



การออกแบบเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักบัว

Design of Lotus Seed Separating Machine from its pod

พิมพ์พรรณ ปรีองาม^{1*}, วิชา หมั่นทำการ¹Pimpan Pruengam^{1*}, Vicha Manthamkarn¹¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140¹Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University -Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-8-6504-5685, Fax: +66- 34-261-062, E-mail: fengpppn@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักบัว ประกอบด้วยโครงซึ่งทำด้วยเหล็กฉาก และแบ่งการทำงานเป็นสามส่วน คือ ชุดลำเลียงชุดตัด และชุดแยกเมล็ดบัว โดยที่ชุดลำเลียงประกอบด้วยโซ่ปิก ด้านบนติดเหล็กรูปตัวยูสำหรับวางก้านบัว ลำเลียงฝักบัวป้อนเข้าสู่ชุดตัด ใบมีดที่ชุดตัดจะตัดฐานฝักและก้านบัวออก ได้ฝักบัวส่วนเฉพาะที่มีเมล็ดเข้าสู่ชุดแยกเมล็ดซึ่งมีแปรงลวดสองชุดจะหมุนในทิศทางสวนกันแยกเมล็ดบัวออกจากฝัก การทดลองกำหนดความเร็วรอบชุดลำเลียง คือ 24, 28 และ 36 rpm และความเร็วรอบชุดแยกเมล็ดบัว 3 ระดับ คือ 822, 960 และ 1152 rpm โดยให้ความเร็วรอบของชุดตัดใบมีดคงที่ที่ 720 rpm พบว่า ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 36 rpm และความเร็วรอบชุดแยกเมล็ด 1152 rpm มีอัตราทำงานสูงสุด 34.3 kg h^{-1} เมล็ดบัวมีเปอร์เซ็นต์แยกได้ เท่ากับ 47.5 % และอัตราการแยกเมล็ด 6.4 kg h^{-1} เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ใน 1 year ใช้เครื่องแยกเมล็ดบัวหลังทำงาน 640 h มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง $27,533.5 \text{ Baht year}^{-1}$ มีต้นทุนการแยกเมล็ดเท่ากับ $6.72 \text{ Baht kg}^{-1}$ ของเมล็ดบัว ถ้ารับจ้างแยกเมล็ดราคา 17 Baht kg^{-1} ของเมล็ดบัว จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4 month จุดคุ้มทุนเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักเมล็ดบัวที่แยกได้ประมาณ $0.1 \text{ ton year}^{-1}$

คำสำคัญ: ชุดลำเลียง, ชุดใบมีดตัด, ชุดแยกเมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่แยกได้

Abstract

Lotus Seed Separating Machine from its pod was contained from angle steel frame and including three main mechanisms: conveyor unit, blading unit and separating unit. The conveyor unit was consists of attachment chain that U-shaped steel attached to the top for peduncle lotus. After feeding to blading unit, the blade was cutted out the bottom of pods and peduncle lotus. The pods with lotus seed was drop through separating unit. The two brush units of separating unit were rotated in a downward direction, separating the lotus seeds from the pods. Test of the Lotus Seed Separating Machine at the speeds of the conveyor unit were 24, 28 and 36 rpm in conjunction with three separating units speed of 822, 960 and 1152 rpm, respectively. The speed of the blading unit was fixed at 720 rpm. The optimum rotational speed of the conveyor unit of 36 rpm and the separating unit speed of 1152 rpm resulted in the highest working capacity at 34.3 kg h^{-1} . The percentage of separated seeds was 47.5 % and separating capacity was 6.4 kg h^{-1} . Economical analysis showed that the machine worked 640 h year^{-1} , the average costs was found to be $27,533.5 \text{ Baht year}^{-1}$, seeds separating cost $6.72 \text{ Baht kg}^{-1}$ of lotus seed seeds, separating wage 17 Baht kg^{-1} of lotus seed, payback period 4 month and the break even point of the machine that considering the seperated lotus seed weight to be $0.1 \text{ ton year}^{-1}$.

Keywords: conveyor unit, blading unit, brush units, percentage of separated seeds.

1 บทนำ

เมล็ดบัว (Seeds of Lotus) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญอย่างหนึ่ง จึงมีการส่งเสริมนำเมล็ดบัวไปแปรรูปเป็นสินค้าต่างๆ ที่คัดมาจากฝักบัวที่แก่เต็มที่ รับประทานดิบๆ จะให้รสมัน

ออกหวานเล็กน้อย เมล็ดบัวมีโปรตีน และแคลเซียม ช่วยในการดูดซับสารอาหารต่างๆ ที่รับประทานเข้าไป เสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรง บำรุงไต หัวใจ ลำไส้และกระเพาะอาหาร ช่วยกระตุกให้แข็งแรง ระวังอาการท้องเสีย และยังช่วยขจัดความอ่อนเพลียของร่างกายได้ (เมตไทย, 2560) ในปี 2554 มีพื้นที่ปลูกบัวใน

