

# การออกแบบและสร้างเครื่องผ่าเมล็ดตาล

## Design and Fabrication of Palmyra Seed Splitting Machine

สุหนัน ปานสาคร<sup>1\*</sup>, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์<sup>1</sup> และ รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์<sup>1</sup>

Sunan Parnsakhorn<sup>1\*</sup>, Jaturong Langkapin<sup>1</sup> and Rongruang Kalsirisilp<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างเครื่องผ่าเมล็ดตาลเพื่อลดเวลาและแรงงานในการผ่าเมล็ดตาลเพื่อแยกเอาจาวตาลออกจากเมล็ด เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดจับเมล็ด ชุดผ่าเมล็ด ชุดจัดเมล็ด ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากการป้อนเมล็ดตาลลงในชุดจับเมล็ดตาล ล็อกให้แน่นแล้วดันชุดจับเมล็ดให้หมุนไปตามร่องบังคับของเครื่องเข้าสู่ชุดผ่าเมล็ดตาลจนครบรอบ เปลือกแข็งของเมล็ดตาลจะถูกผ่าเกือบรอบเมล็ด จากนั้นนำเมล็ดตาลออกจากชุดจับเมล็ดและดึงเอาจาวตาลออกโดยชุดจัดเมล็ดตาล จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดเมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือนของชุดผ่าขนาด 4 นิ้ว มีพื้นที่ 40 ฟัน ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงาน 46 เมล็ด/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.99 kW-hr และไม่มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของจาวตาล จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 1,440 ชั่วโมง/ปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 0.96 บาท/เมล็ด ระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน และการทำงานที่จุดคุ้มทุน 205 ชั่วโมง/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน

**คำสำคัญ:** ต้นตาล, เมล็ดตาล, เครื่องผ่า

**ABSTRACT:** This research is concerned with the design and fabrication of a prototype *Palmyra* seed splitting machine to minimize the time and labor requirements in the extraction of *Palmyra* fruit apples. The prototype splitter consists of the main frame, holding units, cutting units, a splitting unit, a power transmission unit and a 0.5hp electric motor as the prime mover. In the operation, a *Palmyra* seed is first manually placed in the holding unit and securely tightened. The holding unit is next mechanically motioned along the circular guiding groove toward the cutting unit to cut open the outer shell of the *Palmyra* seed. The fruit is then removed from the holding unit for the subsequent extraction of the *Palmyra* fruit apple with the splitting unit. According to the experimental results, the optimal performance was achieved with the deployment of 4-inch, 40-tooth circular saw blades for the cutting unit, operating at 1,450 rounds/minute (rpm). The production capacity was 46±0.6 seeds/hour and the energy consumption was 0.99 kW-hour. In addition, the optimal speed of 1,450 rpm produced zero damaged *Palmyra* fruit apple. Furthermore, an engineering economic analysis showed that, at an annual usage rate of 1,440 hours, the machine cost was on average THB 0.95/seed, the payback period was 2 months and the breakeven point was 205 hours/ year.

**Keywords:** asian palmyra palm, palmyra seed, splitting machine

### บทนำ

ตาลโตนดเป็นไม้ในตระกูลเดียวกับปาล์มและมะพร้าว จัดเป็นไม้ชนิดใหม่ผลที่พบได้ทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย เช่น จังหวัดสงขลา เพชรบุรี ราชบุรี

สุพรรณบุรี นครปฐม ชัยนาท พิษณุโลก และ จังหวัดอื่นๆ (พจน์, 2540) ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของตาลโตนดมีมากมายตั้งแต่ ราก ลำต้น ใบ ดอก และผล โดยรากลำนำมาทำยา ลำต้นนำมาทำตะเกียบ ใบนำมาทำกระดาษ น้ำตาลจากวงตาลนำมาทำน้ำตาลสด

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

\* Corresponding author: sunan.p@en.rmutt.ac.th

ผลตาลอ่อนนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลไม้ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ผลตาลสุกนำมาใช้กับน้ำหรือเรียกว่าเนื้อตาลใช้ทำขนมตาล ผลผลิตจากต้นตาลเป็นสินค้าเกษตรที่ช่วยเพิ่มรายได้เสริมให้กลุ่มเกษตรกรที่ปลูกตาลไว้ตามคันทนา หรือเป็นรายได้หลักให้แก่เกษตรกรที่ปลูกตาลในเชิงพาณิชย์ เช่น เกษตรกร อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี หรือ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก (ทวีศักดิ์, 2551) ผลตาลสุกหลังจากนวดเอาเนื้อตาลออกหมดแล้วจะเหลือเมล็ดตาลที่มีเปลือกหุ้มแข็งๆ (จตุรงค์ และคณะ, 2559) เมื่อนำไปแช่น้ำแล้วนำเมล็ดตาลนั้นไปเพาะประมาณ 45 วัน เพื่อให้เมล็ดตาลงอกต้นอ่อนและปล่อยให้งอกอีก 30 วัน จะเกิดเนื้อภายในที่เรียกว่า “จาวตาล” (Figure 1a) สามารถนำไปทำจาวตาลเชื่อมรับประทานกับข้าวเหนียวมูน (Figure 1b) หรือนำมาชุบแป้งทอดเรียกว่า “โดนดทอด” เป็นอาหารประเภทคบเคี้ยวหรืออาหารว่างได้ (นิรนาม, 2556)



