

การศึกษาและทดสอบเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง

Study and Testing of a Lotus seed Thresher

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์^{1*}, สุนัน ปานสาคร¹ และ ปุรินทร์ อัครกุลธร²

Jaturong Langkapin^{1*}, Sunan Parnsakhorn¹ and Purin Akarakulthorn²

บทคัดย่อ: เครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดเวลาในขั้นตอนการแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากฝัก เครื่องต้นแบบประกอบด้วยโครงสร้างเครื่องชุดนวดเมล็ดบัวหลวง ชุดแยกเมล็ดบัวหลวง ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนฝักบัวลงในช่องป้อนทางด้านบนของเครื่อง ต่อจากนั้นฝักบัวจะไหลเข้าสู่ชุดนวดเมล็ดบัวหลวงและถูกนวดโดยชุดลูกนวดเมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการนวดจะตกลงลอดผ่านตะแกรงนวดไปยังชุดแยกเมล็ดที่อยู่ด้านล่างออกสู่ช่องทางออกต่อไป ส่วนเปลือกของฝักบัวที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงนวดจะถูกลำเลียงไปตามคืบลำเลียงของชุดนวดเมล็ดบัวหลวง และตกลงมาที่ช่องทิ้งเปลือกทางด้านท้ายของชุดนวดเมล็ดบัวหลวง จากการทดสอบพบว่า เครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของชุดลูกนวด 300 รอบ/นาที มีเปอร์เซ็นต์การนวดเมล็ดบัวหลวง 77.7% เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 3.7% ความสามารถในการทำงาน 10.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่ามีค่าใช้จ่าย 3.1 บาท/กิโลกรัม เมื่อใช้เครื่องทำงาน 960 ชั่วโมง/ปี จะมีระยะเวลาคืนทุน 3 เดือน และจุดคุ้มทุน 42.5 ชั่วโมง/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแกะเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยแรงงานเกษตรกร

คำสำคัญ: บัวหลวง, เมล็ดบัวหลวง, เครื่องนวด

ABSTRACT: A Lotus seed thresher was designed and fabricated to increase the working capacity and reduce lotus seed separating time. The prototype consisted of Main frame, Threshing unit, Separating Unit, power transmissions unit and a 1-hp electric motor was used as a prime mover. The lotus pods were fed manually into feeding chute at the top of the machine, which flow into the Threshing unit and were threshed by Threshing drum set. After threshing, the lotus seeds falls through the Threshing sieve to the Separating Unit, and discharged to the discharge chute at the bottom of the machine. The lotus husks were conveyed by conveyer fins in the Threshing unit to the discharge chute at the rear of the Threshing unit. Test results indicated that the best threshing quality was obtained when operated at 15 mm of threshing tooth space and 300 rpm threshing unit speed. Percentage of threshing was found to be 77.7% with 3.7% seed damaged while working capacity was found to be 10.1 kg/hour, with the consumption of 0.45 kW-h of electric power. Economical analysis showed that the machine cost was found to be 3.1 Bath/kg, pay-back period 3 months and the break-even point of the machine to be 42.5 hour/year at the annual use of 960 hour/year.

Keywords: Lotus, Lotus Seed, Thresher

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110

² ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
Department of Post Harvesting Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110