ไทย 5,000 ไร่ (จตุรงค์, 2558) และต่อมาในปี 2555 เพิ่มเป็น 5,500 ไร่ (สำนักพัฒนาเกษตรกร กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) ซึ่งนาบัวบางส่วนจะปลูกเพื่อตัดฝักขาย ผลผลิตฝักบัวอยู่ที่ 10,000 ฝักต่อไร่ (ไทยอาชีพ, 2560) หรือคิดเป็นน้ำหนักเมล็ดบัวแห้งจะได้ไร่ละประมาณ 144-180 kg (คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2537) ราคาของฝักบัวสดสำหรับการขายส่งตลาดในเขตจังหวัดหนองคายและบึงกาฬ ฝักละ 1 Baht (สุจิต, 2559) ในเขตจังหวัดอุบลราชธานีจะอยู่ที่ 2 Baht และถ้านำไปขายเองจะสามารถขายได้สูงถึง 5 Baht (ไทยอาชีพ, 2560) เมล็ดบัวสดแกะออกจากฝักแล้ว กิโลกรัมละ 120-140 Baht (Lnwshop, 2560) ในประเทศไทยนิยมซื้อขายเมล็ดบัวแห้งที่ยังไม่ได้กระเทาะเปลือก เพราะสามารถเก็บไว้ได้นาน เมื่อถึงช่วงที่ตลาดต้องการจึงกระเทาะออกมาจำหน่าย การรับซื้อบัวจากเกษตรกรจะรับซื้อบัวที่ยังไม่แกะเปลือกถึงละ 120-400 Baht (1 ถึงเท่ากับ 12 kg) (ทวีพงษ์ และคณะ, 2537) เกษตรกรจะทำการเก็บเกี่ยวฝักแก่มาแล้วใช้ไม้ทุบให้ฝักฉีกเมล็ดแก่จะร่วงหลุดออกจากฝัก ถ้ายังมีเมล็ดบัวติดค้างในฝักอีกก็จะใช้คนแกะออกมา เมล็ดที่ได้จะนำไปตากแดดให้แห้งประมาณ 2-3 วัน เลือกเมล็ดดีบรรจุลงกระสอบเตรียมส่งขายต่อไป (คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2537) และจากการสอบถามเกษตรกรนาบัวในจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า ค่าจ้างแรงงานแยกเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยมือ 15-20 Baht kg⁻¹ ของเมล็ดบัวที่แกะได้ ลักษณะของฝักบัวมี 2 ชนิด คือ (1) ฝักหนานูน มีลักษณะฝักใหญ่เมล็ดโตเอาเมล็ดออกจากฝักได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ เมื่อฝักแก่แล้วถูกลมพัดแรง ๆ จะทำให้เมล็ดร่วงจากฝักได้ง่าย และ (2) ฝักหน้าตัดลักษณะของฝักจะเล็กกว่าชนิดฝักหนานูน เมื่อฝักแก่จัดเมล็ดจะไม่ค่อยร่วง มีข้อเสียคือเอาเมล็ดออกค่อนข้างยาก (เทียง และคณะ, 2532)

สมเกียรติ และคณะ (2527) ได้ออกแบบเครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดบัว โดยใช้แรงกระแทก (impact) ต่เมล็ดบัวตามแนวยาวครึ่งละ 1 เมล็ด เมล็ดบัวจะถูกบรรจุอยู่ในช่องว่างของจานบรรจุเมล็ดทางด้านขอบจาน เมล็ดตกลงสู่ช่องรับเมล็ดด้วยน้ำหนักของตัวเอง อุปกรณ์กระแทกเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ของมือหมุน ซึ่งขับเคลื่อนบรรจุเมล็ดบัวเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นและกระแทกให้เมล็ดบัวแตก และจากงานวิจัยของเพทาย และคณะ (2552) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง ประกอบด้วย ชุดใบมีดกรีด ชุดสายพานลำเลียง ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1/4 Hp เป็นต้นกำลัง หลักการทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนเมล็ดบัวหลวงลงในช่องป้อน หลังจากนั้นสายพานลำเลียงจะลำเลียงเมล็ดบัวหลวงหมุนผ่านชุดใบมีด และร่วงสู่ช่องทางออก

จากรายงานผลการศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการแยกเมล็ดออกจากฝักบัว ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การกระเทาะเมล็ดแห้งหรือแกะเปลือกของเมล็ดสด

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อออกแบบเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝัก โดยศึกษาความเร็วรอบของชุดลำเลียง และ

ความเร็วรอบชุดแยกเมล็ดบัวที่เหมาะสม การนำเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัวมาใช้ในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเมล็ดบัวแห้ง จึงเป็นวิธีที่สามารถทำรายได้ให้เกษตรกรเพิ่มขึ้น เพราะนอกจากลดการใช้แรงงานแล้วยังทำให้ได้จำนวนกิโลกรัมที่แยกได้ต่อชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝักบัว 2 พันธุ์ คือบัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู (East Indian Lotus) และบัวหลวงพันธุ์ดอกสีขาว (Hindu lotus) และส่วนมากบัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้เมล็ดเป็นอาหาร (ทวีพงษ์ และคณะ, 2537) ดังนั้นจึงเลือกบัวสีชมพูเป็นตัวแทนบัวเมล็ดบัวที่ในการทดลอง

2 หลักการออกแบบและสร้างเครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว

เครื่องแยกเมล็ดบัวหลวงจากฝักบัว แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ชุดลำเลียง 2) ชุดตัด และ 3) ชุดแยกเมล็ดบัว ในชุดลำเลียง จะมีโซ่ทำหน้าที่ลำเลียงฝักบัวไปยังชุดตัดแล้วตัดฐานฝักและก้านบัวด้วยใบมีดสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้ฝักบัวเฉพาะส่วนที่มีเมล็ดอยู่ จากนั้นจะถูส่งต่อเข้าสู่ชุดแยกเมล็ดบัวซึ่งทำจากแปรงลวดกลมสวมอยู่ในเพลลา และหมุนสวนทางกันในทิศทางลง เพื่อแยกเมล็ดบัวให้หลุดออกจากฝัก