a



b

Figure 1 Photograph images of: (a) raw *Palmyra* fruit apple (b) *Palmyra* fruit apples in syrup

### วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผ่าเมล็ดตาลสำหรับใช้กับต้นตาลที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### ศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

#### ก) การศึกษาปัญหาและวิธีการผ่าเมล็ดตาลของเกษตรกร

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและวิธีการผ่าเมล็ดตาลของเกษตรกรในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูล

วิธีการแยกจาวตาลออกจากเมล็ดตาลของเกษตรกรจะใช้มีดสับไปรอบๆ เมล็ดตาล แล้วก็งัดเอาจาวตาลออก ซึ่งจะเห็นว่าขั้นตอนนี้ยังใช้แรงงานเป็นหลัก ทำให้เสียเวลาและไม่มีความปลอดภัยในการทำงานเนื่องจากกะลาหรือเปลือกของเมล็ดตาลแข็งมาก (เชลศ, 2555) สำหรับเครื่องผ่าเมล็ดตาลที่ได้ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นในประเทศยังทำงานหลายขั้นตอนและล่าช้าจึงอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริง (ชัยณรงค์ และคณะ, 2556; อภิชาติ และคณะ, 2556; สันติพงศ์ และคณะ, 2558) ดังนั้นจึงควรวิจัยเพื่อสร้างเครื่องผ่าเมล็ดตาลเพื่อแยกเอาจาวตาลออกให้ทำงานง่ายและทำงานได้รวดเร็วสำหรับใช้ทดแทนแรงงานคน แก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น และช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชนของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งต่อไป

สำหรับเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการศึกษาสัมภาษณ์เกษตรกร ต.ไรโคก อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี จำนวน 15 ราย (เพศชาย 10 ราย เพศหญิง 5 ราย) อายุระหว่าง 20-55 ปี ได้ผลการศึกษาดังนี้

1) วิธีการผ่าเมล็ดตาลด้วยแรงงานคนนั้นจะใช้มีดอโต้หลายขนาดแล้วแต่ความถนัดในการทำงานของแต่ละบุคคล การผ่าจะเริ่มจากการใช้มีดสับด้านข้างของเมล็ดตาลไปเรื่อยๆ จนกว่าจะรอบทั้งลูกแล้วใช้มีดงัดเอาจาวตาลออกมาจากเมล็ด ใช้เวลาในการผ่า 4-5 นาที/เมล็ด

2) ปกติเกษตรกรผู้ปลูกตาลจะเป็นผู้ผ่าเมล็ดตาลขายด้วยตัวเอง กรณีที่ตลาดมีความต้องการจาวตาลมากจะจ้างแรงงานผ่าเมล็ดตาลในราคา 1-2 บาท/เมล็ด

3) กลุ่มแม่บ้านที่ผลิตขนมจากจาวตาล เช่น จาวตาลเชื่อม จะมารับซื้อจาวตาลในราคา 3-5 บาท/จาว ขึ้นอยู่กับขนาดของจาวตาล

4) ปัญหาที่พบในขั้นตอนการผ่าเมล็ดตาล

- กะลาหรือเปลือกของเมล็ดตาลมีลักษณะแข็งมากคล้ายกะลามะพร้าว ผู้ผ่าจะต้องมีความชำนาญและระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากมีดที่ใช้ผ่าเมล็ดตาล

- ขาดแคลนแรงงานในกรณีที่ตลาดมีความต้องการจาวตาลมาก และยังไม่มีการนำเครื่องจักรกลมาใช้ในขั้นตอนนี้

5) คุณลักษณะของเครื่องผ่าเมล็ดตาลที่ต้องการ

- ทำงานได้รวดเร็วและต่อเนื่อง
- กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน ะไหล่หาซื้อง่าย
- บำรุงรักษาง่ายทนทานและราคาไม่แพง

#### ข) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดตาล

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดตาล (Sahin and Sumnu, 2006) ได้แก่ ขนาดใหญ่สุดและเล็กสุดของความกว้าง (W) ความสูง (H) และความหนา (T) ของเมล็ดตาล รวมทั้งความหนาของเนื้อและเปลือกก่อนถึงจาวตาล (t) สำหรับใช้เป็นเกณฑ์

