



การพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้ง

Development of a Dry Lotus Seed Sheller

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์^{1*}, สุนัน ปานสาคร¹, ภุรินทร์ อัครกุลธนะ²Jaturong Langkapin^{1*}, Sunan Parnsakhorn¹, Purin Akarakulthorn²¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, 12110²ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110²Department of Post Harvesting Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, 12110*Corresponding author: Tel: +662-549-3328, Fax: +662-549-3581, E-mail: Leaw44@yahoo.com; jaturong.l@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและแรงงานในการกะเทาะเปลือกเมล็ดบัวหลวงแห้ง เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดป้อนเมล็ด ชุดกะเทาะเมล็ด 2 ชุด ที่ติดตั้งใบมีดกะเทาะแบบทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 และ 11.5 mm ตามลำดับ ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 hp เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนเมล็ดบัวหลวงแห้งลงในช่องป้อนเมล็ดบัวทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวจะถูกลำเลียงเข้าสู่ชุดกะเทาะเมล็ดโดยงานป้อนเมล็ด เมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการกะเทาะจะร่วงออกจากชุดกะเทาะลงทางด้านหน้าของเครื่อง จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วของก้านกระทุ้งของชุดกะเทาะ 13.3 mm s^{-1} มีความสามารถในการทำงาน $1.3 \pm 0.1 \text{ kg hr}^{-1}$ ชุดกะเทาะชุดแรกมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 75.7 ± 6.4 และ $18.2 \pm 0.7\%$ ตามลำดับ ส่วนชุดกะเทาะชุดที่สองมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 73.3 ± 4.0 และ $20.2 \pm 1.8\%$ ตามลำดับ มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.52 kW-hr จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าใน 1 ปี ใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงทำงาน 1,200 hr มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 24 Baht kg^{-1} ระยะเวลาคืนทุน 3 month และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 40 hr year^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน

คำสำคัญ: บัวหลวง, เมล็ดบัวหลวงแห้ง, เครื่องกะเทาะ

Abstract

A dry lotus seed sheller was designed and fabricated to reduce shelling time and number of labor for the dry lotus seed shell removing. The prototype consisted of main frame, feeding unit, 2 sizes of shelling unit; the 10.5 and 11.5 mm cylinder cutting balde were installed in first and second shelling unit, respectively, the power transmission unit, and 2 hp electric motor was used as a prime mover. The dry lotus seeds were fed manually into feeding chute at the top of the machine, then were conveyed to shelling unit by seed feeder, and left through in front of the machine after shelling. Testing results indicated that the best shelling quality was obtained when operated at 13.3 mm s^{-1} piercing rod speed. Working capacity was found to be $1.3 \pm 0.1 \text{ kg hr}^{-1}$, the percentage of shelling and seeds damaged of the first shelling unit were 75.7 ± 6.4 and $18.2 \pm 0.7\%$, the percentage of shelling and seeds damaged of the second shelling unit were $73.3 \pm 4.0\%$ and $20.2 \pm 1.8\%$, and consumed 0.52 kW-hr of energy. Based on the engineering economical analysis, indicated that the operating cost was 24 Bath kg^{-1} , payback period 3 months and the break-even point of the machine was 40 hr year^{-1} at the annual use of $1,200 \text{ hr year}^{-1}$.

Keyword: Lotus, Dry Lotus seed, Sheller

1 บทนำ

บัวเป็นดอกไม้สัญลักษณ์ของพุทธศาสนา และเป็นดอกไม้ชั้นสูงที่บูชาพระ นอกจากนั้นส่วนต่างๆ ของบัวเกือบทุกส่วน เช่น ดอกบัว ใบบัว เมล็ดบัว รากบัว และไหลบัว ยังมีสรรพคุณใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในตำรายาจีนโบราณเป็นยาอายุวัฒนะ (กมลวรรณ, 2554) ดังนั้นประเทศจีนจึงสนับสนุนให้บัวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สำหรับประเทศไทยได้มีการสนับสนุนให้ปลูกบัวเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซึ่งไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ โดยมีพื้นที่ปลูกบัวประมาณ 5,000 ไร่กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ เช่น นครปฐม สุพรรณบุรี อุบลราชธานี ขอนแก่น พิจิตร พะเยา นครสวรรค์ พิษณุโลก และพัทลุง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) อีกทั้งปัจจุบันเกษตรกรผู้ทำนาประสบปัญหาทั้งในเรื่อง การขาดน้ำ และราคาข้าวไม่แน่นอน นาบัวจึงเป็นทางเลือกใหม่ทางหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่นาข้าว (ทวีพงศ์, 2550) นอกจากนั้นเมล็ดบวยังเป็นสินค้าแปรรูปโอท็อปของจังหวัดที่มีการทำนาบัว เช่น วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ผลิตเมล็ดบัวอบกรอบ บรรจุกล่องพลาสติกจำหน่ายเป็นสินค้าโอท็อป ซึ่งมียอดขายเฉลี่ยแต่ละปีกว่า 1.2 ล้านบาท (พรพรรณ, 2552) และเมล็ดบวยังเป็นส่วนประกอบหลักของไส้ขนมไหว้พระจันทร์ได้ลูกบัวของโรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ต่างๆ สำหรับส่งขายทั่วประเทศ เช่น โรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ เอส แอนด์ พี เป็นต้น