2.1 การออกแบบชุดลำเลียง

ชุดลำเลียงประกอบด้วย โซ่เบอร์ 40 ยาว 700 mm ระยะห่างระหว่างเพลลาหัว-ท้าย 600 mm ใช้เฟืองโซ่ขับโซ่ลำเลียง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 mm จำนวน 30 ฟัน ด้านบนโซ่ติดเหล็กรูปตัวยู ระยะห่างระหว่างตัวยู คือ เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดเฉลี่ยของฝักบัว สำหรับจับก้านบัว จะมีแผ่นเหล็กกดฝักบัวเพื่อให้ฝักบัวเข้าไปสู่ชุดตัดได้สะดวก ดังแสดงใน Figure 1 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 Hp เป็นต้นกำลัง ทำหน้าที่ลำเลียงฝักบัวที่ผู้ปฏิบัติงานป้อนเข้าสู่ชุดตัด และชุดแยกเมล็ดบัวในลำดับต่อไป



Figure 1 Schematic of conveyor unit.

2.2 การออกแบบชุดตัด

การออกแบบชุดตัด จะทำการตัดในส่วนฐานฝักซึ่งมีก้านอยู่ด้วยออกไป เมื่อใบมีดตัดฐานฝักและก้านบัวออกจะเหลือแต่ฝักส่วนที่มีเมล็ดบัวอยู่ ทำให้ชุดแยกเมล็ดบัวซึ่งเป็นชุดที่อยู่ถัดไปทำ

การแยกได้ง่ายขึ้น ระยะที่ตัดฐานฝักและก้านบัวออก คือ ความยาวสูงสุดของเมล็ดบัว เพื่อที่เมล็ดจะได้ไม่เสียหายจากการตัด ดังแสดงใน Figure 2



Figure 2 The seeds are arranged in a circle around the perimeter in the upper part of the pod.

จะมีโซ่ทำหน้าที่ลำเลียงฝักบัวเข้าไปสู่ชุดตัด ชุดตัดประกอบด้วยใบมีด 1 ใบ ขนาด กว้าง×ยาว คือ 90×310 mm ดังแสดงใน Figure 3 ความยาวของใบมีดขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักบัว เจาะรูกลมขนาด 25.4 mm สำหรับร้อยเฟลา ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 Hp เป็นต้นกำลัง



Figure 3 Schematic of blading unit.

2.3 การออกแบบชุดแยกเมล็ดบัว

ออกแบบลักษณะการแยกให้เป็นแบบตามแนวราบ ซึ่งเป็นการแยกแบบตามเมล็ด น่าจะลดความเสียหายที่เกิดกับเมล็ดบัว ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้น

ชุดแยกเมล็ดบัวประกอบด้วย ชุดแยกเมล็ดบัว 2 ชุด แต่ละชุดมีแปรงลวดกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 mm (4 inch) จำนวนชุดละ 9 อัน สวมในเฟลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm สลักกับแหวนรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm หนา 1 mm จำนวน 18 อัน ดังแสดงใน Figure 4 ระยะห่างระหว่างแปรงลวดทั้งสองคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดบัว ซึ่งชุดแยกเมล็ดบัวทั้งสองชุดจะหมุนในทิศทางสวนกันโดยหมุนลงด้านล่าง ใช้มอเตอร์ตัวเดียวกับชุดตัดเป็นต้นกำลัง



Figure 4 Schematic of separating unit.

2.4 การออกแบบระบบส่งกำลัง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.4.1 ชุดลำเลียง

ระบบส่งกำลังใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 1/4 Hp โดยส่งกำลังไปยังเกียร์ทดเพื่อลดความเร็วรอบ จากนั้นเกียร์ทดจะส่งกำลังต่อไปยังล้อสายพานของชุดลำเลียง และบนเฟลาเดียวกันมีเฟืองโซ่ซึ่งมีโซ่ลำเลียงคล้องอยู่ด้านบนทำให้เกิดแรงขับ โดยที่สายพานในชุดลำเลียงเป็นชนิดสายพานลิ้มร่อง B ทั้งหมด (ล้อสายพานร่องเดียว)

2.4.2 ชุดตัดและชุดแยก

ระบบส่งกำลังใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 1/2 Hp โดยส่งกำลังด้วยสายพานลำเลียงลิ้มร่อง B (ล้อสายพานร่องคู่) ไปยังเฟลาส่งกำลัง 2 ตัวของแปรงลวด แต่ละชุดอัตราทดแตกต่างกันไปตามขนาดล้อสายพาน จากนั้นเฟลาส่งกำลังของแปรงลวดจะส่งกำลังด้วยสายพานลิ้มร่อง B (ล้อสายพานร่องเดียว) ไปยังเฟลาส่งกำลังของใบมีด

2.5 ลักษณะการทำงานของเครื่อง

ผู้ปฏิบัติงานใส่ฝักบัวเข้าทางโซ่ลำเลียง ฝักบัวแก่เต็มที่จะมีลักษณะเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 102 mm ยาว 60 mm ฝักบัวจะเคลื่อนที่ไปตามชุดลำเลียงซึ่งมีที่หนีบก้านบัว แล้วเข้าสู่ชุดตัดเอง และเมื่อใบมีดตัดบริเวณฐานฝักบัวเหลือแต่ส่วนที่เป็นเมล็ดก็จะร่วงลงสู่ชุดแยกเมล็ดบัวที่รองรับอยู่ด้านล่าง ส่วนก้านที่ตัดทิ้งจะถูกลำเลียงและตกลงในภาชนะที่รองรับไว้ เมล็ดบัวร่วงลงมาสู่ชุดแยกเมล็ดบัวก็จะทำการแยกเมล็ดบัวเพื่อให้ได้เมล็ดบัวออกมาจากฝัก เมื่อประกอบส่วนต่างๆสมบูรณ์แล้ว ดังแสดงใน Figure 5



Figure 5 The completed Lotus Seed Separating machine.