ในการออกแบบชุดจับเมล็ดตาล และคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของชุดจับเมล็ดที่จะนำเมล็ดตาลเข้าไปผ่ากับชุดผ่าเมล็ด เป็นต้น ดำเนินการศึกษาโดยการสุ่มวัดขนาดเมล็ดตาลพันธุ์ผสมจำนวน 100 เมล็ด ที่ปลูกใน อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งตำแหน่งในการวัดแสดงดัง Figure 2

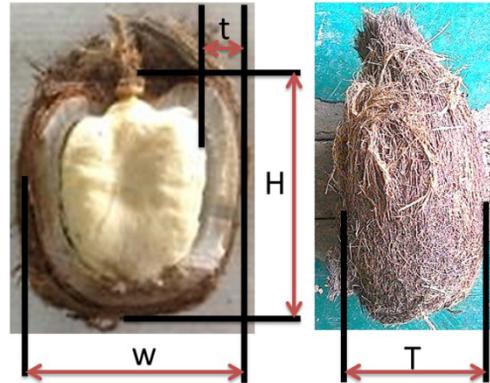


Figure 2 Dimensional measurements of *Palmyra* seeds

จากการศึกษาพบว่าความกว้างของเมล็ดตาลมีค่าระหว่าง 64-96 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย  $75 \pm 6.7$  มิลลิเมตร ความสูงของเมล็ดตาลมีค่าระหว่าง 76-120 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย  $89.8 \pm 10.4$  มิลลิเมตร ความหนาของเมล็ดตาลมีค่าระหว่าง 40-65 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย  $51.9 \pm 6.3$  มิลลิเมตร และความหนาของเนื้อและเปลือกก่อนถึงจาวตาลมีค่าระหว่าง 7-12 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย  $9.7 \pm 1.5$  มิลลิเมตร (Table 1) ซึ่งจะใช้ค่าที่ได้นี้ไปออกแบบเครื่องต้นแบบต่อไป

Table 1 Physical dimensions of *Palmyra* palm seeds

Properties	Measurements (mm)			
	Width (W)	Height (H)	Thickness (T)	Shell Thickness (t)
Maximum	96	120	65	12
Minimum	64	76	40	7
Average	75	89.8	51.3	9.7
Standard deviation ( $\pm$ )	6.7	10.4	6.3	1.5

### การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องผ่าเมล็ดตาลนั้นนอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ยังได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกล (Shigley and Mischke, 1989) และเครื่องจักรกลเกษตร (จตุรงค์, 2558; Krutz et al., 1994) รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบ

(จตุรงค์, 2555) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง (Main frame) ชุดจับเมล็ดตาล (Holding unit) ชุดผ่าเมล็ดตาล (Cutting unit) ชุดจัดเมล็ดตาล (Splitting unit) ระบบส่งกำลัง (Power transmissions unit) และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง (Figure 3) โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้

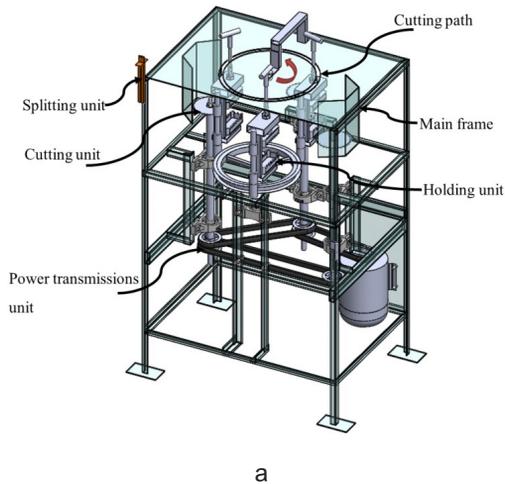


Figure 3 The *Palmyra* seed splitting machine: (a) the schematic (b) the machine prototype

- **โครงสร้างของเครื่อง** โครงสร้างที่ออกแบบมีขนาดกว้าง 530 มิลลิเมตร ยาว 730 มิลลิเมตร สูง 860 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้สร้างส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กฉากขนาด 1.5 x 1.5 นิ้วหนา 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องผ่าเมล็ดตาลจะติดตั้งบนโครงสร้างด้วยนิตและสกรู

- **ชุดผ่าเมล็ดตาล** มีหน้าที่หลัก คือ ผ่ารอบๆ เมล็ดตาล ประกอบด้วยใบเลื่อยวงเดือนขนาด 4 นิ้ว 40 ฟัน จำนวน 3 ใบ ติดตั้ง 3 ตำแหน่ง ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของชุดจับเมล็ด การส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้าไปขับชุดผ่าเมล็ดจะใช้พู่เลย์และสายพานเนื่องจากออกแบบง่ายไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน ราคาถูก และหาซื้อง่าย (Figure 4)

