

การพัฒนาและทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

Development and Testing of Lotus Seeds Peeling Machine

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์*, สุนัน ปานสาคร, รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, มาสสุภา โพธิ์รอด

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Jaturong Langkapin*, Sunan Parnsakhorn, Roongruang Kalsirisilp, and Massupha Prorod

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of

Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding author Email: jaturong.l@en.rmutt.ac.th

(Received: December 14, 2020; Accepted: March 26, 2021)

บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้สนับสนุนให้ปลูกบัวหลวงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซึ่งไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ เมล็ดบัวหลวงเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นสินค้าโอท็อปของจังหวัดที่มีการทำนาบัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการออกแบบและสร้างเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงเพื่อลดเวลาและแรงงานในการแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงสดของเกษตรกร เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดใบมีดกรีด กลไกสก็อตโยค ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 90 w เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนเมล็ดบัวหลวงลงในช่องป้อนทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดใบมีดกรีดโดยการเคลื่อนที่ของกลไกสก็อตโยค ซึ่งชุดใบมีดกรีดทำหน้าที่กรีดตัดเปลือกตามแนวเส้นรอบวงของเมล็ดบัวหลวงและปล่อยให้เมล็ดบัวหลวงร่วงสู่ช่องทางออกทางด้านล่างของเครื่อง จากการทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 6, 7 และ 8 เมตรต่อนาที ตามลำดับ พบว่าเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีด 7 m/min มีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 79% เมล็ดบัวไม่มีความเสียหาย มีความสามารถในการทำงาน 3.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.06 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่อใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 12.2 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 3.4 เดือน จุดคุ้มทุน 102.4 ชั่วโมงต่อปี และเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคนอย่างน้อย 2 เท่า

คำสำคัญ: การศึกษาและทดสอบ เครื่องแกะ เมล็ดบัวหลวง บัวหลวง

ABSTRACT

Growing lotus has been promoted in Thailand particularly in flooded areas where other plants cannot be grown. Lotus seeds can be processed as OTOP product of the provinces with lotus planting areas. This research attempted to design and fabricate a prototype lotus seed shell peeling machine to minimize the time and labor requirement in the fresh lotus seed shell removal. This prototype peeler consists of the main frame, cutting blade unit, Scotch Yoke mechanism, the power transmission unit and a prime mover by 90w-gear-motor. The operation started with manually feeding

lotus seeds into chute at the top of machine. Then they were conveyed to blade unit to cut lotus peel in diametrical axis by Scotch Yoke mechanism, and finally seeds were released through outlet chute at the bottom. The results revealed that the average speed of blade 7 m/min worked well among the average speed of blades 6, 7 and 8 m/min respectively. The peeling percentage was 79% without any seed damage with working capacity of 3.6 kg/hr consuming 0.06 kW-hr of energy. An engineering economic analysis showed that it cost an average of THB 12.2 per kilogram at 1,440 hours per year with 3.4-month payback and 102.4 hours per year for break-even point. This prototype can work at least twice as fast as human labor.

Keyword: study and testing, peeling machine, lotus seed, lotus.

1. บทนำ

ต้นบัวหลวงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่ เหง้า ไหล ใบ ก้าน ดอก เมล็ด ตีบัว และเกสร อาจจะใช้ทำอาหาร เครื่องนุ่งห่ม หรือยารักษาโรค ซึ่งแต่ละส่วนของต้นบัวหลวงมีสรรพคุณแตกต่างกันไป เมล็ดบัวคือส่วนที่อยู่ในฝักบัว มีลักษณะกลมรี เนื้อในสีขาวอมเหลือง เมล็ดสดมีวิตามินซีสูง ส่วนเมล็ดแห้งมีส่วนประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรตกว่าร้อยละ 60 มีโปรตีนสูง นอกจากนั้นยังมีฟอสฟอรัส เหล็ก และมีแคลเซียมสูง ในตำราแพทย์แผนจีน เมล็ดบัวมีฤทธิ์เป็นกลาง ช่วยบำรุงเลือด บำรุงหัวใจ รวมถึงช่วยภายในร่างกาย ช่วยบำรุงข้อ [1], [2] และจากการศึกษายังพบว่าเมล็ดบัวมีสารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟาโวนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านสเตียรอยด์ สารต้านมะเร็ง สารต้านไวรัส และสารซาโปนินส์ฟีนอลิก [3]-[6] เนื่องจากบัวหลวงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ปัจจุบันเกษตรกรจำนวนมากในหลายจังหวัดได้เปลี่ยนมายึดการปลูกบัวหลวงเป็นอาชีพหลัก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ [7] อีกทั้งผลผลิตทั้งในรูปดอกตูมและเมล็ดยังเป็นที่ต้องการของทั้งในและต่างประเทศ [8]

นอกจากนั้นเมล็ดบัวหลวงแปรรูปยังเป็นสินค้าโอท็อปของหลายจังหวัดที่มีการทำบัว เช่น วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ผลิต “เมล็ดบัวอบ

กรอบ” บรรจุกล่องพลาสติกและตีบัวแคปซูลจำหน่าย ซึ่งมียอดขายเฉลี่ยแต่ละปีกว่า 1.2 ล้านบาท [9]