3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฝักและเมล็ดบัว

นำฝักบัวหลวงพันธุ์สีชมพู และสีขาว (อายุประมาณ 3-4 month) อย่างละ 30 ฝัก มาชั่งน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝักบัว แล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางของฝักบัว (D) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อใช้กำหนดความยาวใบมีดชุดตัด จากนั้นแกะเมล็ดบัวออกมาจากฝัก วัดความยาวของแต่ละเมล็ด (l) ค่าที่ได้ใช้กำหนดความยาวระยะตัดฐานดอก และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัว (d) เพื่อใช้กำหนดระยะห่างระหว่างแปรงลวดในชุดแยกเมล็ด ดังแสดงใน Figure 6

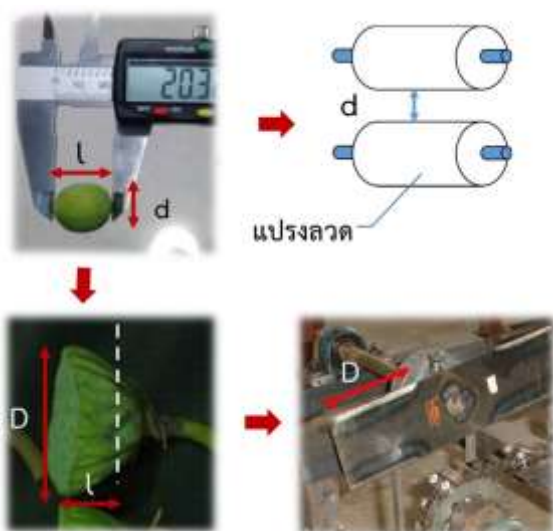


Figure 6 Schematic of the dimensional of lotus seed and pod with use categories.

คัดแยกระหว่างเมล็ดบัวดีและเมล็ดบัวเสียในแต่ละฝักของบัวพันธุ์สีชมพู ในงานวิจัยนี้ เมล็ดบัวดี คือ เมล็ดบัวที่มีเม็ดอุดมสมบูรณ์เต็มที่ เมล็ดมีลักษณะอวบอ้วนมีสีเขียว ส่วนเมล็ดบัวเสีย

คือ เมล็ดบัวมีลักษณะเมล็ดพองและกลวง หรือเมล็ดสีดำ ไม่มีเนื้ออยู่ในเมล็ด ดังแสดงใน Figure 7



Figure 7 The characteristics of matured and immature lotus seeds.

นำเมล็ดบัวดีและเมล็ดบัวเสียมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล เพื่อหาสัดส่วนน้ำหนักของเมล็ดดีต่อน้ำหนักฝักบัว จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำหนักของเมล็ดดีและจำนวนเมล็ดดี

3.2 การศึกษาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม

ฝักบัวที่ใช้ในการทดลองคือบัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู เป็นตัวแทนบัวที่ใช้เมล็ดเป็นอาหาร ทำการคัดขนาดฝักบัวที่จะป้อนเข้าสู่ชุดตัดควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 102 mm ตัดก้านให้มีความยาวรวมทั้งฝักและก้านประมาณ 20 cm

นำฝักบัวไปชั่งน้ำหนักก่อนทดลอง ป้อนฝักบัวเข้าสู่ชุดลำเลียงของเครื่องแยกเมล็ด ทำงานโดยได้รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1/4 Hp ความเร็วรอบ 1,440 rpm เปลี่ยนขนาดล้อสายพาน เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของชุดลำเลียงที่แตกต่างกัน 3 level คือ 24, 28 และ 36 rpm ความเร็วรอบใบมีดที่ชุดตัดให้คงที่เท่ากับ 720 rpm เปลี่ยนขนาดล้อสายพาน เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของชุดแยกที่แตกต่างกัน 3 level คือ 822, 960 และ 1152 rpm ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เริ่มจับเวลาที่ป้อนจากฝักแรกถึงฝักสุดท้ายที่ออกจากชุดแยก (t_1) เพื่อหาอัตราการทำงาน ดังนี้

$$\text{อัตราการทำงาน} = \frac{\text{น้ำหนักรวมทั้งหมด}}{t_1} \quad (1)$$

เริ่มจับเวลาที่ป้อนจากฝักแรกถึงฝักสุดท้ายที่อยู่บนโซ่ลำเลียง (t_2) เพื่อหาอัตราการลำเลียง ดังนี้

$$\text{อัตราการลำเลียง} = \frac{\text{น้ำหนักรวมทั้งหมด}}{t_2} \quad (2)$$

เมื่อฝักบัวถูกตัดฐานดอกออกแล้วจะมีลักษณะ ดังแสดงใน Figure 8



Figure 8 Lotus pods after blading.