เมล็ดหลวงบัวที่จะนำไปแปรรูปในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เมล็ดบัวหลวงสด (เปลือกสีเขียวเข้ม) และเมล็ดบัวหลวงแห้ง (เปลือกสีดำ) เมล็ดหลวงบัวสดจะแกะเปลือกโดยใช้มีดแยกดีบัวออกจากเมล็ดโดยใช้มีดจิ้มฟันหรือเครื่องแทงดีบัว แล้วทำการลอกเยื่อจนได้เมล็ดบัวสีขาว (จตุรงค์ และคณะ, 2557) สำหรับเมล็ดบัวแห้งจะแกะเปลือกโดยใช้ค้อนหรือมีดทุบ (Figure 1) แล้วคัดแยกเมล็ดออกจากเปลือก จากนั้นจะต้องทำการแยกดีบัวออกจากเมล็ดโดยใช้เครื่องมือแบบมีกดผ้าให้แตกแล้วคัดแยกดีบัวออกจากเมล็ด ทำการลอกเยื่อจนได้เมล็ดบัวสีขาวที่พร้อมแปรรูปหรือจำหน่ายต่อไป ซึ่งการแกะเปลือกโดยวิธีดังกล่าวจะใช้เวลาและแรงงานในการแกะสูง ไม่มีความปลอดภัยในการทำงาน เช่น เกิดอุบัติเหตุจากมีดบาดมือ ส่วนเครื่องแกะเมล็ดบัวที่มีใช้ในต่างประเทศ เช่นในประเทศจีนนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้แกะเมล็ดบัวพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเนื่องจากเมล็ดบัวมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ต้องทำการดัดแปลงเครื่องเพื่อให้ใช้งานได้ อีกทั้งราคานำเข้าค่อนข้างสูง ส่วนในประเทศไทยได้มีการวิจัยเครื่องแกะเมล็ดบัวตากแห้งโดยวิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ การทำงานของเครื่องจะใช้หัวค้อนเคาะที่ส่วนบนของเมล็ดบัวให้แตกออก เครื่องมีความสามารถในการทำงาน 0.23 kg hr^{-1} ซึ่งถือว่ายังค่อนข้างต่ำถ้าจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม SME (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2552) จึงเห็นว่าควรมีการวิจัยและพัฒนา

เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแห้ง เพื่อใช้แกะเมล็ดบัวที่ปลูกภายในประเทศ ราคาถูก และลดเวลาในการทำงาน



Figure 1 Traditional dry lotus seed shelling method.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญในการออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแห้งที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งมีวิธีการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องการออกแบบ

2.1.1 ศึกษาปัญหาและวิธีแกะเมล็ดบัวหลวงแห้ง

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและวิธีการแกะเมล็ดบัวหลวงแห้งของเกษตรกรในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแห้งต้นแบบกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการสัมภาษณ์กลุ่มแม่บ้านบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ได้ผลการศึกษาดังนี้

- 1) แรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานภายในชุมชน โดยจำนวนแรงงานและเวลาที่ใช้ในการแกะเมล็ดบัวขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตของเมล็ดบัว
- 2) ค่าจ้างแรงงานแกะเมล็ดบัวหลวง 100 Baht kg^{-1}
- 3) ปริมาณการแกะขึ้นอยู่กับความชำนาญ เฉลี่ยต่อคนทำงานได้ 0.3 kg hr^{-1}
- 4) เมล็ดบัวแตกเสียหายจากการใช้ค้อนหรือมีดทุบเพื่อแกะเปลือกประมาณ 50%
- 5) ปัญหาที่พบในขั้นตอนการแกะเมล็ดบัวหลวงคือความเหนื่อยยากและความไม่ปลอดภัยในการทำงาน เช่น เกิดอุบัติเหตุจากมีดบาดมือ