ก) การใช้มีดกรีดรอบเมล็ดบัว



ข) การใช้มือแกะเปลือกออก

รูปที่ 1 การแกะเมล็ดบัวหลวงด้วยแรงงานคน [10]

สำหรับขั้นตอนการเก็บเมล็ดบัวหลวงสดเพื่อแปรรูปในปัจจุบัน เกษตรกรจะเก็บฝักบัวแล้วนำมาแกะเอาเมล็ดออกจากฝัก จากนั้นใช้มีดกรีดรอบเมล็ดบัว แล้วใช้มือแกะเปลือกออก (รูปที่ 1) ลอกเยื่อและแท่งตีบัวออกเตรียมที่จะแปรรูปต่อไป จะเห็นว่าขั้นตอนการแกะเอาเปลือกออกยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก ใช้เวลาในการแกะสูง และเสี่ยงต่อการถูกมีดบาด ส่วนเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่มีใช้ในประเทศต่าง เช่นในประเทศจีนนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้แกะเมล็ดบัวพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเนื่องจากเมล็ดบัวมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดที่ควรนำมาพัฒนาต่อไป เช่น เครื่องมีขนาดใหญ่ อัตราการทำงานค่อนข้างต่ำ [10], [11] ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยเพื่อ

พัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและมีขนาดกะทัดรัด

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

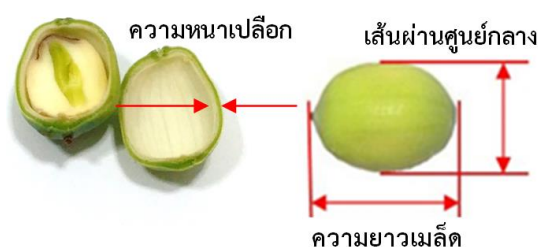
ก) ศึกษาปัญหาในขั้นตอนการแกะเมล็ดบัวหลวงในปัจจุบัน

การศึกษาในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบข้อมูลและปัญหาการแกะเมล็ดบัวหลวงของเกษตรกร รวมทั้งหาข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยการสัมภาษณ์วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีสหกรณ์บึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร พบว่า แรงงานในกระบวนการผลิตมาจากแรงงานของกลุ่มสหกรณ์ในชุมชน ซึ่งมีสมาชิกประมาณ 30 คน วัตถุประสงค์มาจากแหล่งปลูกในท้องถิ่น บางช่วงในกรณีตลาดมีความต้องการสูงจะหาวัตถุดิบเพิ่มจากแหล่งอื่นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ มีกำลังผลิตเมล็ดบัวอบกรอบโดยเฉลี่ย 1,000 กิโลกรัมต่อเดือน ปกติจะทำการผลิตต่อเนื่องทุกวัน ค่าแรงงานประมาณ 300-350 บาทต่อวัน ปัญหาในกระบวนการผลิตที่พบ คือ เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้แรงงานคนเป็นหลัก ในช่วงที่ต้องการผลผลิตสูงแรงงานในการผลิตไม่เพียงพอ การทำงานมีความเหนื่อยยากและไม่ปลอดภัย เช่น อุบัติเหตุจากมีดแกะเปลือกบาดมือ นอกจากนั้นยังขาดแคลนเครื่องจักรสำหรับช่วยในการผลิต เช่น เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง เครื่องทอดอัตโนมัติ เป็นต้น รวมทั้งต้องการพัฒนารูปแบบของบรรจุภัณฑ์ให้น่าสนใจมากขึ้น [10]

ข) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในหัวข้อนี้เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวงสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดใบมีดและการปรับตั้งต่างๆ ที่จำเป็นในการออกแบบเครื่อง ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวของเมล็ดบัวหลวง และความหนาของเปลือกเมล็ดบัวหลวง ดังรูปที่ 2 จากการศึกษาโดยสุ่มวัดเมล็ดบัวหลวงจำนวน 100 เมล็ด ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (ยี่ห้อ

Mitutoyo รุ่น 530-118 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น) พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัวหลวงมีค่าระหว่าง 13-15 mm มีค่าเฉลี่ย 14.6 ± 0.6 mm ความยาวมีค่าระหว่าง 20-22 mm มีค่าเฉลี่ย 21.3 ± 0.8 mm และความหนาของเปลือกมีค่าระหว่าง 0.9-1.2 mm มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.2 mm ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเมล็ดบัวหลวงได้ถูกนำไปใช้ออกแบบความกว้างและความสูงของช่องป้อนเมล็ดบัวหลวงของชุดใบมีดกรีด ส่วนความหนาของเปลือกใช้กำหนดความลึกในการตัดของใบมีดกรีด [10]



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

ค) การศึกษากลไกที่เหมาะสมสำหรับการแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวง

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงที่ไม่ทำให้เมล็ดบัวเสียหาย โดยการสร้างชุดทดสอบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดใบมีดกรีด กลไกสก็อตช์โยค (Scotch Yoke) และระบบส่งกำลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 แรงม้า เป็นต้นกำลัง จากการทดสอบพบว่าหลักการนี้ไม่ทำให้เมล็ดบัวเสียหาย สามารถป้อนเมล็ดให้เครื่องแกะทำงานได้อย่างเนื่อง ความเร็วเฉลี่ยของชุดมีดกรีดที่ทำงานได้ระหว่าง 7.5- 9.5 m/min มีความสามารถในการทำงาน 2 kg/hr และมีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 79% [10] จึงได้นำหลักการของเครื่องนี้ไปออกแบบเครื่องที่ต้องการจะพัฒนาต่อไป

2.2 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

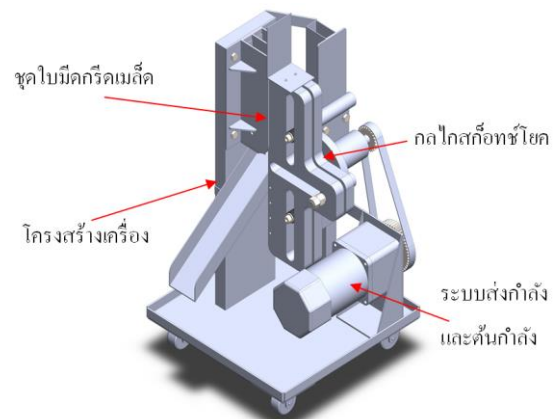
เครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบตามหัวข้อข้างต้นและมีเกณฑ์ในการออกแบบ ดังต่อไปนี้

- แกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงสำหรับบัวพันธุ์ที่นิยมปลูกภายในประเทศ
- กลไกการทำงานของเครื่องไม่ซับซ้อนมากเกินไป ผู้ปฏิบัติงานสามารถปฏิบัติได้สะดวก และมีความปลอดภัย
- โรงงานเครื่องจักรกลเกษตรทั่วไปสามารถนำไปผลิตได้ และซ่อมแซมบำรุงรักษาง่าย
- ชิ้นส่วนมาตรฐานหากชำรุด สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย และมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด
- ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน

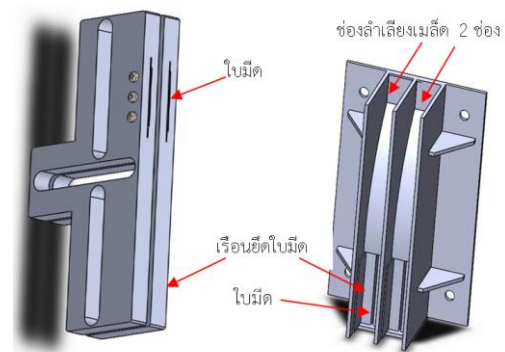
นอกจากนั้นยังได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกลและเครื่องจักรกลเกษตร [12], [13] รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ [14] ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังรูปที่ 3 (ก) ประกอบด้วย โครงสร้างหลัก ชุดใบมีดกรีดเมล็ด กลไกสก๊อตทโยค (Scotch Yoke) ระบบส่งกำลัง และมอเตอร์เกียร์เป็นต้นกำลัง มีรายละเอียด ดังนี้

1) โครงสร้างเครื่อง สร้างจากสเตนเลสเชื่อมประกอบกันขนาด 346x346x520 mm (กว้างxยาวxสูง) ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ โดยอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องต้นแบบจะถูกยึดประกอบเข้ากับโครงสร้างด้วยนอตและสกรูจำนวนหนึ่ง

2) ชุดใบมีดกรีดเมล็ด ทำหน้าที่กรีดเปลือกโดยรอบเมล็ดบัวหลวง ประกอบด้วยใบมีด 2 ชุด ใบมีดชุดแรกยึดอยู่กับที่ในเรือนใบมีดที่ติดตั้งกับโครงสร้างเครื่อง ส่วนใบมีดชุดที่ 2 จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และถูกยึดติดกับกลไกสก๊อตทโยค โดยเรือนยึดใบมีดทำจากแผ่นชุบเปอร์สีนในลอนที่มีการเจาะรูตรงกลางเพื่อติดตั้งใบมีด และเป็นช่องสำหรับให้เมล็ดบัวหลวงกลิ้ง ซึ่งขนาดที่ได้ออกแบบไว้จะเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดของ



ก) แบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมด้าน CAD



ข) ส่วนประกอบของชุดใบมีดกรีดเมล็ด



ค) เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

รูปที่ 3 แบบและเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

เมล็ดบัวหลวงเพื่อให้สามารถใช้กับเมล็ดบัวได้ทุกขนาด ด้านบนของชุดใบมีดจะมีช่องป้อนเมล็ดจำนวน 2 ช่องทำจากแผ่นสแตนเลส และมีแผ่นรองในช่องลำเลียงเพิ่มความลาดเอียงเพื่อให้เมล็ดบัวนั้นได้ไหลลงชุดใบมีดกรีดโดยไม่ติดขัดดังรูปที่ 3 (ข)