* Corresponding author: Leaw44@yahoo.com, jaturong.l@en.rmUTT.ac.th

บทนำ

บัวเป็นดอกไม้สัญลักษณ์ของพุทธศาสนาและเป็นดอกไม้ชั้นสูงที่เชื่อบูชาพระ นอกจากนั้นส่วนต่างๆ ของบัวเกือบทุกส่วน เช่น ดอกบัว ใบบัว เมล็ดบัว รากบัว และไหลบัว ยังมีสรรพคุณใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในตำรายาจีนโบราณเป็นยาอายุวัฒนะ (กมลวรรณ, 2554) ดังนั้น ประเทศจีนจึงสนับสนุนให้บัวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สำหรับประเทศไทยได้มีการสนับสนุนให้ปลูกบัวเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ โดยมีพื้นที่ปลูกบัวประมาณ 5,000 ไร่ กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ เช่น นนทบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี อุบลราชธานี ขอนแก่น พิจิตร พะเยา นครสวรรค์ พิษณุโลก และพัทลุง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) นาบัวสามารถดูแลรักษาง่ายกว่านาข้าว มีโรคและแมลงรบกวนน้อย ใช้น้ำน้อยกว่าสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งในรูปดอกตูมและเก็บเมล็ด ซึ่งผลผลิตทั้งสองรูปแบบนี้ยังเป็นที่ต้องการของทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นจากสภาพปัจจุบันที่เกษตรกรผู้ทำนาประสบปัญหาทั้งในเรื่องการขาดน้ำ และราคาข้าวไม่แน่นอน นาบัวจึงเป็นทางเลือกใหม่ทางหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่นาข้าว (ทวีพงศ์, 2550) นอกจากนั้นเมล็ดบัวยังเป็นสินค้าแปรรูปโอท็อปของจังหวัดที่มีการทำนาบัว เช่น วิชากร ชุมชนกลุ่มสตรีบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ผลิตเมล็ดบัวอบกรอบ บรรจุกล่องพลาสติก และดีบัวแคปซูลจำหน่ายเป็นสินค้าโอท็อป ซึ่งมียอดจำหน่ายแต่ละปีกว่า 1.2 ล้านบาท (พรพรรณ, 2552) และเมล็ดบัวยังเป็นส่วนประกอบหลักของไส้ขนมไหว้พระจันทร์ใช้ลูกบัวของโรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ต่างๆ สำหรับส่งขายทั่วประเทศ เช่น โรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ เอส แอนด์ พี เป็นต้น

วิธีการแกะและคัดเมล็ดบัวออกจากฝักเพื่อจำหน่ายในปัจจุบัน จะใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยเกษตรกรจะใช้มือฉีกฝักบัวแล้วเก็บเมล็ดบัวออกจากฝัก ซึ่งจะต้องคัดเอาเฉพาะเมล็ดที่ดีและมีขนาดตามที่

ตลาดต้องการเท่านั้น การคัดแยกด้วยวิธีดังกล่าวเมื่อต้องเก็บเกี่ยวฝักบัวพร้อมกันจำนวนมากจะใช้เวลาและแรงงานในการทำงานค่อนข้างสูง รวมทั้งขนาดที่คัดได้จะไม่สม่ำเสมอทำให้ขายได้ในราคาที่ต่ำลง การดัดแปลงใช้เครื่องนวดเมล็ดพืชอื่นๆ มาทดลองนวดฝักบัว เช่น เครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกน (สมชายและวินิต, 2554) หรือเครื่องนวดทานตะวัน (Sudajan S. et al., 2002) พบว่าเมล็ดบัวเสียหายจำนวนมากเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพืชที่แตกต่างกันด้วยเหตุนี้จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องนวดที่เหมาะสมกับการนวดฝักบัว เพื่อใช้แยกและคัดเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักสำหรับบัวที่ปลูกภายในประเทศ โดยต้องเป็นเครื่องที่ราคาถูก ใช้งานง่าย และลดเวลาในการทำงานของเกษตรกร

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญในการออกแบบและพัฒนาเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงสำหรับใช้กับบัวหลวงที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

ก) การศึกษาปัญหาและวิธีการแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักของเกษตรกร

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและวิธีการแยกเมล็ดบัวออกจากฝักของเกษตรกรในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงต้นแบบกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการสัมภาษณ์กลุ่มแม่บ้านบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ได้ผลการศึกษาดังนี้

1) แรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานภายในชุมชน หรือหมู่บ้านใกล้เคียง โดยจำนวนแรงงานและเวลาในการแยกเมล็ดบัวหลวงขึ้นอยู่กับผลผลิตของเกษตรกรในแต่ละปี

2) ค่าจ้างแรงงานแยกเมล็ดบัวออกจากฝัก 20-25 บาท/กิโลกรัม

3) กลุ่มแม่บ้านผลิตเมล็ดบัวอบกรอบจะรับซื้อเมล็ดบัวทั้งหมดที่เกษตรกรนำมาขายทุกวัน

4) ปัญหาที่พบในขั้นตอนการแกะเมล็ดบัวหลวงออกจากฝัก

- ขาดแคลนแรงงานสำหรับการเก็บและแยกเมล็ดบัวหลวงในช่วงการเก็บเกี่ยวข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง

- มีความเหนียวยาก และความไม่ปลอดภัยในการทำงาน เช่น ยางของเมล็ดบัวหลวงทำให้เกิดมือดำ และอาจจะเกิดอุบัติเหตุจากมีดบาด

5) คุณลักษณะของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักที่ต้องการ

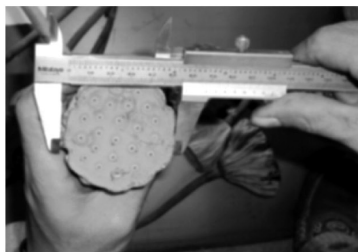
- นวดเมล็ดบัวหลวงได้รวดเร็วและต่อเนื่อง

- กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน อะไหล่หาซื้อง่าย

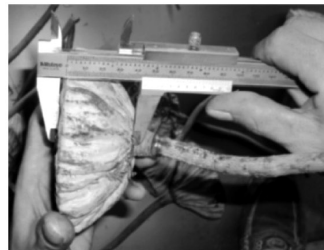
- บำรุงรักษาง่ายทนทานและราคาไม่แพง

ข) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝักและเมล็ดบัวหลวง

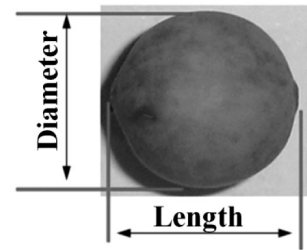
วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของฝักและเมล็ดบัวหลวง (Sahin and Sumnu, 2006) ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของฝักและเมล็ดบัวใหญ่สุดและเล็กสุด ความยาวของเมล็ดบัว รวมทั้งความสูงของฐานฝักบัวสำหรับเป็นเกณฑ์ในการออกแบบชุดนวดเมล็ดบัวหลวงและชุดคัดแยกเมล็ดบัว ดำเนินการศึกษาโดยการวัดขนาดฝักบัวหลวงจำนวน 100 ฝัก รวมทั้งเมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการแกะจำนวน 500 เมล็ด ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ซึ่งตำแหน่งในการวัดแสดงดัง Figure 1 แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด



a) Diameter of lotus pod



b) Height of lotus pod



c) Diameter and length of lotus seed

Figure 1 Schematic of lotus pod and lotus seed for dimension measurement

ผลของการศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝักบัวจำนวน 100 ฝัก และเมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการแกะเปลือกจำนวน 500 เมล็ด แสดงดัง Table 1 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบตะแกรงนวดของชุด

นวดเมล็ดบัวหลวง และตะแกรงคัดแยกของชุดแยกเมล็ดบัวหลวงของเครื่องต้นแบบ (Brennan et al., 1976; James, 2006) ต่อไป

Table 1 Physical dimension of lotus pod and lotus seed

Properties	Lotus pod		Lotus seed, c	
	Diameter, a (mm)	Height, b (mm)	Diameter (mm)	Length (mm)
Maximum	103	66	15	22
Minimum	67	47	10	17
Average	80	55	12.7	18.5
Standard deviation ($\pm$)	6.9	3.2	1.4	2.2

ค) การศึกษาหามุมของความเสียหายภายในของเมล็ดบัวหลวง

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวกับการหมุนของเมล็ดบัวหลวงและเปลือกหลังจากที่ผ่านการนวดแล้วด้วยวิธีแรงโน้มถ่วง โดยให้ไหลไปตามรางมุมเอียงที่จะทำให้วัสดุหมุนไหลไปได้ ซึ่งมุมนี้จะต้องมากพอที่จะทำให้แรงต้านทานการหมุนไม่มีผล การหามุมเอียงของการหมุนสามารถหาได้โดยวิธีการง่ายๆ โดยใช้แผ่นเอียง เมื่อนำเมล็ดบัวมาวางบนแผ่นเอียงแล้วค่อยๆ ปรับมุมเอียงจนกระทั่งเมล็ดบัวเริ่มหมุนเคลื่อนที่ลง (Mohsenin, 1986) จากการศึกษาหามุมเสียหายภายในของเมล็ดบัว โดยสุ่มใช้เมล็ดบัวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10 ถึง 15 มิลลิเมตร และความยาวระหว่าง 17 ถึง 22 มิลลิเมตร ได้มุมเสียหายภายในของเมล็ดบัว 25 องศา ซึ่งเป็นมุมที่เมล็ดบัวเริ่มกลิ้งหรือลื่นไถล ดังนั้นการออกแบบมุมเอียงของ

ตะแกรงคัดแยกของชุดแยกเมล็ดบัวของเครื่องต้นแบบจะต้องมีค่ามากกว่ามุมนี้

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงนั้น นอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ยังได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกล (Shigley and Mischke, 1989) และเครื่องจักรกลเกษตร (Krutz et al., 1994) รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบ (จตุรงค์, 2555) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดนวดเมล็ดบัวหลวง ชุดแยกเมล็ดบัว ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลัง (Figure 2) โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้