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวงแห้ง (Figure 2) สำหรับใช้ในการออกแบบงานป้อนเมล็ดบัว ขนาดของใบมีดและก้านกระทุ้ง ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง (a) ความยาว (b) ความหนาของเปลือกเมล็ดบัวแห้ง (c) และความชื้นของเมล็ดบัวหลวงแห้งตามวิธีของ ASAE (Anon, 1983) โดยเมล็ดบัวหลวงที่ใช้ศึกษาเป็นเมล็ดบัวหลวงขาวแห้งที่เก็บจากบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร จากการสุ่มวัดขนาดเมล็ดบัวหลวงแห้งจำนวน 200 เมล็ด ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ได้เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 11.2-12.6 mm มีค่าเฉลี่ย

11.9±0.3 mm ความยาวระหว่าง 15.0-18.1 mm ค่าเฉลี่ย 16.3±0.5 mm ความหนาของเปลือกเมล็ดบัวแห้งระหว่าง 1.0-1.6 mm ค่าเฉลี่ย 1.2±0.1 mm และความชื้นของเมล็ดบัว 7.4% w.b.

จากการวิเคราะห์หาค่าความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัวหลวงแห้งเพื่อแบ่งกลุ่มเมล็ดบัวหลวงแห้ง พบว่าเมล็ดบัวมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 11.5 mm ระหว่าง 11.5-12.0 mm และมากกว่า 12.0 mm เท่ากับ 11, 65 และ 24% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมล็ดบัวหลวงแห้งส่วนใหญ่จะมีขนาดมากกว่า 11.5 mm คิดเป็น 89% ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบเครื่องต้นแบบสำหรับกะเทาะเมล็ดบัวหลวงส่วนใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 11.5 mm เท่านั้น

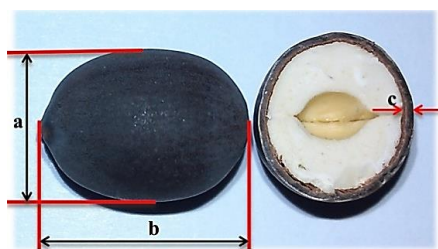


Figure 2 Dimensions of dry lotus seed.

2.1.3 ศึกษาวิธีการกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งที่เหมาะสม

จากการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องและการทดลองใช้อุปกรณ์การกะเทาะของเกษตรกรพบว่า การทุบเมล็ดบัวหลวงแห้งด้วยค้อนหรือมีดจะทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหายจำนวนมาก เพื่อลดความเสียหายของเมล็ดบัว คณะวิจัยจึงได้สร้างอุปกรณ์การกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งโดยใช้หลักการการทำงานของอุปกรณ์เจาะรูประเภทประกอบด้วย ก้านกระทุ้ง และเหล็กแผ่นเจาะรูลักษณะคล้ายรังผึ้ง (Figure 3) สำหรับใช้ในการศึกษาหาวิธีการกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ จากการทดลองพบว่าหลักการนี้สามารถนำมาใช้ในการกะเทาะเปลือกเมล็ดบัวหลวงแห้งได้ โดยที่เมล็ดบัวหลวงไม่มีความเสียหาย จึงได้นำหลักการนี้ไปออกแบบชุดกะเทาะของเครื่องต้นแบบต่อไป



Figure 3 Equipment - used in laboratory testing.

2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งต้นแบบนั้น นอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ยังได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกล (Shigley and Mischke, 1989) และเครื่องจักรกลเกษตร (Krutz et al., 1994) รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบ (จตุรงค์, 2555) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง (Main frame) ชุดป้อนเมล็ด (Feeding unit) ชุดกะเทาะเมล็ด (Shelling unit) ระบบส่งกำลัง (Power transmission unit) และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 hp เป็นต้นกำลัง (Figure 4a) โดยแต่ละส่วนประกอบมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้

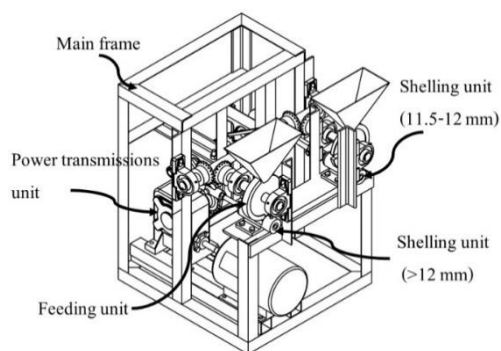
โครงสร้างของเครื่อง ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องต้นแบบ มีขนาด 465x490x500 mm (กว้างxยาวxสูง) สร้างจากเหล็กฉากขนาด 40x40 mm หนา 4 mm โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่ถูกยึดเข้ากับโครงสร้างด้วยนอตและสลัก