สำหรับการเปลี่ยนใบมีดกรีดเมล็ดชุดแรกที่ยึดติดกับเรือนใบมีดนั้นต้องถอดเรือนใบมีดออกจากโครงสร้างเครื่องก่อนจึงจะทำการเปลี่ยนใบมีดได้ และสามารถเปลี่ยนใบมีดกรีดเมล็ดชุดที่สองไปพร้อมกับชุดแรกโดยไม่ต้องถอดกลไกสกรูทโยคออกจากโครงสร้างเครื่อง

3) กลไกควบคุมการทำงานสกรูทโยค ถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลง โดยในจังหวะเคลื่อนที่ขึ้นจะดันและเรียงเมล็ดบัวให้เข้าสู่ช่องป้อนที่ละเมล็ด ส่วนในจังหวะลงจะกรีดเปลือกและพาเมล็ดบัวกลิ้งเข้าไปแกะเปลือกในชุดใบมีดกรีด กลไกสกรูทโยคทำจากแผ่นชุบเปอร์ลินไนลอน โดยระยะการเคลื่อนที่ของกลไกจะมากกว่าความยาวของเส้นรอบวงของเมล็ดบัวหลวงที่โตที่สุดเพื่อให้เมล็ดบัวกลิ้งกรีดกับใบมีดได้รอบเมล็ด

4) ระบบส่งกำลังและต้นกำลัง การส่งกำลังไปยังส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ จะใช้ล้อฟันและสายพาน เนื่องจากออกแบบง่าย ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน และหาซื้อง่าย ใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 90 w (10) เป็นต้นกำลัง

หลักการทำงานของเครื่องเริ่มจากการป้อนเมล็ดบัวหลวงลงในช่องป้อนเมล็ดทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดใบมีดกรีดโดยการเคลื่อนที่ของกลไกสกรูทโยค ซึ่งใบมีดที่ติดกับเรือนใบมีดและกลไกสกรูทโยคจะทำหน้าที่กรีดตัดเปลือกตามแนวเส้นรอบวงของเมล็ดบัวหลวง และปล่อยให้เมล็ดบัวหลวงร่วงสู่ช่องทางออกทางด้านล่างของเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 3(ค) และปัจจุบันเครื่องต้นแบบได้รับการจดอนุสิทธิบัตรจากกรมทรัพย์สินทางปัญญาเรียบร้อยแล้ว (เลขที่อนุสิทธิบัตร 14104)

2.3 ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

หลังจากที่เครื่องต้นแบบได้ถูกปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องแล้ว จึงได้ทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่อง รวมทั้งหาคุณภาพในการแกะเมล็ดบัวหลวงโดยค่าชี้ผลการศึกษาที่ใช้ คือ เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัว เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด ความสามารถในการทำงาน และการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัวหลวง คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$C_t = \frac{W_1}{W} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_t = เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัว (%)

W_1 = น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงที่แกะเปลือกได้ (kg)

W = น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงทั้งหมด (kg)

2. เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$D_g = \frac{W_2}{W} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ D_g = เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด (%)

W_2 = น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงที่เสียหาย (kg)

3. ความสามารถในการทำงาน คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$C_a = \frac{W_1}{T} \quad (3)$$

เมื่อ C_a = ความสามารถในการทำงานจริง (kg/hr)

T = เวลาในการทำงานทั้งหมด (hr)

4. การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$P = \frac{IVt}{1000} \quad (4)$$

เมื่อ P = การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

t = เวลา (ชั่วโมง)

ตลอดการทดสอบใช้เมล็ดบัวหลวงปทุมที่ผ่านการคัดขนาดด้วยแรงงานคน เส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัวหลวงมีค่าระหว่าง 12.25-15.5 mm มีค่าเฉลี่ย 14.6 ± 0.5 mm ความยาวมีค่าระหว่าง 19.8-22 mm มีค่าเฉลี่ย 21.6 ± 0.65 mm และความหนาของเปลือกมีค่าระหว่าง 0.9-1.2 mm มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.13 mm (สุ่มวัด 50 เมล็ด) จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมื่อเดินเครื่องที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ยึดติดกับกลไกสกรูทโยมากกว่า 8 เมตรต่อนาที ชุดใบมีดจะเคลื่อนที่เร็วเกินไปไม่สามารถทำให้เมล็ดบัวหลวงหมุนกลิ้งในเรือนใบมีดเพื่อให้เปลือกถูกตัดเฉือนครบรอบตามเส้นรอบวงได้ ดังนั้นจึงเลือกทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 6, 7 และ 8 เมตรต่อนาที ตามลำดับ และใช้ใบมีด 2 แบบ คือ ใบมีดคัตเตอร์ (มีดที่เกษตรกรนิยมใช้แกะเปลือกเมล็ดบัวในปัจจุบัน) และ ใบมีดสเตนเลส (ใบมีดที่มีจำหน่ายทั่วไป) โดยแต่ละการทดลองใช้เมล็ดบัวหลวง 0.5 kg (จำนวนเมล็ดระหว่าง 65-80 เมล็ด ขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ดบัว) และป้อนเมล็ดบัวทั้งหมดลงในถังป้อนครั้งเดียวทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ โดยแต่ละการทดสอบบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด น้ำหนักเมล็ดบัวที่แกะได้น้ำหนักเมล็ดบัวที่แกะไม่ได้ น้ำหนักเมล็ดบัวที่เสียหาย กระแสไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้า หลังจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95 % (One-way Analysis of Variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