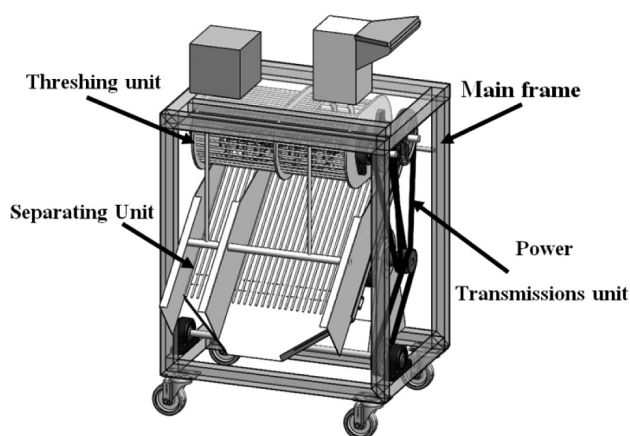


Figure 2 The schematic of the Lotus seed Thresher prototype

- **โครงสร้างของเครื่อง** โครงสร้างที่ออกแบบมีขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 650 มิลลิเมตร สูง 750 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้สร้างส่วนใหญ่เป็นสแตนเลสกล่องขนาด 1.5 x 1.5 นิ้ว ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงจะติดตั้งบนโครงสร้างด้วยน็อตและสกรู

- **ชุดนวดเมล็ดบัวหลวง** ดัง Figure 3 มีหน้าที่หลัก คือ นวดแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักบัวประกอบด้วย

- **ลูกนวด 2 ลูก** เส้นผ่านศูนย์กลาง 145 มิลลิเมตร ยาว 620 มิลลิเมตร แต่ละลูกมีพื้นลักษณะคล้ายเล็บเหยี่ยวจำนวน 7 ชุด สวมบนเพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร พื้นลูกนวดทำจากสแตนเลส

เลสนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อป้อนฝักบัวเข้าช่องป้อนทางด้านบนของเครื่อง ฝักบัวจะร่วงลงระหว่างกลางของลูกนวดทั้งสองลูกที่หมุนสวนทางกัน ฟันของลูกนวดทั้งสองจะฉีกแยกฝักบัวออกจากกันทำให้เมล็ดบัวหลุดร่วงออกจากฝักบัว

- **ตะแกรงนวด** ทำจากสแตนเลสเส้น มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมครอบอยู่ด้านนอกของลูกนวด

ทั้งสองลูก โดยระยะห่างของซี่ตะแกรงจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดของเมล็ดบัวเพื่อให้เมล็ดบัวสามารถลอดลงไปได้หลังจากการนวด และภายในตะแกรงนวดจะมีครีบลำเลียง ซึ่งทำหน้าที่ช่วยลำเลียงเปลือกบัวหลวงออกสู่ช่องทิ้งเปลือก

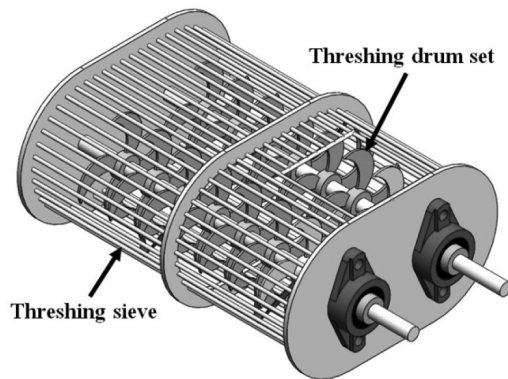


Figure 3 The schematic of the Threshing unit

• **ชุดแยกเมล็ดบัว** จะติดตั้งอยู่ด้านล่างของชุดนวดเมล็ดบัวหลวง ทำหน้าที่แยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกหลังจากการนวดโดยใช้หลักการของแรงโน้มถ่วง และการสั่นด้วยการบังคับของลูกเบี้ยวประกอบด้วย

- **ตะแกรงแยกเมล็ด** ทำจากสแตนเลสเส้น โดยระยะห่างของซี่ตะแกรงจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดของเมล็ดบัวเพื่อไม่ให้เมล็ดบัวสามารถลอดผ่านได้ เมล็ดดีจะไหลหรือกลิ้งอยู่ด้านบนของตะแกรง ส่วนเมล็ดลีบและเปลือกขนาดเล็กจะลอดลงสู่ถาดด้านล่าง การติดตั้งตะแกรงแยกเมล็ดจะมีมุมเอียงมากกว่ามุมเอียงการหมุนเคลื่อนที่ของเมล็ดบัวหลวง