ชุดป้อนเมล็ด (Figure 4b) ประกอบด้วย ช่องป้อนเมล็ดที่มีปริมาตรรองรับเมล็ดบัวได้อย่างน้อย 1 kg และจานป้อนเมล็ดที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของช่องป้อนเมล็ด และวางอยู่ด้านบนของชุดกะเทาะเพื่อทำหน้าที่ป้อนเมล็ดบัวหลวงแห้งเข้าสู่ชุดกะเทาะเมล็ด จานป้อนเมล็ดทำจากเหล็กแผ่นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 mm หนา 12 mm เซาะร่อง 1 ร่อง ลึก 14 mm ซึ่งจะเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดของเมล็ดบัวหลวงแห้ง เพื่อให้สามารถป้อนเมล็ดบัวได้ทุกขนาด

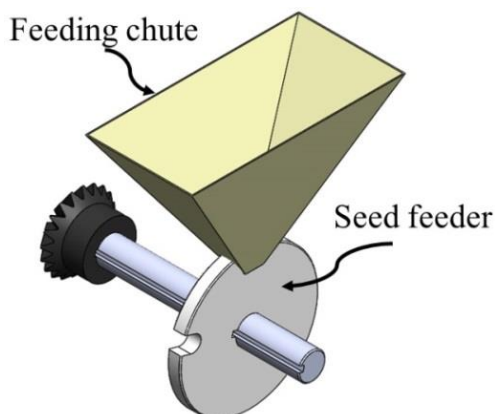
ชุดกะเทาะเมล็ด (Figure 4c) ใช้หลักการการทำงานเหมือนกลไก Slider crank (Myszka, 2012) ประกอบด้วย ลูกเบี้ยว ก้านเชื่อมต่อ ก้านกระทุ้งเมล็ดบัว และชุดมีดกะเทาะ โดยลูกเบี้ยวจะขับเคลื่อนก้านกระทุ้งให้ทำหน้าที่กดหรืออัดเมล็ดบัวเข้าสู่ชุดมีดกะเทาะเพื่อให้เปลือกเมล็ดบัวแตก ลักษณะของมีดกะเทาะเมล็ดบัวจะเป็นทรงกระบอกมี 2 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 mm ใช้กับเมล็ดบัวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 11.5-12.0 mm และชุดมีดกะเทาะเมล็ดขนาด 11.5 mm ใช้กับเมล็ดบัวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 12.0 mm

ระบบส่งกำลัง การส่งกำลังไปยังส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องต้นแบบจะใช้ระบบโซ่ส่งกำลัง เนื่องจากต้องการความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งต้องออกแบบให้ลูกเบี้ยวและจานป้อนเมล็ดมีความเร็วรอบเท่ากัน เนื่องจากเมื่อลูกเบี้ยวหมุน 1 รอบเครื่องจะกะเทาะเมล็ดบัว 1 ครั้ง จานป้อนก็จะต้องป้อนเมล็ดบัว 1 เมล็ดเช่นกัน

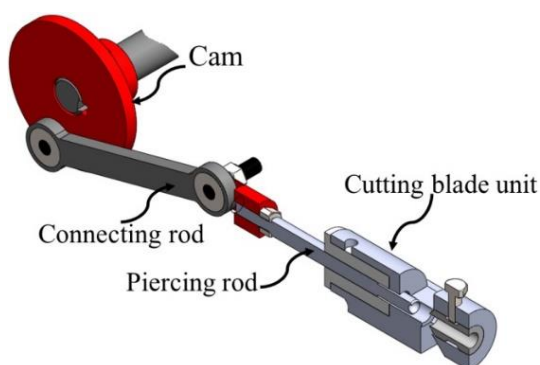
การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนเมล็ดบัวหลวงแห้งลงในช่องป้อนเมล็ดบัวทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวจะถูกลำเลียงเข้าสู่ชุดกะเทาะเมล็ดโดยจานป้อนเมล็ด เมล็ดบัวหลวงที่ผ่านการกะเทาะจะร่วงออกจากชุดกะเทาะทางด้านหน้าของเครื่อง



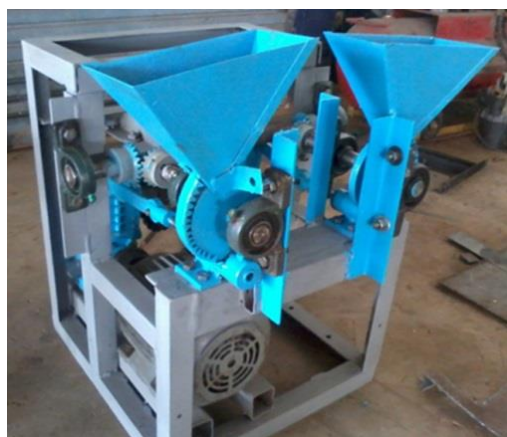
(a) The dry lotus seed sheller design by using CAD.



(b) The feeding unit.



(c) The shelling unit.