ฝักบัวจะร่วงลงสู่ชุดแยกเมล็ดบัวจะได้ผลผลิตเมล็ดบัว นับจำนวนเมล็ดที่ได้จากการแยกเมล็ดบัว เพื่อหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้ และอัตราการแยกเมล็ด

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดดีที่แยกได้} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดดีในฝักบัว}} \quad (3)$$

$$\text{อัตราการแยกเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดดีที่แยกได้}}{t_1} \quad (4)$$

เปรียบเทียบอัตราการทำงานของเครื่องกับการแยกเมล็ดด้วยผู้ปฏิบัติการ ที่แยกเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยมือ

3.3 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

3.3.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ต้นทุนในการใช้เครื่องแยกเมล็ดบัวจากฝักนั้นประกอบด้วย (1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และ (2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่ (ต้นทุนคงที่) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้เครื่องจักร ประกอบด้วย ดอกเบี้ยจากการลงทุนสร้างเครื่องจักร และค่าเสื่อมราคา การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight-Line Depreciation) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะคำนวณง่าย

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องแบบเส้นตรง} (Bath \ year^{-1}) = \frac{P - L}{N} \quad (5)$$

โดย P = ราคาเครื่องแยก (=14,000 Baht)
 L = ราคาซากเครื่อง (= 0.1×P Baht)
 N = อายุการใช้งาน (= 10 year)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน} (Bath \ year^{-1}) = \frac{P + L}{2} \times \frac{i}{100} \quad (6)$$

โดย i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี (7.5 %)

$$FC = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน} \quad (7)$$

โดย FC = ต้นทุนคงที่รวม (Baht $year^{-1}$)

ค่าใช้จ่ายผันแปร (ต้นทุนผันแปร) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งานประกอบด้วยค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน และค่าน้ำประปา

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} (Bath \ year^{-1}) = \text{ราคาเครื่อง} \times \text{ค่าซ่อมแซม} \quad (8)$$

โดย อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว 10 year

ค่าซ่อมแซมประมาณ 120% ของราคาเครื่อง

ใน 1 year สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ดบัวได้ 3-4 เดือน (ทวีพงษ์, 2537) หยุดเสาร์-อาทิตย์ ดังนั้นทำงาน 60-80 day

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} (Bath \ year^{-1}) = \text{อัตราค่าจ้าง} \times \text{วันทำงาน} \quad (9)$$

โดย อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 310 Baht (ค่าแรงขั้นต่ำนครปฐม 1 มกราคม 2560 กระทรวงแรงงาน)
 แรงงานทำงาน 1 คน

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} (Bath \ year^{-1}) &= \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} \times \text{ค่าหน่วยไฟฟ้า} \\ &\times \text{วันทำงาน} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} (unit \ day^{-1}) &= \text{ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \end{aligned}$$

โดย ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.275 kW
 ใน 1 day ทำงาน 8 h
 ค่าหน่วยไฟฟ้า 3 Baht unit⁻¹

$$VC = \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} \quad (12)$$

โดย VC = ต้นทุนผันแปรรวม (Baht $year^{-1}$)

$$AC = FC + VC \quad (13)$$

โดย AC = ต้นทุนรวมทั้งหมด (Baht year⁻¹)

ต้นทุนการแยกเมล็ดด้วยเครื่อง (Baht kg⁻¹ของเมล็ดบัว)

$$\text{ต้นทุน} = \frac{AC}{\text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{อัตราการแยกเมล็ด}} \quad (14)$$

โดย ใน 1 year ทำงาน 640 h

3.3.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึง จุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง

$$BEP = \frac{FC}{p - vc} \quad (15)$$

โดย BEP = จุดคุ้มทุน (ton year⁻¹)

vc = ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (Baht year⁻¹)

p = ค่ารับจ้างเครื่องแยกเมล็ดบัว (Baht kg⁻¹)

3.3.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ เวลาที่ต้องการเพื่อให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$PBP = \frac{CF_0}{YCF} \quad (16)$$

$$YCF = R - AC \quad (17)$$

โดย CF_0 = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องแยก (Baht)

YCF = กำไร (Baht year⁻¹)

R = รายได้ (Baht year⁻¹)

AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการแยกเมล็ด (Baht)

ค่ารับจ้างเครื่องแยกเมล็ดบัวพิจารณาในช่วงเท่ากับ 5 – 25 Baht kg⁻¹ของเมล็ดบัว

3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

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

4 ผลและวิจารณ์

4.1 สมบัติทางกายภาพของฝักและเมล็ดบัวหลวง

บัวพันธุ์ดอกสีชมพูมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 78.6 ± 7.2 mm ความยาวฐานฝักบัวเฉลี่ย 40.2 ± 4.4 mm น้ำหนักทั้งฝักเฉลี่ย 39.9 ± 9.5 g น้ำหนักของเมล็ดที่คิดเป็นร้อยละ 49 ± 4.4 ของน้ำหนักฝักบัว เส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดบัวเฉลี่ย 13.4 ± 0.5 mm และยาว 17.5 ± 0.7 mm การแจกแจงความถี่ขนาดเมล็ดบัว ดังแสดงใน Figure 9

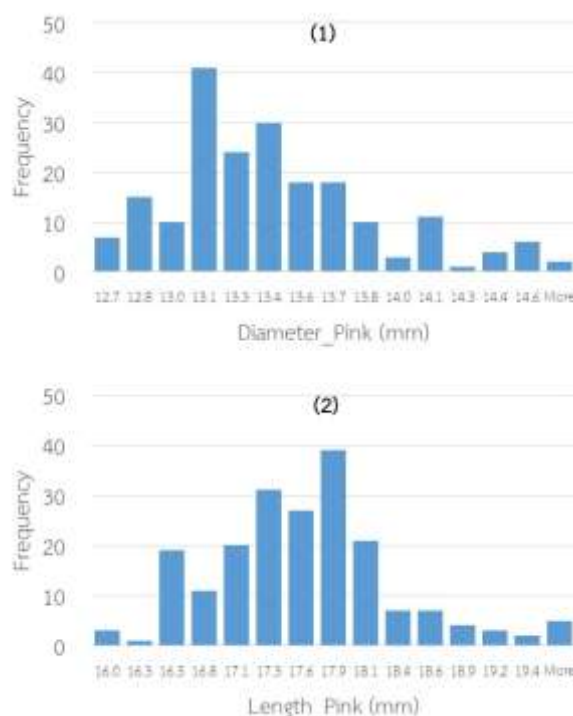


Figure 9 Dimension of matured seed frequency histogram for East Indian Lotus (1) diameter and (2) length.