2.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ก) การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนผันแปร (Variable Cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10 %) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการแกะเมล็ดบัวหลวง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์จะไม่คิดต้นทุนคงที่เกี่ยวกับค่าประกันภัย ค่าภาษี ค่าโรงเรือน และค่าจ้างขนย้ายเครื่องไปทำงานตามสถานที่ต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการแกะเมล็ดบัวหลวง ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับเครื่อง ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาและค่าซ่อมแซม เป็นต้น [15]

ข) การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-Back Period)

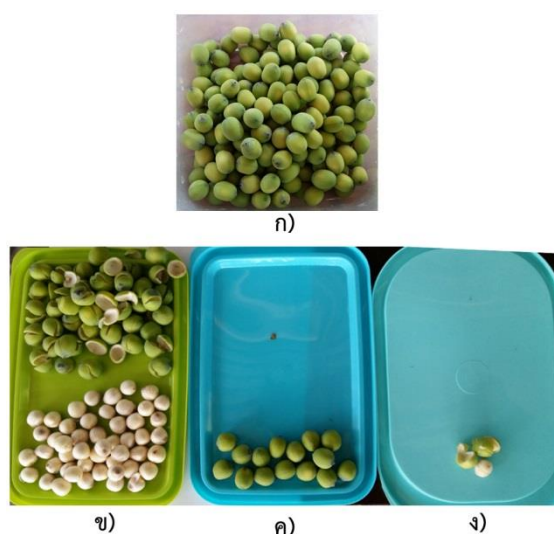
เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะเวลากี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง 5 ปี [15]

ค) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Point)

เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการแกะเมล็ดบัวหลวงจากการใช้เครื่องต้นแบบและการแกะเมล็ดบัวหลวงด้วยแรงงานคน [15]

3. ผลการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงได้ใช้เมล็ดบัวหลวงสดดังรูปที่ 4 (ก) หลังจากการทดสอบแล้วจะได้เมล็ดบัวหลวงที่ถูกชุดใบมีดกรีดเปลือกโดยรอบเมล็ด ดังรูปที่ 4 (ข) ผู้ควบคุมเครื่องสามารถที่จะใช้มือดึงเมล็ดในออกจากเปลือกได้โดยง่าย ซึ่งเมล็ดในของบัวหลวงที่ได้พร้อมที่จะนำไปแปรรูปผลิตเป็นเมล็ดบัวอบกรอบต่อไป สำหรับรูปที่ 4 (ค) คือเมล็ดบัวที่เครื่องไม่สามารถจะแกะเปลือกออกได้เนื่องจากเมล็ดมีขนาดเล็กกว่าเมล็ดบัวส่วนใหญ่ที่แกะเปลือกออกได้ ซึ่งการจะแกะเมล็ดบัวกลุ่มนี้ต้องทำการปรับตั้งระยะของใบมีดใหม่ ส่วนรูปที่ 4 (ง) คือเมล็ดบัวหลวงที่เสียหายจากการทดสอบ ซึ่งเมล็ดบัวที่เสียหายจากการทดสอบนี้พิจารณาจากเมล็ดบัวที่มีรอยแตกเสียหายทุกๆ แบบจากเมล็ดเต็ม



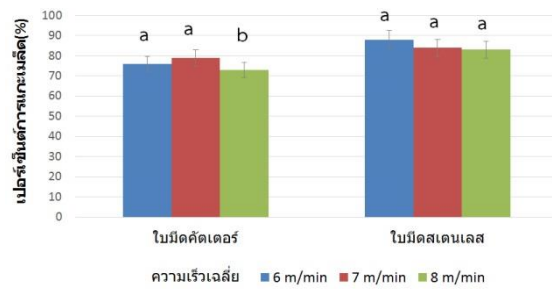
รูปที่ 4 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง: ก) เมล็ดบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ ข) เมล็ดบัวหลวงที่ได้จากการทดสอบ ค) เมล็ดบัวหลวงที่แกะไม่ได้ และ ง) เมล็ดบัวหลวงที่เสียหาย

ผลการทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ชนิดของใบมีดและความเร็วเฉลี่ยของชุดมีดใบมีดต่างๆ จะนำเสนอตามคำชี้แจงการศึกษา ดังนี้