(d) Prototype of dry lotus seed sheller.

Figure 4 Schematic of dry lotus seed sheller prototype.

2.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงาน

เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งต้นแบบได้ถูกทดสอบสมรรถนะการทำงาน และคุณภาพในการกะเทาะ โดยประเมินสมรรถนะการทำงานจากค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

ก) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ (Percentage of shelling, %)

$$\% \text{Shelling} = \frac{\text{Number of shelled seeds}}{\text{Total number of seeds}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ Number of shelled seeds คือ จำนวนเมล็ดที่กะเทาะเปลือกออก และ Total number of seeds คือ จำนวนเมล็ดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

ข) เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย (Percentage of damage, %)

$$\% \text{Damage} = \frac{\text{Number of damaged seeds}}{\text{Total number of seeds}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ Number of damaged seeds คือ จำนวนเมล็ดที่เสียหาย (เมล็ดบัวหลวงหลังการทดสอบที่แตกทุกๆ แบบ ดังแสดงใน Figure 6c)

ค) ความสามารถในการทำงาน (Working capacity, kg hr⁻¹)

$$\text{Working capacity} = \frac{\text{Number of shelled seeds}}{\text{Total working time}} \quad (3)$$

โดยที่ Total working time คือ เวลาทำงานทั้งหมด

ง) อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (Power consumption, kW-hr)

$$\text{Power consumption} = \frac{IVt}{1000} \quad (4)$$

โดยที่ I คือ กระแสไฟฟ้า (A), V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) และ t = เวลาในการทำงาน (hr)

ใช้เมล็ดบัวหลวงขาวแห้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 11.5-12.0 mm และมากกว่า 12.0 mm สำหรับชุดกะเทาะที่ติดตั้งมีดกะเทาะเมล็ดขนาด 10.5 (ชุดกะเทาะที่ 1) และ 11.5 mm (ชุดกะเทาะที่ 2) ตามลำดับ และเมล็ดบัวมีความชื้น 7.2% w.b.

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมื่อทดสอบที่ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวมากกว่า 40 rpm เมล็ดบัวจะเกิดความเสียหายจำนวนมาก ดังนั้นจึงเลือกทดสอบที่ความเร็วของลูกเบี้ยว 20, 30 และ 40 rpm ตามลำดับ (ความเร็วของก้านกระทุ้งของชุดกะเทาะเท่ากับ 8.8, 13.3 และ 17.7 mm s⁻¹ ตามลำดับ) โดยแต่ละความเร็วรอบทำการทดสอบซ้ำกัน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้เมล็ดบัว 100 เมล็ด

2.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

2.4.1 การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้ง สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการกะเทาะเมล็ดบัว ส่วนต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า และค่าจ้างแรงงาน (Hunt, 2001)

2.4.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี (Hunt, 2001)

2.4.3 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณเปรียบเทียบการกะเทาะเมล็ดบัว โดยใช้แรงงานคนกับเครื่องต้นแบบว่าสามารถใช้ต้นทุนในการทำงานเท่ากับต้นทุนของการกะเทาะเมล็ดบัวได้ปริมาณเท่าไร