บัวพันธุ์ดอกสีขาวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 101.9 ± 15.3 mm ความยาวฐานฝักบัวเฉลี่ย 43.1 ± 1.1 mm น้ำหนักทั้งฝักเฉลี่ย 66.6 ± 13.3 g น้ำหนักของเมล็ดที่คิดเป็นร้อยละ 56.2 ± 11 ของน้ำหนักฝักบัว ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกว้าง เนื่องจากขนาดฝักบัวแตกต่างกันมาก เส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดบัวเฉลี่ย 14.8 ± 0.8 mm และยาว 19.4 ± 1.1 mm การแจกแจงความถี่ขนาดเมล็ดบัว ดังแสดงใน Figure 10

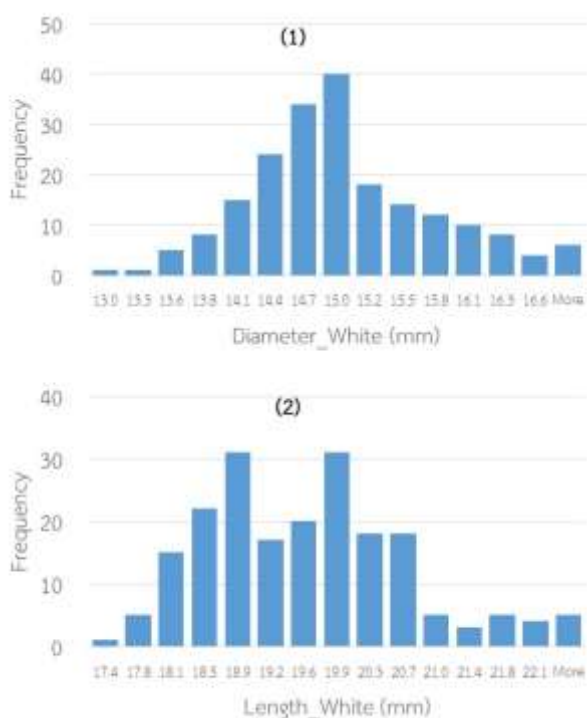


Figure 10 Dimension of matured seed frequency histogram for Hindu lotus (1) diameter and (2) length.

หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและจำนวนเมล็ดดีของบัวพันธุ์ดอกสีชมพู ดังแสดงใน Figure 11 ใช้ในกรณีที่หลังการทดลองแล้วเมล็ดบัวเสียหายจนไม่สามารถนับจำนวนได้

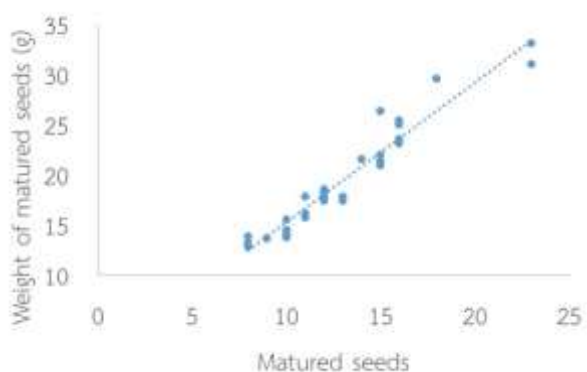


Figure 11 Relationship between weight and number of good seeds (East Indian Lotus).

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเมล็ดดีกับจำนวนเมล็ดดีสามารถแสดงโดยสมการต่อไปนี้

$$y = 1.3939x + 1.3393, \quad R^2 = 0.9339 \quad (18)$$

โดย y = น้ำหนักของเมล็ดดี (g)
 x = จำนวนเมล็ดดี

4.2 ผลทดลองการทำงาน

จากผลการทดลองแยกเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยเครื่องความเร็วรอบชุดลำเลียง 24, 28 และ 36 rpm ใช้ความเร็วรอบใบมีดตัดคงที่ 720 rpm และใช้ความเร็วรอบชุดแยกเมล็ดที่แตกต่างกัน 3 level คือ 822, 960 และ 1152 rpm ผลของความเร็วรอบชุดลำเลียงและความเร็วรอบชุดแยกเมล็ดที่มีผลต่อการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบทำการวัดอัตราการลำเลียงหลังผ่านการบ่อนฝักบัวเข้าเครื่องแยกเมล็ดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 พบว่า อัตราการลำเลียงแปรผันตามความเร็วรอบชุดลำเลียง ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 36 rpm มีอัตราการบ่อนสูงสุด $66.3 \pm 5.1 \text{ kg h}^{-1}$ และที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 24 และ 28 rpm มีอัตราการลำเลียงไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 1 Conveying rate (kg h^{-1}).

Conveyor speed (rpm)	Brush units speed (rpm)			
	822	960	1152	avg
24	40.4 ± 2.3 Ab	34.9 ± 1.5 Ab	38.6 ± 2 Ab	38 ± 2.8
28	44.4 ± 5.1 Ab	39 ± 4.1 Ab	43.6 ± 3.9 Ab	42.3 ± 2.9
36	60.1 ± 3.9 Aa	63.4 ± 6.5 Aa	66.3 ± 5.1 Aa	63.3 ± 3.1

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบทำการวัดอัตราการทำงานหลังผ่านการแยกเมล็ดด้วยเครื่องที่แต่ละระดับการทดลองต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 36 rpm และความเร็วรอบชุดแยกเมล็ด 1152 rpm มีอัตราการทำงานสูงสุดคือ $34.3 \pm 0.5 \text{ kg h}^{-1}$ ซึ่งมากกว่า 2 เท่า ของการทดลองซึ่งมีอัตราการทำงานต่ำสุด (ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 24 rpm และความเร็วรอบชุดแยกเมล็ด 822 rpm) อย่างไรก็ตาม อัตราการทำงานต่ำสุดของเครื่อง ($18.1 \pm 2.8 \text{ kg h}^{-1}$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การแยกเมล็ดด้วยผู้ปฏิบัติการ ($3.9 \pm 0.3 \text{ kg h}^{-1}$) จะมีอัตราการทำงานสูงกว่า 4 เท่า

Table 2 Working capacity (kg h^{-1}).