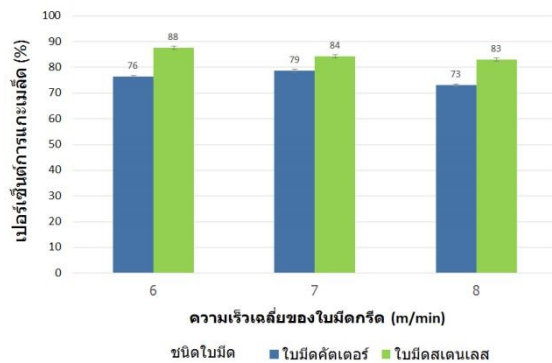
3.1 เปรี่เซนต์การแกะเมล็ด

จากการทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ชนิดของใบมีดและที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถแกะเมล็ดบัวหลวงได้ระหว่าง 73-88% จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ใบมีดคัตเตอร์ของแต่ละกลุ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบ แต่เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบโดยใบมีดสแตนเลสของแต่ละกลุ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 5 ซึ่งผลการทดสอบโดยใช้ใบมีดทั้งสองแบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัวหลวงจะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดใบมีดกรีด โดยเฉพาะที่ความเร็ว 8 m/min เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดจะมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการติดเชื่อนของใบมีดจะเป็นการไกลมากกว่าการเฉือนที่ทำให้เมล็ดบัวหลวงหมุนลี้ไปติดกับใบมีดอีกชุดที่ติดตั้งในเรือนใบมีด เป็นเหตุทำให้ใบมีดไม่สามารถตัดเฉือนเปลือกได้ครบรอบตามเส้นรอบวงของเมล็ด สำหรับเมล็ดบัวที่ตัดเปลือกได้ไม่ครบรอบและไม่มีความเสียหายขณะการทดสอบสามารถปรับตั้งระยะของใบมีดใหม่แล้วนำกลับมาป้อนเข้าเครื่องซ้ำได้จนกว่าใบมีดจะกรีดจนรอบเมล็ดและแกะเอาเปลือกออกได้

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดโดยใช้ใบมีดทั้งสองแบบที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ ดังรูปที่ 6 พบว่าทุกๆ ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ ใบมีดสแตนเลสจะแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงได้ดีกว่าใบมีดคัตเตอร์ โดยใบมีดสแตนเลสสามารถแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงได้ระหว่าง 83-88% ส่วนใบมีดคัตเตอร์แกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงได้ระหว่าง 73-79% ซึ่งการจะพิจารณาว่าใบมีดและความเร็วของชุดใบมีดกรีดใดเหมาะสมที่สุดต้องใช้เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดและความสามารถในการทำงานของเครื่องประกอบการพิจารณาด้วย โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 5 เปอร์เซนต์การแกะเมล็ดบัวหลวงที่ชนิดของใบมีดและความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ (^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่าเปอร์เซนต์การแกะเมล็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

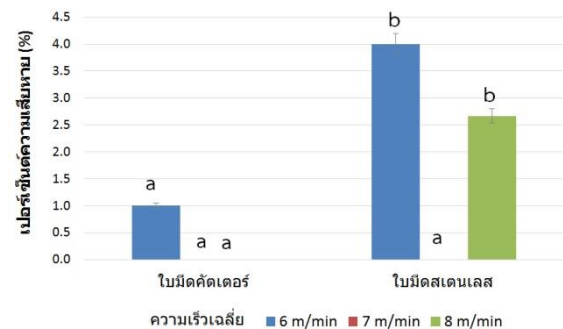


รูปที่ 6 เปอร์เซนต์การแกะเมล็ดบัวหลวงที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดและชนิดของใบมีดต่างๆ

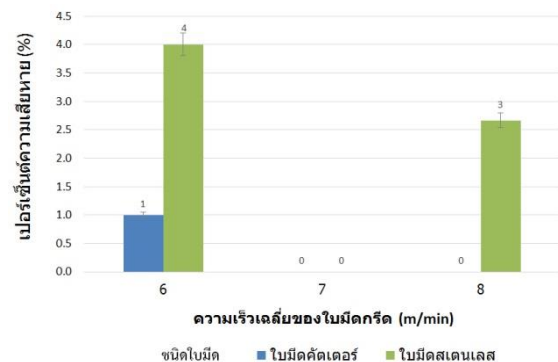
3.2 เปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ใบมีดตัดเตอร์ของแต่ละกลุ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบ แต่เปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัวมีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบโดยใบมีดสแตนเลสของแต่ละกลุ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบ ซึ่งใบมีดตัดเตอร์มีเปอร์เซนต์ความเสียหายระหว่าง 0-1% ส่วนใบมีดสแตนเลสมีเปอร์เซนต์ความเสียหายระหว่าง 0-4% และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัวโดยใช้ใบมีดทั้งสองแบบที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ ดังรูปที่ 8 พบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีด 6 และ 8 m/min ใบมีด

สแตนเลสมีเปอร์เซนต์ความเสียหายสูงกว่าใบมีดตัดเตอร์ แต่ที่ความเร็ว 7 m/min เป็นความเร็วที่ทำให้แรงเฉือนของทั้งสองใบมีดไม่ทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหาย



รูปที่ 7 เปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัวหลวงที่ชนิดของใบมีดและความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ (^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่าเปอร์เซนต์ความเสียหายมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)



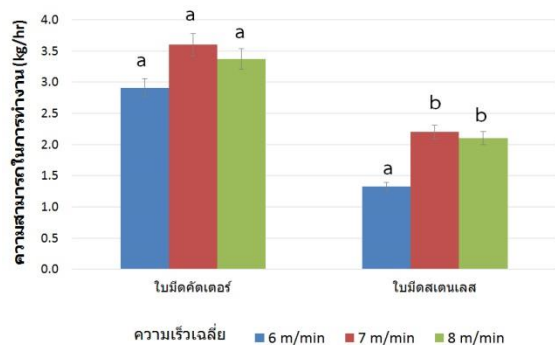
รูปที่ 8 เปอร์เซนต์ความเสียหายของเมล็ดบัวหลวงที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดและชนิดของใบมีดต่างๆ

3.3 ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ใบมีดตัดเตอร์ของแต่ละกลุ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบ แต่ความสามารถในการทำงานของเครื่องมีความแตกต่างกัน

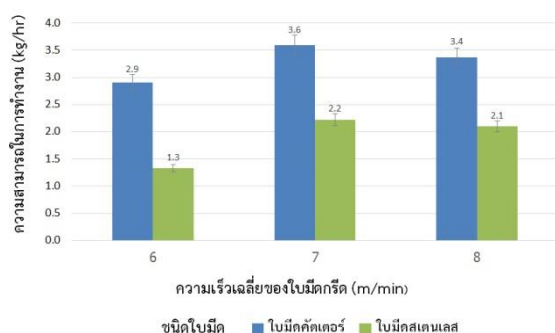
ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2564

ทางสถิติในการทดสอบโดยไบนิตสเดนเลสของแต่ละกลุ่ม
ความเร็วที่ใช้ทดสอบดังรูปที่ 9



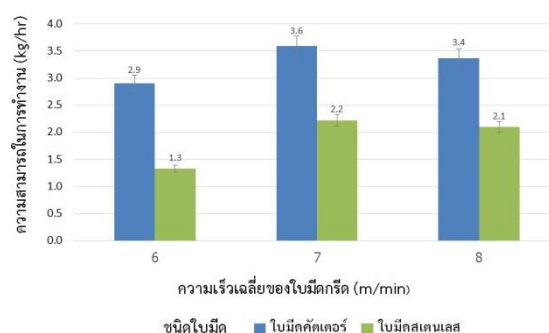
รูปที่ 9 ความสามารถในการทำงานที่ชนิดของไบนิตและ
ความเร็วของชุดไบนิตกริตต่างๆ (^{ab} อักษรที่แตกต่างกันใน
แต่ละชุดการทดสอบแสดงว่าความสามารถในการทำงานมี
ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าทุกๆ
ความเร็วเฉลี่ยของชุดไบนิตกริต เครื่องต้นแบบที่ใช้
ไบนิตคัตเตอร์สามารถแกะเมล็ดบัวหลวงได้เร็วกว่าไบนิต
เดนเลส เนื่องจากลักษณะของไบนิตคัตเตอร์ที่บางและคม
กว่าไบนิตเดนเลส ซึ่งไบนิตคัตเตอร์มีความสามารถในการ
ทำงานระหว่าง 2.9-3.6 kg/hr ส่วนไบนิตเดนเลสมี
ความสามารถในการทำงานระหว่าง 1.3-2.2 kg/hr



รูปที่ 10 ความสามารถในการทำงานที่ความเร็วของชุด
ไบนิตกริตและชนิดของไบนิตต่างๆ

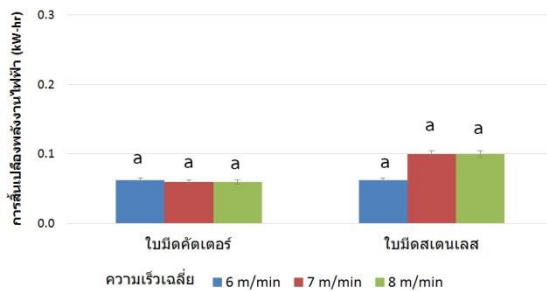
จากผลการทดสอบโดยพิจารณาจากความสามารถใน
การทำงานของเครื่อง รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ด
และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด พบว่าการใช้
ไบนิตคัตเตอร์ที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดไบนิตกริต 7 m/min
มีความสามารถในการทำงานสูงที่สุด สามารถแกะเปลือก
เมล็ดบัวหลวงได้ 79% และไม่มีเมล็ดบัวแตกเสียหาย
ดังนั้นจึงได้เลือกค่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์เชิง
เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป ซึ่งมีความสามารถในการ
ทำงานเท่ากับ 3.6 ± 0.1 kg/hr



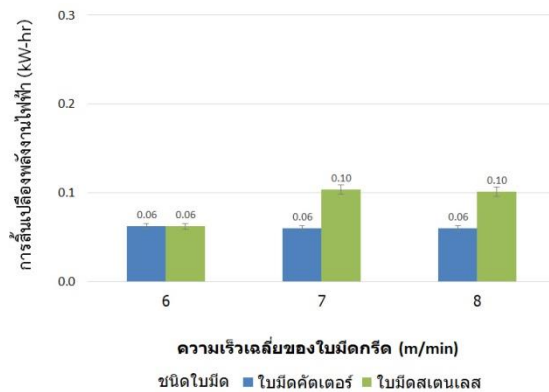
รูปที่ 10 ความสามารถในการทำงานที่ความเร็วของชุด
ไบนิตกริตและชนิดของไบนิตต่างๆ