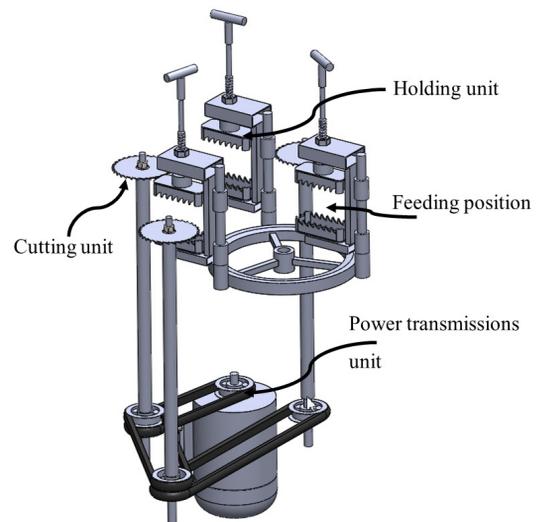


Figure 4 The schematic of the cutting unit and its power transmission, and holding unit

• **ชุดจับเมล็ดตาล** ดัง Figure 4 ทำหน้าที่จับยึดเมล็ดตาลและนำเมล็ดตาลเข้าไปผ่ายังชุดผ้าเมล็ดตาล ประกอบด้วย

▪ **เป้าจับเมล็ดตาล** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดเมล็ดตาลติดตั้งบนล้อหมุนจำนวน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยปากล่างเป็นชิ้นส่วนที่อยู่กับที่และปากบนเป็นชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงด้วยการหมุนของเกลียวยาบ ระยะเวลาติดตั้งปากล่างของเป้าจับและใบเลื่อยวงเดือนจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาเฉลี่ยของเมล็ดตาลเพื่อให้ใบเลื่อยวงเดือนตัดบริเวณกึ่งกลางตามความหนาของเมล็ดตาล ส่วนขนาดของเป้าจับจะมีความกว้างและความยาวเท่ากับความกว้างและความสูงมากที่สุดของเมล็ดตาลเพื่อให้ฟันของปากจับมีพื้นที่ที่สามารถจับเมล็ดได้ทุกขนาด

▪ **ร่องบังคับการเคลื่อนที่ของชุดจับเมล็ด** มีลักษณะเป็นร่องวงกลมขนาด 28 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมวงใน 300 มิลลิเมตร (Figure 3) ใช้บังคับการเคลื่อนที่ของชุดจับเมล็ดเข้าสู่ชุดผ้าเมล็ด และควบคุมความลึกในการผ่าเมล็ดตาลไม่ให้เกิดความหนาของเนื้อและเปลือกก่อนถึงจาวตาลซึ่งได้ใช้ค่าความหนาของเนื้อและเปลือกก่อนถึงจาวตาลที่น้อยที่สุดจากการวัดมาคำนวณตำแหน่งการวางของใบเลื่อยวงเดือนและชุดจับเมล็ด โดยส่วนปลายของเป้าจับเมล็ดตาลตัวบนจะประกอบและถูกบังคับให้เคลื่อนที่อยู่ในร่องบังคับนี้

• **ชุดจัดเมล็ดตาล** ทำหน้าที่จัดแยกเปลือกของเมล็ดตาลออกจากกันเพื่อเอาจาวตาลออกหลังจากเมล็ดตาลถูกผ่าโดยชุดผ้าเมล็ดแล้ว มีลักษณะและการทำงานคล้ายกรรไกร (Figure 3) ผู้ควบคุมเครื่องวางเมล็ดตาลส่วนที่เป็นรอยผ้าไว้ที่ส่วนบนของชุดจัดเมล็ด แล้วข้างขาของชุดจัดเมล็ดออกเปลือกของเมล็ดตาลก็จะถูกแยกออกจากกันตามแนวรอยผ้า

การทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดตาลเริ่มจากการป้อนเมล็ดตาลลงในชุดจับเมล็ด ล็อกให้แน่นแล้วดันชุดจับเมล็ดให้หมุนไปตามร่องบังคับการเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดผ้าเมล็ดจนครบรอบ เปลือกแข็งของเมล็ดตาลจะถูกผ่าเกือบรอบเมล็ด จากนั้นนำเมล็ดตาลออกจากชุดจับเมล็ดและใช้ชุดจัดเมล็ดตาลจัดเอาจาวตาลออก

## การทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ

หลังจากการทดสอบเบื้องต้นและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของเครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบแล้ว ต่อจากนั้นจึงได้ทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเครื่อง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ จำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือน 24, 30 และ 40 ฟัน (กำหนดจำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนตามมาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไป) และความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือน 1,450, 2,000 และ 2,550 รอบ/นาที ตามลำดับ ใช้เมล็ดตาลพันธุ์ผสมเพาะออกตลอดการทดสอบมีความกว้างของเมล็ดระหว่าง 63-96 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 75.5±5.4 มิลลิเมตร ความสูงของเมล็ดระหว่าง 76-120 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 88.7±9.7 มิลลิเมตร ความหนาของเมล็ดระหว่าง 41-63.5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 50.6±6.1 มิลลิเมตร โดยแต่ละการทดสอบจะใช้เมล็ดตาล 15 เมล็ด ป้อนด้วยมืออย่างต่อเนื่อง ทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ ใช้เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ความสามารถในการทำงาน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษา และใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Gomez et al., 1984) ซึ่งมีสมการค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

$$1) \text{ เปอร์เซนต์ความเสียหายของจาวตาล (\%)} \\ \text{เปอร์เซนต์ความเสียหาย} \\ = \frac{\text{จำนวนจาวตาลที่เสียหาย}}{\text{จำนวนเมล็ดตาลที่ใช้ทดสอบทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

จาวตาลที่เสียหายคือจาวตาลหลังการทดสอบที่มีรอยแตก รอยตัดเฉียงไม่เป็นรูปร่างเดิมทุกๆ แบบ (Figure 5c)

$$2) \text{ ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องผ่าเมล็ดตาล (เมล็ด/ชั่วโมง)} \\ \text{ความสามารถในการทำงานจริง} \\ = \frac{\text{จำนวนจาวตาลดีที่ได้จากการทดสอบ}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (2)$$

3) อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าของเครื่องผ่าเมล็ดตาล (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

อ่านค่าอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าจากกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อชั่วโมงที่ต่อเข้ากับเครื่องผ่าเมล็ดตาลขณะทดสอบ

### การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ก) การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องผ่าเมล็ดตาล สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องผ่าเมล็ดตาลแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องผ่าเมล็ดตาลได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผ่าเมล็ดตาล (Hunt, 2001)

ข) การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องผ่าเมล็ดตาลไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องผ่าเมล็ดตาลหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องผ่าเมล็ดตาล 5 ปี (Hunt, 2001)

3) การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point) เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบ โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการผ่าเมล็ดตาลจากการใช้เครื่องต้นแบบและการผ่าเมล็ดตาลด้วยแรงงานคน (Hunt, 2001)

### ผลการศึกษาและวิจารณ์

Figure 5 แสดงเมล็ดตาลก่อนการทดสอบ (a) ซึ่งหลังจากได้นำเมล็ดตาลไปทดสอบโดยเครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบแล้ว จะได้จาวตาลที่มีลักษณะเป็นเนื้อสีเหลืองอยู่เต็มภายในเมล็ดตาล (b) พร้อมทั้งจะเคาะออกไปจำหน่ายหรือแปรรูป จาวตาลที่มีเนื้อเต็มสมบูรณ์จะขายได้ราคาดี ส่วนจาวตาลที่แตกเสียหาย (c) ก็สามารถจะขายได้เช่นกันแต่ราคาจะลดลงครึ่งหนึ่ง (สุรัตน์, 2558) ซึ่งเครื่องผ่าที่จะนำไปใช้ทดแทนแรงงานคนควรจะเป็นเครื่องที่ผ่าเมล็ดตาลแล้วต้องไม่เกิดความเสียหายใดๆ แก่จาวตาลหรือมีความเสียหายน้อยที่สุด

ผลการทดสอบเครื่องผ่าเมล็ดตาลที่จำนวนพันและความเร็วรอบในการทำงานของชุดตัดต่างๆ ได้นำเสนอตามค่าชี้ผลการศึกษา ดังนี้

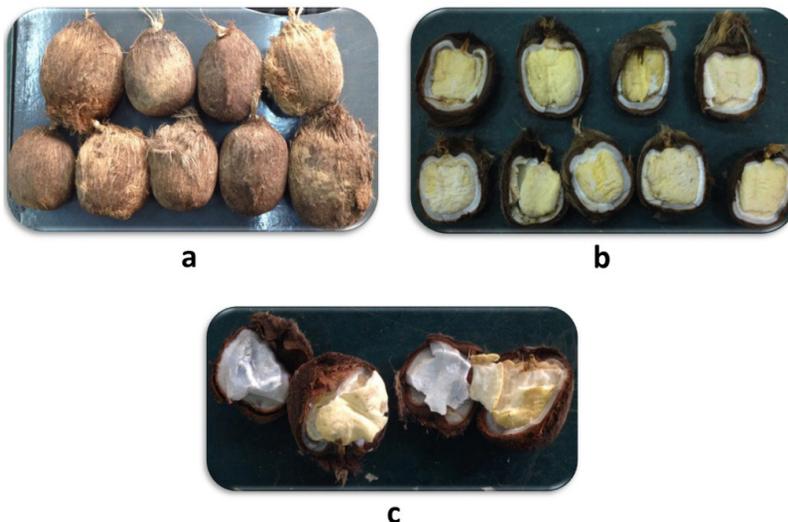


Figure 5 Photograph images of: (a) Palmyra seeds, (b) Palmyra fruit apples, (c) damaged Palmyra fruit apples

**เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของจาวตาล**

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของจาวตาลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่จำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือน และที่ความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนต่างๆ (Figure 6) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนลดลงและความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนเพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของจาวตาลเพิ่มขึ้นตาม

ในกรณีที่ทดสอบด้วยความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนเดียวกัน ความเสียหายของจาวตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟันของใบเลื่อยวงเดือนหยาบขึ้น ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายสูงที่สุดถึง 33% เมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือน 24 ฟันทำงานที่ความเร็วรอบ 2,550 รอบ/นาที ความเสียหายของจาวตาลจะลดลงเมื่อเปลี่ยนการทดสอบกับใบเลื่อยวงเดือนที่มีจำนวนฟันมากขึ้น และไม่มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเลยเมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือน 40 ฟันทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 หรือ 2,000 รอบ/นาที

ส่วนในกรณีที่ทดสอบด้วยจำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนเดียวกัน ความเสียหายของจาวตาลจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน จากการสังเกตขณะทดสอบพบว่าเมื่อผู้ควบคุมเครื่องป้อนเมล็ดตาลที่ล้อยอกอยู่ในชุดจับเมล็ดเข้าสู่ชุดตัดในกรณีที่ฟันของใบเลื่อยวงเดือนหยาบ (จำนวนฟันน้อย) และหมุนทำงานด้วยความเร็วรอบสูงจะเกิดแรงกระแทกกับเปลือกหรือกะลาของเมล็ดตาลมากกว่าการใช้ใบเลื่อยวงเดือนฟันละเอียด (จำนวนฟันมาก) และหมุนทำงานด้วยความเร็วรอบต่ำ ซึ่งแรงกระแทกนี้จะส่งผลให้เปลือกหรือกะลาของเมล็ดตาลแตกขณะการผ่าทำงานจึงทำให้จาวตาลที่อยู่ภายในเมล็ดแตกเสียหายไปด้วยแสดงดังผลการทดสอบ

ดังนั้นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผ่าเมล็ดตาลของเครื่องผ่าเมล็ดตาลให้ทำงานได้อย่างนุ่มนวลและไม่ให้เกิดความเสียหายกับจาวตาล คือ ใช้ใบเลื่อยวงเดือนที่มีฟัน 40 ฟัน ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที

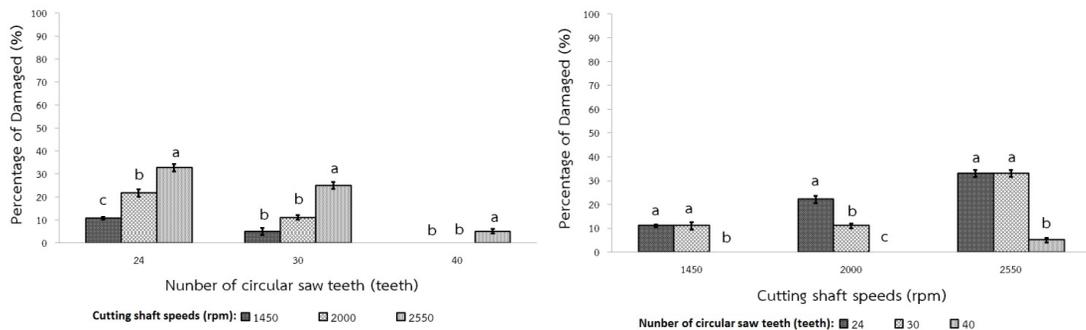


Figure 6 Percentage of damaged fruits with various numbers of saw teeth and cutting speeds, where the letters a, b and c indicate the statistical differences between treatments (P < 0.05)

**ความสามารถในการทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดตาล**

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความสามารถในการทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดตาลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่จำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือน และที่ความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนต่างๆ (Figure 7) แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนลดลงและความเร็วรอบ

ของใบเลื่อยวงเดือนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดตาลลดลง

จากผลการทดสอบพบว่า ความสามารถในการทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดตาลสูงที่สุด คือ 46 เมล็ด/ชั่วโมง เมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือนที่มีฟัน 40 ฟันทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที เนื่องจากเมล็ดตาลเกิดการเสียหายจากแรงกระแทกของใบเลื่อยวงเดือนน้อยที่สุด ดังนั้นใบเลื่อยวงเดือนที่มีฟัน 40 ฟัน ทำงานที่

ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการผ่าเมล็ดตาลของเครื่องผ่าเมล็ดตาล ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคน

3 เท่า (ปกติแรงงานคนจะผ่าเมล็ดตาลได้ประมาณ 15 เมล็ด/ชั่วโมง) และสามารถที่จะนำไปใช้ทดแทน แรงงานคนได้ต่อไปในอนาคต

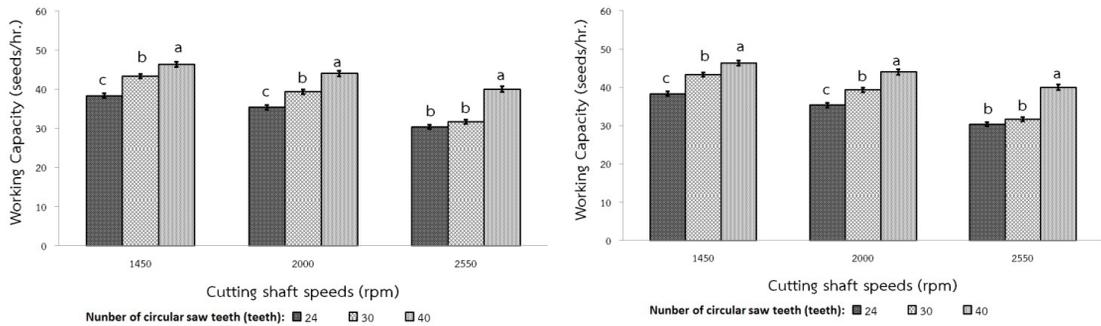


Figure 7 Working Capacity with various numbers of saw teeth and cutting speeds, where the letters a, b and c indicate the statistical differences between treatments ( $P < 0.05$ )

### อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผ่าเมล็ดตาลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบที่ความเร็วรอบของใบเลื่อยวงเดือนของชุดตัดต่างๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบที่จำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนต่างๆ (Figure 8)

จากผลการทดสอบพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องผ่าเมล็ดตาลที่จำนวนฟันของใบเลื่อยวงเดือนต่างๆ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของ

ใบเลื่อยวงเดือน 1,450, 2,000 และ 2,550 รอบ/นาที เท่ากับ 0.99, 1.49 และ 1.98 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจึงต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามนั่นเอง ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการผ่าเมล็ดตาล คือ ใช้ใบเลื่อยวงเดือนที่มีฟัน 40 ฟัน ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.99 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นค่าที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป

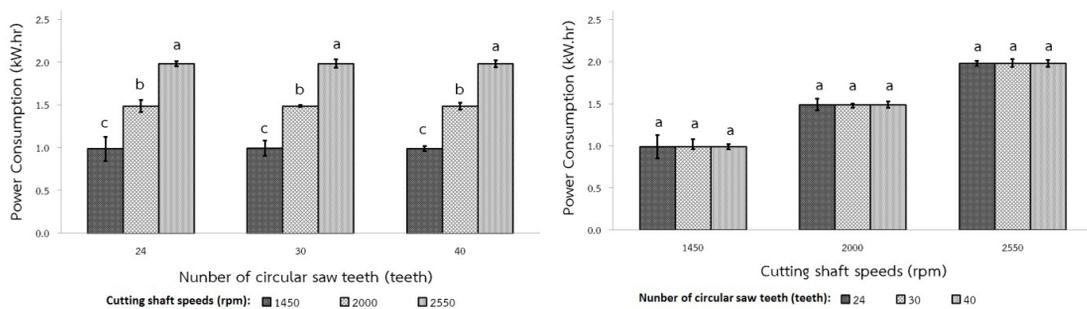


Figure 8 Power consumption with various numbers of saw teeth and cutting speeds, where the letters a, b and c indicate the statistical differences between treatments ( $P < 0.05$ )

### ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบ 12,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 46 เมล็ด/ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.99 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คำนวณต้นทุนคงที่ได้ 2,820 บาท/ปี และต้นทุน

ผันแปร 60,789 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายรวม 63,609 บาท/ปี (Table 2) หรือคิดเป็น 0.96 บาท/เมล็ด เมื่อใช้เครื่องทำงาน 1,440 ชั่วโมง/ปี (กำหนดให้เครื่องทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ทำงานปีละ 180 วัน) จะมีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน และจุดคุ้มทุน 205 ชั่วโมง/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับการผ่าเมล็ดตาลด้วยแรงงานของเกษตรกร