Conveyor speed (rpm)	Brush units speed (rpm)		
	822	960	1152
24	18.1 ± 2.8 ^{Bb}	17.2 ± 2.3 ^{Bb}	25.6 ± 1.9 ^{Ab}
28	20.7 ± 3.1 ^{Bb}	20.7 ± 1.8 ^{Bb}	26.2 ± 0.4 ^{Ab}
36	24.8 ± 5.3 ^{Ba}	30.6 ± 3.5 ^{Ba}	34.3 ± 0.5 ^{Aa}

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan ($p \leq 0.05$)

ในการวัดเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้ ดังแสดงใน Table 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้จะลดลงเมื่อความเร็วรอบชุดแยกเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 24 rpm และความเร็วรอบชุดแยก 822 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ต่ำสุด มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้มากที่สุด 61.4 ± 11.4 แต่กลับมีอัตราการทำงานต่ำเพียง $18.1 \pm 2.8 \text{ kg h}^{-1}$

Table 3 The percentage of separated seeds (%).

Conveyor speed (rpm)	Brush units speed (rpm)		
	822	960	1152
24	61.4 ± 11.4^{Aa}	55.2 ± 8^{Ba}	53.4 ± 9.9^{Ba}
28	59.5 ± 9.16^{Aa}	52.8 ± 10.1^{Ba}	51.5 ± 6^{Ba}
36	58.8 ± 10.5^{Aa}	50.2 ± 8.4^{Ba}	47.5 ± 10^{Ba}

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan ($p \leq 0.05$)

อัตราการแยกเมล็ดดีได้ สอดคล้องกับอัตราการทำงานดังแสดงใน Table 4

Table 4 Separating capacity (kg h^{-1}).

Conveyor speed (rpm)	Brush units speed (rpm)		
	822	960	1152
24	3.4 ± 0.5^{Bb}	3.2 ± 0.4^{Bb}	4.8 ± 0.4^{Ab}
28	3.9 ± 0.6^{Bb}	4.0 ± 0.3^{Bb}	4.9 ± 0.1^{Ab}
36	4.6 ± 1.0^{Ba}	5.7 ± 0.7^{Ba}	6.4 ± 0.1^{Aa}

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan ($p \leq 0.05$)

หลังการทดสอบ พบว่า เมล็ดบัวดีที่ไม่สามารถแยกออกจากฝักได้นั้น ไม่มีความเสียหายใดๆ ที่เกิดจากการทำงานของเครื่องในทุกๆ เงื่อนไข ดังแสดงใน Figure 12 ดังนั้น จึงสามารถนำฝักบัวเหล่านี้ มาผ่านการแยกอีกครั้งได้ โดยส่งเข้าสู่ชุดแยกโดยตรง



Figure 12 Lotus pods and seeds after separating.

4.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

หลังจากได้ทดสอบการทำงานของเครื่องแยกเมล็ดบัวออกจากฝักแล้ว ในขั้นตอนต่อไป ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม กำหนดให้ต้นทุนในการสร้างต้นแบบมีราคา 14,000 Baht อายุการใช้งานของเครื่อง พิจารณาที่ 10 year ค่าเสื่อมราคาของเครื่องแยกเมล็ดบัว $1,260 \text{ Baht year}^{-1}$ อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7.5 % คิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) เท่ากับ $1,837.5 \text{ Baht year}^{-1}$ จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน พิจารณาการทำงานเป็น 2 กรณี คือ (1) เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้สูงสุด สามารถแยกเมล็ดดีได้เฉลี่ย 3.4 kg h^{-1} และ (2) อัตราการทำงานสูงสุด สามารถแยกเมล็ดดีได้เฉลี่ย 6.4 kg h^{-1} มีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย 0.275 kW h^{-1} โดยพิจารณาใช้เครื่องทำงานวันละ 8 h ปีละ 80 day อัตราการรับจ้างพิจารณาจากค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ $310 \text{ Baht day}^{-1}$ หรือเท่ากับ $24,800 \text{ Baht year}^{-1}$ และค่าไฟฟ้า $528 \text{ Baht year}^{-1}$ คิดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร (VC) $25,696 \text{ Baht year}^{-1}$ ดังนั้นต้นทุนรวมของเครื่องทั้งหมด (AC) $27,533.5 \text{ Baht year}^{-1}$ เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุนพบว่า ในกรณี (1) ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยเท่ากับ $11.8 \text{ Baht kg}^{-1}$ ของเมล็ดบัว และในกรณี (2) เท่ากับ $6.27 \text{ Baht kg}^{-1}$ ของเมล็ดบัว กำหนดให้ค่ารับจ้างเครื่องแยกเมล็ดบัวเท่ากับ 5 – 25 Baht kg^{-1} จะได้จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน ดังแสดงใน Figure 13

