., Preamjai, N., Sukchana, T. and Kuptasa, M. 2017. Development of the fresh betel nut splitter with a semi-automatic operation for the betel nut processing. **Area Based Development Research Journal** 9(6): 420-429. (in Thai)