- **ช่องรับเมล็ดและเปลือก** ชุดแยกเมล็ดบัวจะประกอบด้วย ช่องรับเมล็ดบัวหลวงที่รับเมล็ดบัวที่ลอดผ่านตะแกรงนวดของชุดนวดเมล็ดบัวหลวงมา ส่วนช่องรับเปลือกจะอยู่ด้านท้ายของชุดนวดเมล็ดบัวหลวง

เพื่อรับเปลือกของฝักบัวที่ถูกลำเลียงออกมาจากช่องทิ้งเปลือกของชุดนวดเมล็ดบัว

• **ระบบส่งกำลัง** ระบบส่งกำลังของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงจากมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า ไปยังชุดนวดเมล็ดบัวหลวงและชุดแยกเมล็ด จะใช้ฟูลีย์และสายพานเป็นหลัก เนื่องจากออกแบบง่าย ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน ราคาถูก และหาซื้อง่าย

การทำงานของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนฝักบัวลงในช่องป้อนทางด้านบนของเครื่อง ต่อจากนั้นฝักบัวจะไหลเข้าสู่ชุดนวดเมล็ดบัวหลวงและถูกนวดโดยชุดลูกนวด เมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการนวดจะตกลงผ่านตะแกรงนวดไปยังชุดแยกเมล็ดที่อยู่ด้านล่างออกสู่ช่องทางออกต่อไป ส่วนเปลือกของฝักบัวที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงนวดจะถูกลำเลียงไปตามครีบลำเลียงของชุดนวดเมล็ดบัวหลวงและตกลงมาที่ช่องทิ้งเปลือกทางด้านท้ายของชุดนวดเมล็ดบัวหลวง

การทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ

หลังจากการทดสอบเบื้องต้นและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงต้นแบบแล้ว ต่อจากนั้นจึงได้ทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเครื่อง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ระยะห่างของฟันลูกนวดที่ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวด 200, 300 และ 400 รอบ/นาที่ โดยแต่ละการทดสอบจะใช้ฝักบัว 10 กิโลกรัม ป้อนด้วยมืออย่างต่อเนื่องครั้งละ 1-2 ฝัก ทำซ้ำ 3 ซ้ำ และใช้เปอร์เซ็นต์การนวดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายความสามารถในการทำงาน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษา และใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Gomez et al., 1984) ซึ่งมีสมการค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์การนวด (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การนวดเมล็ดบัว} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวที่ได้จากการนวด}}{\text{น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

2) เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวที่เสียหาย}}{\text{น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

เมล็ดบัวที่เสียหายคือเมล็ดบัวหลังการทดสอบที่เปลือกมีรอยแตกทุกๆ แบบ (Figure 6)

3) ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$\text{ความสามารถในการทำงานจริง} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวที่ได้ทั้งหมด}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (3)$$

4) อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

อ่านค่าอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้าฮาวร์มิเตอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงขณะทดสอบ

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ก) การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการนวดเมล็ดบัวหลวง (Hunt, 2001)

ข) การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยพิจารณาจากการทราบดีว่า $i = 10\%$ แต่ไม่ทราบค่า n ทำการเปลี่ยน n ไปเรื่อยๆ จนค่าทั้งสองข้างของสมการเท่ากันก็จะได้อ่านค่า n โดยที่ n คือระยะเวลาคืนทุน (ปี)

ค) การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณเปรียบเทียบการแยกเมล็ดบัวออกจากฝัก โดยใช้แรงงานคนกับเครื่องต้นแบบว่าสามารถใช้ต้นทุนในการทำงานเท่ากับต้นทุนของการแยกเมล็ดบัวออกจากฝักได้ปริมาณเท่าไร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เปอร์เซ็นต์การนวดเมล็ดบัวหลวง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์การนวดของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวด และความเร็วรอบของลูกนวดต่างๆ (Figure 4)

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าทั้งระยะห่างของฟันลูกนวดและความเร็วรอบของลูกนวดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การนวดของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง โดยระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะห่างที่มีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดของเมล็ดบัวหลวงจะมีเปอร์เซ็นต์การนวดสูงสุด คือ 77.7% เนื่องจากฟันลูกนวดจะนวดแยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกได้ดี สำหรับกรณีการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 10 มิลลิเมตร เครื่องก็สามารถที่จะนวดแยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกได้ดีเช่นกัน แต่เมล็ดที่แยกได้บางส่วนจะเกิดการแตกเสียหายจากการเฉือนของฟันลูกนวด เนื่องจากเมล็ดบัวที่มีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างของฟันลูกนวดไม่สามารถที่จะลอดผ่านระยะห่างที่ได้ตั้งไว้ได้ ซึ่งระยะ 10 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดของเมล็ดบัวหลวง ส่วนกรณีที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 20 มิลลิเมตร (มีค่ามากกว่าเส้น

ผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดของเมล็ดบัวหลวง) จะนวดแยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกได้น้อยกว่าระยะห่าง 10 และ 15 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีเมล็ดบัวหลวงบางส่วนยังติดอยู่กับเปลือกถึงแม้จะแยกออกจากฝักแล้ว

จากการสังเกตขณะทดสอบยังพบอีกว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของลูกนวดขึ้น ลูกนวดจะนวดแยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกได้มากขึ้น แต่เมล็ดบัวก็จะเสียหายมากขึ้นจากการกระทบของฟันลูกนวดและการบีบอัดกับตะแกรงนวด ดังนั้นความเร็วรอบของลูกนวดที่เหมาะสมในการนวดแยกเมล็ดบัวออกจากเปลือกจากการทดสอบคือ 300 รอบ/นาที จากการทดสอบจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การนวดสูงสุดของเครื่องต้นแบบ คือ 77.7% ซึ่งเมล็ดบัวที่เหลืออีกประมาณ 22.3% คือเมล็ดบัวหลวงที่ยังติดอยู่กับเปลือกที่สามารถจะนำกลับมานวดใหม่ได้อีก และเมล็ดบัวหลวงที่เสียหายซึ่งกล่าวในหัวข้อต่อไป

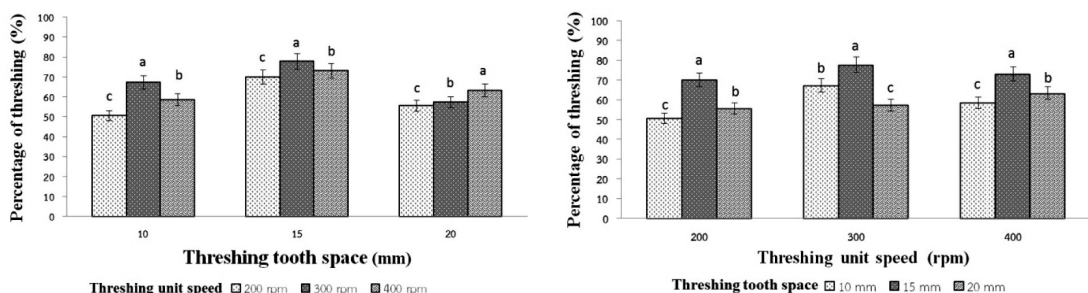


Figure 4 Percentage of threshing at different Threshing tooth spaces and Threshing unit speeds. ^{abc}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวหลวง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวหลวงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 10 และ 15 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบของลูกนวดต่างๆ (Figure 5)

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะห่างของฟันลูกนวดที่ความเร็วรอบของลูกนวดต่างๆ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจากการนวด คือ ระยะ 10

และ 15 มิลลิเมตร โดยระยะห่างของฟันลูกนวด 10 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายสูงสุดและจะสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบของลูกนวดเพิ่มขึ้นดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา สำหรับระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ความเสียหายจะสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบของลูกนวดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนระยะห่างของฟันลูกนวด 20 มิลลิเมตร เมล็ดบัวจะไม่มีความเสียหายเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของลูกนวดที่ใช้ในการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่าระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300 รอบ/นาที่ เป็นค่าที่เมล็ดบัวหลวงมีความเสียหายน้อยที่สุด คือ 3.7% ดังนั้นจึงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการ

นวดแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากเปลือก ซึ่งเมล็ดบัวหลวงที่ได้จากการนวด เมล็ดบัวหลวงที่แตกเสียหาย และส่วนของเปลือกจากการนวดของเครื่องต้นแบบ แสดงดัง Figure 6