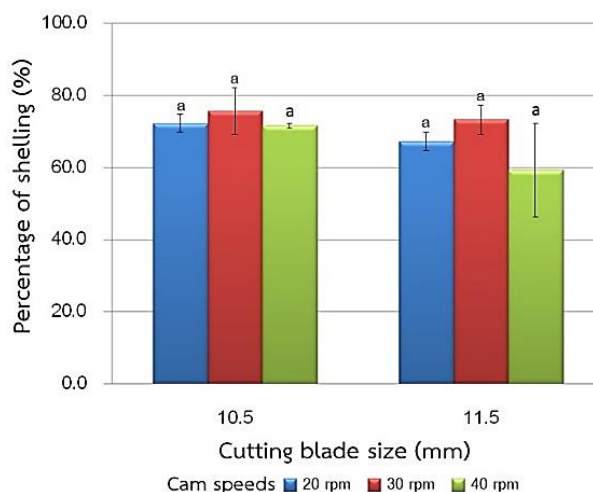
3 ผลและวิจารณ์

3.1 เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

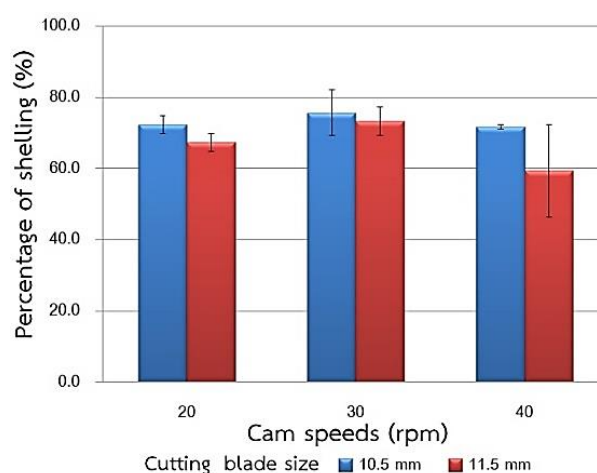
จากการทดสอบเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งต้นแบบที่ความเร็วรอบของลูกเบี้ยวขับต่างๆ (Figure 5) พบว่าที่ความเร็วรอบของลูกเบี้ยว 20, 30 และ 40 rpm ชุดกะเทาะชุดแรกมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 72.3 ± 2.5 , 75.7 ± 6.4 และ $71.1 \pm 0.6\%$ ตามลำดับ ส่วนชุดกะเทาะชุดที่สองมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ $67.3 \pm 2.5\%$, 73.3 ± 4.0 และ $59.3 \pm 13.0\%$ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะของชุดกะเทาะแต่ละชุดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ความเร็วรอบของลูกเบี้ยวต่าง ๆ (Figure 5a) ชุดกะเทาะที่ติดตั้งใบมีดขนาด 10.5 mm จะมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงกว่าชุดกะเทาะที่ติดตั้งใบมีดขนาด 11.5 mm (Figure 5b)

เครื่องต้นแบบมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงที่สุดที่ความเร็วรอบของลูกเบี้ยว 30 rpm (ความเร็วของก้านกระทุ้งของชุดกะเทาะเท่ากับ 13.3 mm s^{-1}) ดังนั้นจึงเป็นความเร็วที่เหมาะสมในการทำงาน เนื่องจากทำให้เปลือกของเมล็ดบัวหลวงแตกออกมามากและมีความเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



(a) Percentage of shelling at different cam speeds: (In each cutting blade size, followed by a common letter are not significantly different at 5% by DMRT).



(b) Shelling percentages at different cam speeds.

Figure 5 Shelling percentages at different cutting blade size and cam speeds.

3.2 เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

Figure 6 แสดงเมล็ดบัวก่อนการกะเทาะ (a) เมล็ดบัวหลังการกะเทาะ (b) และเมล็ดบัวที่เสียหายจากการกะเทาะ (c) ซึ่งจะเห็นว่าเมล็ดบัวหลังการกะเทาะบางเมล็ดจะมีเปลือกติดอยู่บางส่วนสามารถที่จะใช้มือแยกเปลือกออกหรือฝัดด้วยกระด้งจากการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ความเร็วรอบของลูกเบี้ยว 20, 30 และ 40 rpm ชุดกะเทาะชุดแรกมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 19.2 ± 0.3 , 18.2 ± 0.7 และ $21.2 \pm 1.0\%$ ตามลำดับ ส่วนชุดกะเทาะชุดที่สองมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย $22.3 \pm 0.8\%$, 20.2 ± 1.8 และ $30.2 \pm 1.3\%$ ตามลำดับ (Figure 7)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวที่เกิดขึ้นของชุดกะเทาะแต่ละชุดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทดสอบที่ความเร็วการหมุนของลูกเบี้ยวต่างๆ (Figure 7a) ชุดกะเทาะทั้งสองชุดจะมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวสูงสุดที่ความเร็วของลูกเบี้ยว 40 rpm

เนื่องจากแรงกระแทกของก้านกระทิงของชุดกะเทาะที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 17.7 mm s^{-1} ส่วนความเร็วของลูกเบี้ยว 20 และ 30 rpm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจะเกิดต่ำที่สุดที่ความเร็วของลูกเบี้ยว 30 rpm ดังนั้นความเร็วนี้จึงเป็นความเร็วที่เหมาะสมในการใช้งาน