3.4 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ทางสถิติดังรูปที่ 11 แสดงให้เห็น
ว่า การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องไม่มีความ
แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบ
โดยใช้ไบนิตคัตเตอร์และไบนิตสเดนเลสของแต่ละกลุ่ม
ความเร็วที่ใช้ทดสอบ จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่าช่วง
ความเร็วที่ใช้ชุดไบนิตกริตทั้งสามความเร็ว มีการใช้
พลังงานไฟฟ้าระหว่าง 0.06-0.10 kW-hr ซึ่งจะนำค่าการ
ใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับที่ทำให้ชุดไบนิตกริตมี
ความเร็วเฉลี่ย 7 m/min และใช้ไบนิตคัตเตอร์ เท่ากับ
0.06 kW-hr ไปเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เชิง
เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 11 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ชนิดของใบมีดและความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่างๆ (^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)



รูปที่ 12 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดและชนิดของใบมีดต่างๆ

3.5 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดราคาเครื่องต้นแบบ 20,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 3.6 ± 0.1 kg/hr ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.06 kW-hr เมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 6 เดือน หรือ 1,440 ชั่วโมงต่อปี (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 12.2 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 3.4 เดือน จุดคุ้มทุน 102.4 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน 1 คน ที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการแกะเปลือกเมล็ดบัว 25 บาทต่อกิโลกรัม

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวงโดยใช้ค่าชี้ผลการศึกษา คือ เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัว เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด ความสามารถในการทำงาน และการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีด 7 m/min โดยใช้ใบมีดคัตเตอร์เป็นใบมีดกรีด มีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 79% เมล็ดบัวไม่มีความเสียหาย มีความสามารถในการทำงาน 3.6 ± 0.1 kg/hr และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.06 kW-hr ซึ่งเครื่องต้นแบบที่ได้มีขนาดกะทัดรัดตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย มีอัตราการทำงานสูงกว่าเครื่องรุ่นเก่า [10] และควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการทดสอบเครื่องระยะยาวเพื่อหาอายุการใช้งานของใบมีดกรีดเพื่อให้มีข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้นในการนำเครื่องต้นแบบไปใช้ทดแทนแรงงานคนได้ในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Suksawat. (2018, April 23). 7 benefits of Thai grains [Online]. Available: <http://www.tnews.co.th/contents>
- [2] R. S. Jolly. (2019, January 25). Benefits of the lotus plant [Online]. Available: <https://caloriebee.com/nutrition/Health-Benefits-of-Lotus-Roots-or-Stem-Seeds-Leaves-and-Flowers>
- [3] K.R. Sridhar and R. Bhat, "Lotus A potential nutraceutical source," *Journal of Agricultural Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 143-55, 2007.

- [4] S. Rai, A. Wahile, K. Mukherjee, B. P. Saha, P. K. Mukherjee, “Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* (sacred lotus) seeds,” *Journal of Ethnopharmacology*, pp.104:3227, 2006.
- [5] YB. Wu, LJ. Zheng, J. Yi, JG. Wu, CJ. Tan and TQ. Chen, “A comparative study on antioxidant activity of ten different parts of *Nelumbo nucifera* Gaertn,” *Afr.J. Pharm. Pharmacol*, vol. 5, pp. 2454–246, 2011.
- [6] ZQ. Ling, BJ. Xie and EL. Yang “Isolation characterization and determination of antioxidative activity of oligomeric procyanidins from the seedpod of *Nelumbo nucifera* Gaertn,” *J Agric Food Chem*, vol. 53, no. 7, pp. 2441-5, 2005.
- [7] Department of Agriculture Extension. (2017, May 16). Lotus production situation [Online]. Available: <http://www.doae.go.th/LIBRARY>
- [8] T. Suwannaro, *Lotus farming*. Extension and Training Office. Bangkok: Kasetsart University, 2007.
- [9] P. Vjittwittayapong. (2013, Feb 13). Lotus seeds product of Phichit [Online]. Available: http://www.matichon.co.th/matichon/view_news
- [10] J. Langkapin, S. Parnsakhorn, R. Kalsirisilp, M. Prorod, and N. Khotpromsrt, “Study and testing of a lotus seed peeling machine,” *Journal of Engineering RMUTT*, vol.1, pp.35-42, 2018.
- [11] J. Langkapin, S. Parnsakhorn, R. Kalsirisilp, G. Samseemoung, P. Ngmanil, and T. Juey, “Design and fabrication of a lotus seed membrane peeling machine,” *Journal of Engineering RMUTT*, vol.1, pp. 127-137. 2019.
- [12] G. Krutz, L. Thomson and P. Claar, *Design of agricultural machinery*. 1st ed. New York: John Wiley and Sons, 1994.
- [13] JE. Shigley, and CR. Mischke, *Mechanical engineering design*. 5th ed. USA: McGraw-Hill Book Company, 1989.
- [14] J. Langkapin, *Engineering Drawing and Design by Solidworks*. 3rd ed. Bangkok: Triple Education Co., Ltd, 2018. (in Thai)
- [15] D. Hunt, *Farm power and machinery*. 10th ed. Iowa, USA: Iowa State University Press, 2001.