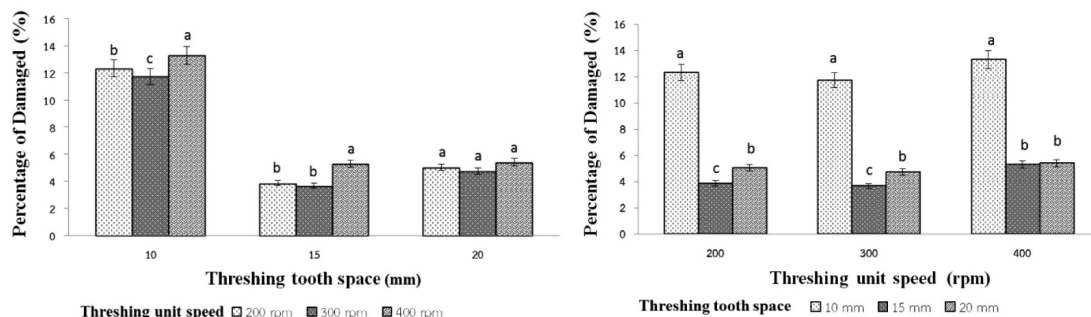


Figure 5 Percentage of Damaged at different Threshing tooth spaces and Threshing unit speeds. ^{abc}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

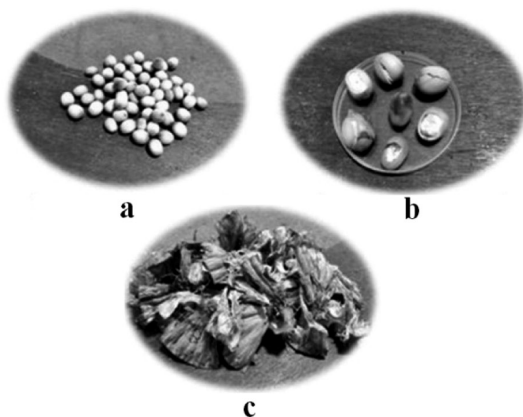


Figure 6 Lotus seeds (a), damaged seeds (b) and husks (c) after threshing

ความสามารถในการทำงานของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบของลูกนวดต่างๆ และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 10 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบของ

ลูกนวดต่างๆ (Figure 7)

จากผลการทดสอบพบว่าระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300 รอบ/นาที่ เป็นค่าที่เครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงมีความสามารถในการทำงานสูงที่สุด คือ 10.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง เนื่องจากที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 10 มิลลิเมตร เมล็ดบัวหลวงจะเสียหายสูงจากการกระทบของลูกนวด ส่วนที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 20 มิลลิเมตร เครื่องนวดเมล็ดบัวจะมีเปอร์เซ็นต์การนวดต่ำดังที่ได้

กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300 รอบ/

นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการนวดแยก เมล็ดบัวหลวงออกจากเปลือก

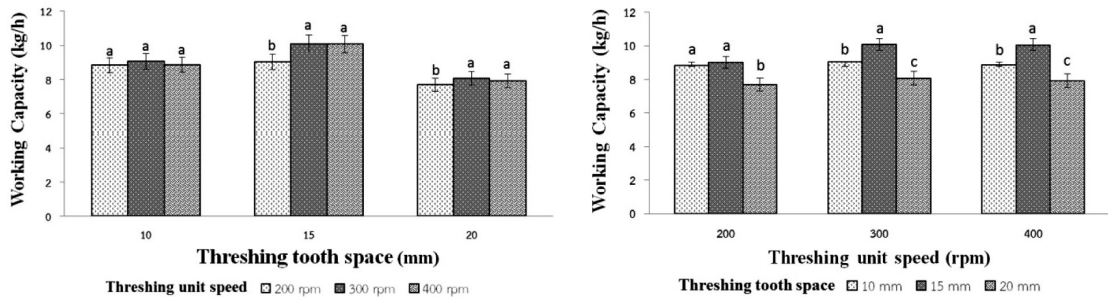


Figure 7 Working Capacity at different Threshing tooth spaces and Threshing unit speeds. ^{abc}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ความเร็วรอบของลูกนวดต่างๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบที่ระยะห่างของฟันลูกนวดต่างๆ (Figure 8)

จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงที่ระยะห่างของฟันลูกนวดต่างๆ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ

ลูกนวด 200, 300 และ 400 รอบ/นาที เท่ากับ 0.39, 0.45 และ 0.52 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจะต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามนั่นเอง ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการนวดแยกเมล็ดบัวหลวงออกจากเปลือก คือ ระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300 รอบ/นาที มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นค่าที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป

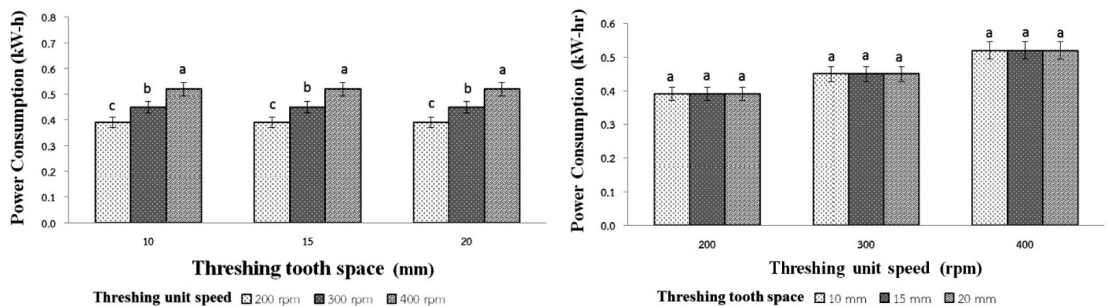


Figure 8 Power Consumption at different Threshing tooth spaces and Threshing unit speeds. ^{abc}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมโดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 40,000 บาท อายุการใช้

งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ให้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 10.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า มีค่าใช้จ่าย 3.1 บาท/กิโลกรัม เมื่อใช้เครื่องทำงาน 960 ชั่วโมง/ปี (กำหนดให้เครื่องทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ทำงานปีละ 120 วัน เนื่องจากบัวหลวงจะผลิตฝักปีละ 4-5 เดือน) จะมีระยะเวลาคืนทุน 3 เดือน และจุดคุ้มทุน 42.5 ชั่วโมง/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับ การแกะเมล็ดบัวออกจากฝักด้วยแรงงานเกษตรกร

สรุป

จากการศึกษาปัญหาและวิธีการแกะเมล็ดบัวหลวงออกจากฝักของเกษตรกรนั้น ขั้นตอนการแกะเมล็ดบัวเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งมีปัญหายุ่งยากหลายประการ ได้แก่ ใช้เวลาในการปฏิบัติงานมาก เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน รวมถึงการขาดแคลนแรงงานในการทำงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงของการเก็บเกี่ยวพืชไร่ชนิดอื่นๆ เพื่อผ่อนคลายปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ โดยศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของฝักบัว และเมล็ดบัวหลวง จนได้เครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดนวดเมล็ดบัวหลวง ชุดแยกเมล็ดบัว และระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบพบว่า ทำงานได้ดีที่สุดที่ระยะห่างของฟันลูกนวด 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300 รอบ/นาที มีเปอร์เซ็นต์การนวดเมล็ดบัวได้ 77.7% เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 3.7% ความสามารถในการทำงาน 10.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถที่จะพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย รวมทั้งภาค

วิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2554. สถานการณ์การผลิตบัว. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/BVDtJW>. ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2555.
- กมลวรรณ เตชะวณิช. 2554. คู่มือปลูกและดูแลดอกบัว ราชินีไม้น้ำ-ประดับสวนสวย. ไทยควอลิตี้บุ๊ค, กรุงเทพฯ.
- จตุรงค์ ดังกาพินธุ์. 2555. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนลัดด้วยตัวเอง). สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ทวีพงศ์ สุวรรณโร. 2550. การทำนบ. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรพรรณ วิจิตรวิทยาพงศ์. 2552. เมล็ดบัวแปรรูปที่พิถีพิถันสร้างงาน-เงิน ให้ชาวบึงสีไฟ. คอลัมน์ ชุมชน เข้มแข็งหนังสือพิมพ์มติชน. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/Am3CZ4>. ค้นเมื่อ 22 มกราคม 2556.
- สมชาย ชวนอุดม และวินิต ชินสุวรรณ. 2554. ปัจจัยการออกแบบชุดนวดของเครื่องเกี่ยวนวดแบบไหลตามถนนที่มีผลต่อความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ. วารสารวิจัย มช. 16(5): 622-633.
- Brennan, J. G., J.R. Butters, N.D. Cowell, and A.E.V. Lilly. 1976. Food Engineering Operation, 2nd edn. Applied Science, London.
- Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery. 10th Edition, Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- James G. B. 2006. Food Processing Handbook. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Krutz, G., Thomson, L. and P. Claar. 1994. Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York Chichester Brisbane, Toronto, Singapore.
- Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics, and mechanical properties. Second updates and revised edition. Gordon and Breach Science Publishers.
- Sahin, S., and S.G.Sumnu. 2006. Physical Properties of Foods. New York, Springer Science Business Media.
- Shigley, J.E. and C.R. Mischke. 1989. Mechanical Engineering Design. 5th Edition, McGraw- Hill Book Company, USA.
- Sudajana S., Salokhea V.M., and Tiratanasirichai K. 2002. Effect of Type of Drum, Drum Speed and Feed Rate on Sunflower Threshing. Biosystems Engineering. 83(4): 413-421.