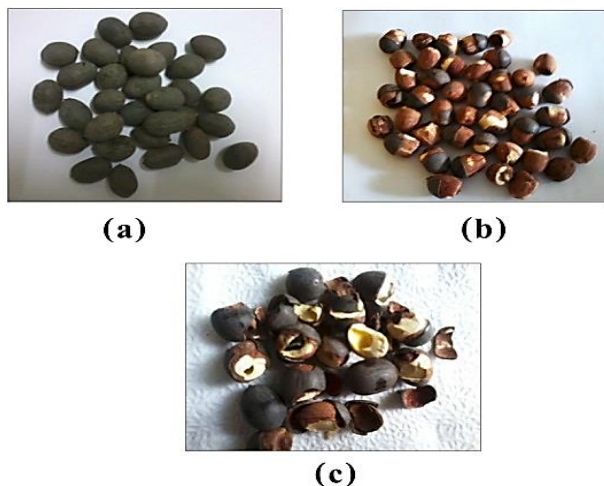
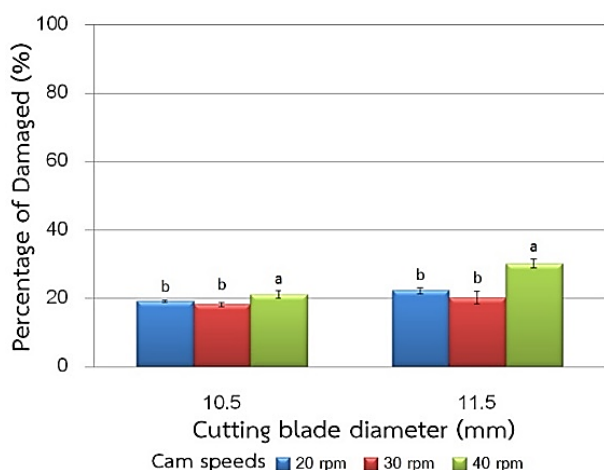
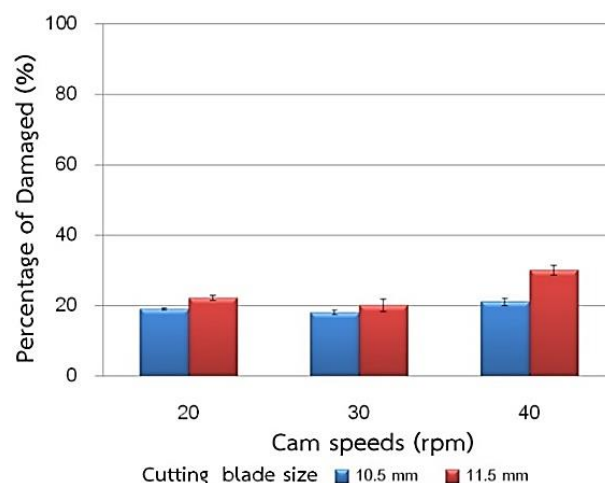


Figure 6 Dry lotus seed (a), Dry lotus seed after shelling (b) and Seed damaged (c).



(a) Seed damaged at different cam speeds: (means in each cutting blade size, followed by a common letter are not significantly different at 5% by DMRT).



(b) Seed damaged at different cam speeds.

Figure 7 Seed damaged at different cutting blade size and cam speeds.

3.3 ความสามารถในการทำงาน

ความสามารถในการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวง แห่งที่ความเร็วการหมุนของลูกเบี้ยว 20, 30 และ 40 rpm เท่ากับ 1.1 ± 0.0 , 1.3 ± 0.1 และ $1.1 \pm 0.1 \text{ kg hr}^{-1}$ ตามลำดับ (Figure 8) ซึ่งที่ความเร็วของลูกเบี้ยว 30 rpm เครื่องต้นแบบจะมีความสามารถในการทำงานสูงสุดเนื่องจากที่ความเร็วนี้มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงและเกิดความเสียหายน้อยที่สุดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

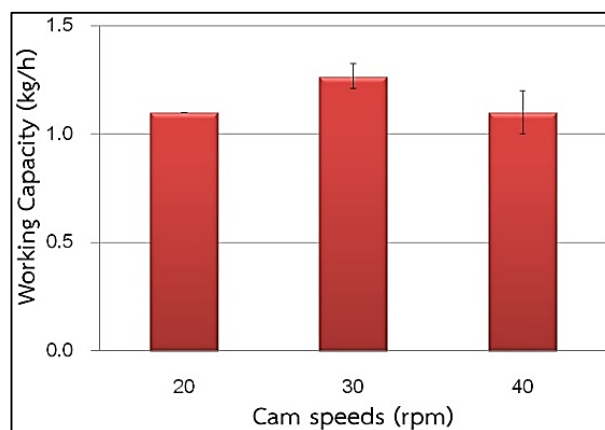


Figure 8 Machine capacity at different cam speeds.

3.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการทดสอบจะเห็นว่าช่วงความเร็วของลูกเบี้ยวที่ใช้ในการทดสอบทั้งสามความเร็ว ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างในการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะมีค่าระหว่าง 0.51-0.53 kW-hr (Figure 9) ซึ่งจะนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลูกเบี้ยวหมุนด้วยความเร็ว 30 rpm เท่ากับ 0.52 kW-hr ไปเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป

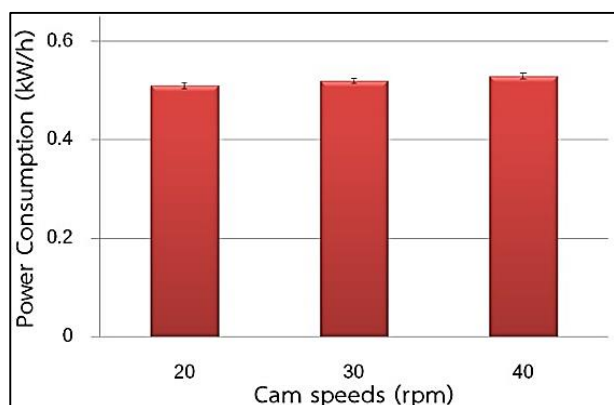


Figure 9 Power consumption at different cam speeds.