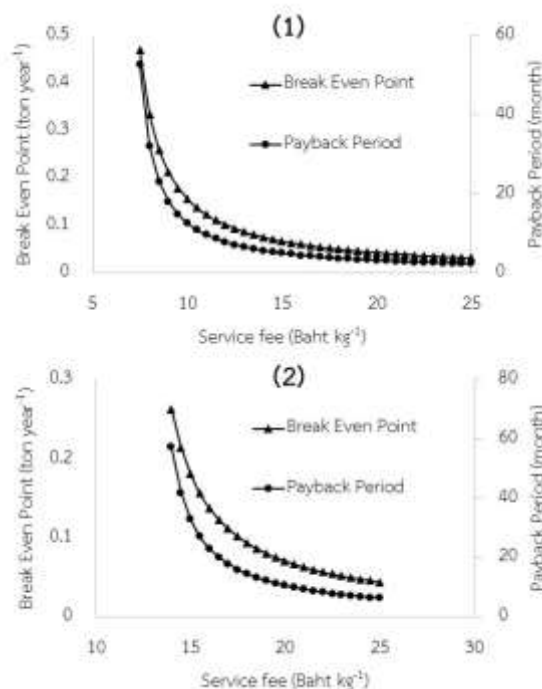


Figure 13 Break even point and payback period.

ผลการวิเคราะห์พบว่า ถ้าพิจารณาการทำงานกรณี (1) เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้สูงสุด ถ้าคิดค่ารับจ้าง 25 Baht kg^{-1} ของเมล็ดบัว จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 month ซึ่งไม่สามารถคืนทุนได้ใน 1 รอบการเก็บเกี่ยว และแพงกว่าค่าจ้าง

แรงงานแยกเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยมือ เมื่อพิจารณาเลือก (2) อัตราการทำงานสูงสุด มีต้นทุนเท่ากับ 6.72 Baht kg⁻¹ของเมล็ดบัว ถ้าคิดค่าจ้าง 17 Baht kg⁻¹ของเมล็ดบัว จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4 month จุดคุ้มทุนในหนึ่งปี เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักเมล็ดบัวที่แยกได้ประมาณ 0.1 ton year⁻¹

5 สรุป

จากผลการทดลองที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 24 rpm และความเร็วรอบชุดแยก 822 rpm มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้สูงสุด แต่มีอัตราการทำงานน้อยกว่าเงื่อนไขที่มีอัตราการทำงานสูงสุดถึง 2 เท่า และจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า เงื่อนไขนี้ไม่สามารถคืนทุนได้ใน 1 รอบการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 36 rpm และ ความเร็วรอบชุดแยกเมล็ด 1152 rpm ซึ่งเป็นเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมที่สุด และมีอัตราการทำงานสูงสุด คือ 34.3±0.5 kg h⁻¹ เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 year ใช้เครื่องแยกเมล็ดบัวหลังทำงาน 640 hr มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 27,533.5 Baht year⁻¹ ระยะเวลาคืนทุน 4 month และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 0.1 ton เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงาน พบว่า เครื่องแยกเมล็ดมีอัตราการทำงานสูงกว่า 8 เท่า แม้ว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่แยกได้จะสูงเพียง 47.5-61.4 % แต่เนื่องจากเมล็ดบัวที่ผ่านการแยกด้วยเครื่องไม่ปรากฏความเสียหาย ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกเมล็ดด้วยเครื่อง จึงควรแยกซ้ำ 2 รอบ ซึ่งเครื่องแยกเมล็ดบัวนี้สามารถที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไป

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2552 รหัสโครงการ วศ.กพส. 9/2552

7 เอกสารอ้างอิง

คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2537. การทำนาบัว. แหล่งข้อมูล : <https://www.jobpub.com/articles/showarticle.asp?id=45>. เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2552.

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร และ ภูรินทร์ อัครกุลธร. 2558. การศึกษาและทดสอบเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง. เกษตร. 43 (1): 161-170.

ทวีพงศ์ สุวรรณโร และ พัฒนา นรมาศ. 2537. การทำนาบัว. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เที่ยง เล็กสิงห์โต และ บุญธรรม บัวคลี. 2532. การทำนาบัว. อักษรบัณฑิต, กรุงเทพฯ. 31 น.

ไทยอาชีพ. 2560. ปลุกบัวเพื่อขายฝักสด สร้างรายได้อย่างงาม. แหล่งข้อมูล: <http://www.thaiarcheep.com/>. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2560.

เพทาย ศรีสุดโต, ปวริศ พิมพ์เรียน, ทิพากร อับมาเก, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และ ภูรินทร์ อัครกุลธร. 2552. ออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง. การประชุมวิชาการโครงการวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2552 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 6 กุมภาพันธ์ 2552 จังหวัดเชียงใหม่.

เมดไท. 2560. บัวหลวง. แหล่งข้อมูล: <https://medthai.com/%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%A7%E0%B8%87/>. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2560.

สมเกียรติ อิงค์พรสิน และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2527. ปัญหาพิเศษ (เครื่องกระเทาะเปลือกเมล็ดบัว). ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 38 น.

สุจิต เมืองสุข. 2559. รายงานพิเศษบึงกาฬ. หนังสือพิมพ์ข่าวสด. แหล่งข้อมูล : https://www.khaosod.co.th/view_newsonline.php?newsid=1462168790. เข้าถึงเมื่อ 2 พฤษภาคม 2559.

สำนักพัฒนาเกษตรกร กรมส่งเสริมการเกษตร. 2560. สถานการณ์การผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <http://www.farmdev.doae.go.th/>. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2560.

Lnwshop. 2560. เม็ดบัวสด. แหล่งข้อมูล: <http://lotus-everything.lnwshop.com/product/6/เม็ดบัวสด>. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2560.