3.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 19,000 Baht (Table 1) อายุการใช้งาน 5 year อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน $1.3 \pm 0.1 \text{ kg hr}^{-1}$ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.52 kW-hr และทำงาน $1,200 \text{ hr year}^{-1}$ จะได้ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง 24 Baht kg^{-1} ระยะเวลาคืนทุน 3 month และจุดคุ้มทุน 40 hr year^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกะเทาะด้วยแรงงานคน 1 คน ที่ทำงานได้ 0.3 kg hr^{-1} ด้วยค่าจ้าง 100 Baht kg^{-1}

Table 1 Cost of dry lotus seed sheller prototype.

Item	Amount (Baht)
1. Electric motor and Gear box	6,500
2. Materials cost	
2.1 Main frame	2,000
2.2 Feeding unit	1,500
2.3 Shelling unit	2,500
2.4 Power transmission unit	3,000
3. Skilled labor cost for fabrication	3,500
Total	19,000

4 สรุป

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งโดยใช้ค่าชี้ผลการศึกษาคือ เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ความสามารถในการทำงาน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวขับเคลื่อนกะเทาะ 30 rpm ความสามารถในการทำงาน $1.3 \pm 0.1 \text{ kg hr}^{-1}$ ทำงานได้มากกว่าเกษตรกร 4 เท่า และมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่ำกว่าการกะเทาะโดยเกษตรกร ซึ่งชุดกะเทาะชุดแรกมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 75.7 ± 6.4 และ $18.2 \pm 0.7\%$ ตามลำดับ ส่วนชุดกะเทาะชุดที่สองมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 73.3 ± 4.0 และ 20.2 ± 1.8 ตามลำดับ มีอัตราการสิ้นเปลือง

พลังงานไฟฟ้า 0.52 kW-hr จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 ปี ใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวง 1,200 hr มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 24 Baht kg^{-1} ระยะเวลาคืนทุน 3 month และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 40 hr year^{-1} สามารถที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2554. สถานการณ์การผลิตบัว. แหล่งข้อมูล: <http://www.doae.go.th/LIBRARY/html/detail/sacreslotus/01.htm>. เข้าถึงเมื่อ: 24 มกราคม 2555.
- กมลวรรณ เตชะวนิช. 2554. คู่มือปลูกและดูแลดอกบัว ราชนิมน้ำ-ประดับสวนสวย. กรุงเทพมหานคร: ไทยควอลิตี้บุ๊คส์.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. 2552. เครื่องกะเทาะเมล็ดบัวตากแห้ง. แหล่งข้อมูล: http://bverd.net/project_detail.php?project_id=89 เข้าถึงเมื่อ: 24 มกราคม 2554.
- จตุรงค์ ลังกาพันธ์, สุนัน ปานสาคร, ภูรินทร์ อัครกุลธร. 2557. การออกแบบและพัฒนาเครื่องแท่งตีบัว. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 20(1): 9-15
- จตุรงค์ ลังกาพันธ์. 2555. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนได้ด้วยตัวเอง). กรุงเทพมหานคร: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ทวีพงศ์ สุวรรณโร. 2550. การทำนํ้าบัว. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรพรรณ วิจิตรวิทยาพงศ์. 2552. เมล็ดบัวแปรรูปที่พิจิตรสร้างงานเงินให้ชาวบ้านสี่ฟ. คอลัมน์ ชุมชนเข้มแข็ง หนังสือพิมพ์มติชน. แหล่งข้อมูล: http://www.matichon.co.th/matichon/view_news. เข้าถึงเมื่อ: 24 มกราคม 2555.
- Anon, 1983. Moisture Measurement (pp. 329-330). ASAE Standard S 410, Agricultural Engineers Handbook.
- Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery. (10th Edition). Ames, Iowa, USA: Iowa State University Press.
- Krutz, G., Thomson, L., Claar, P. 1994. Design of Agricultural Machinery. New York, USA: John Wiley and Sons Inc.
- Myszka, D.H. 2012. Machines and Mechanisms: Applied Kinematic Analysis, (4th edition). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education.
- Shigley, J.E., Mischke, C.R. 1989. Mechanical Engineering Design. (5th Edition). New York, USA: McGraw-Hill Book Company.