Table 2 Economic analysis of a *Palmyra* seed splitting machine

Particular	Amount
<b>Fixed cost</b>	
- Purchase price, $P_p$	12,000 Baht
- Salvage value, $S = 10\% P_p$	1,200 Baht
- Useful life of the planter, $y_r$	5 years
- Interest rate	10% / year
1) Depreciation, $D = (P_p - S)/y_r$	2,160 Baht/year
2) Interest, $I = (P_p + S)i/2$	660 Baht/year
3) Total fixed cost, $F_c = (1)+(2)$	2,820 Baht/year
<b>Variable cost</b>	
- Assume working/year	180 days
- Regular working hours	8 hours/day
- Capacity of machine	46 seeds/hour
- Assume repair and maintenance rate	10 Baht/day
- Power consumption	0.99 kW-hour
- Labor cost for operation	300/day
4) Repair and maintenance cost, $10 \times 180$	1,800 Baht/year
5) Power consumption cost, $0.99 \times 3.5 \times 180 \times 8$	4,989 Baht/year
6) Labor cost, $300 \times 180$	54,000 Baht/year
7) Total Variable cost, $V_c = (4)+(5)+(6)$	60,789 Baht/year
8) Total operating cost, $T_c = (3)+(7)$	63,609 Baht/year

1US\$ = 35 Thai Baht

### สรุป

การผ่าเมล็ดตาลเพื่อแยกเอาจาวตาลไปขายหรือทำขนมของเกษตรกรเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งมีปัญหาอยู่หลายประการ ได้แก่ ใช้เวลาในการทำงานมาก ความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุมีติดบาดมือ รวมถึงการขาดแคลนแรงงานในการทำงานในช่วงที่ตลาดต้องการจาวตาลมากเป็นพิเศษ เพื่อผ่อน

คลายปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องผ่าเมล็ดตาลต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อกรออกแบบจนได้เครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดจับเมล็ด ชุดผ่าเมล็ด ชุดจัดเมล็ด ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง จากการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุด เมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือนของชุดผ่าเมล็ดตาลขนาด 4 นิ้ว มีฟัน 40 ฟัน

หมุนทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงาน 46 เมล็ด/ชั่วโมง ไม่มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของจาวตาล และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.99 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถที่จะนำไปใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไปในอนาคต

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบคุณภาคทฤษฎีวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการสร้างและทดสอบต่างๆ

### เอกสารอ้างอิง

- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2555. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนลัดด้วยตัวเอง). สำนักพิมพ์ทริปเพิล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2558. ทฤษฎีของเครื่องจักรกลเกษตร. สำนักพิมพ์ทริปเพิล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร, ภูรินทร์ อัครกุลธร, สุกฤษฎี สร้อยแมน และศุภณัฐ สร้อยแมน. 2559. การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเนือตาลูก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี. 14(1).
- ชัยณรงค์ วงษ์เวช, ปิยะ มีคำเหลือง, นายวัฒน์ชัย บำรุงเขต, ประยุทธ์ ประกิจ, พีรณัฐ ปี่แก้ว, พงศดา ชูช่วย, เกษม อ่อนโอด, ดนุสรณ์ ด่อนหมากยิบ และเมทนีดล นาคกลั่น. 2556. เครื่องผ่าเมล็ดตาล. สิ่งประดิษฐ์ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยาลัยการอาชีพเขาย้อย.
- เชลศ อ่างฐิติกุล. 2555. สารคดีชาวสุภาพระภาคกลาง ตอนกว่าจะเป็นงอกตาลเชื่อม. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/zznq9v>. ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2558.
- พจน์ สัจจะ. 2540. ชุดสารคดีอาหาร: โลกวัฒนธรรมของอาหาร. สำนักพิมพ์แสงแดด, กรุงเทพฯ.
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. 2551. เกษตรกร อ.วัดโบสถ์ กับงานปลูกและค้าขายตาลโตนด. หนังสือพิมพ์มติชนออนไลน์. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/LDVTOF>. ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2558.
- นิรนาม. 2556. ตาลโตนด. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/cJZI28>. ค้นเมื่อ 30 มกราคม 2558.
- สันติพงศ์ หนูสุข, สุรียา ไทยเกิด และธวัชชัย ลิ้มสุวรรณ. 2558. เครื่องผ่าเมล็ดตาล. ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาตรี วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี. วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี.
- สุรัตน์ อัดตะ. 2558. เครื่องผ่าจาวตาลนวัตกรรมของกลุ่มผู้ค้าลูกตาลเชื่อม. หนังสือพิมพ์คมชัดลึกออนไลน์. แหล่งข้อมูล: <http://goo.gl/kwd6IZ>. ค้นเมื่อ 15 มกราคม 2558.
- อภิชาติ ทองจีน, นัฐพล แป้นโก้ และพิชญ์ พัฒน์มาศ. 2556. เครื่องผ่าจาวตาล. สิ่งประดิษฐ์ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี.
- Gomez, K.A., and A.A. Gomez. 1984. *Statistical Procedure for Agricultural Research*. 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, New York. 704 P.
- Hunt, D. 2001. *Farm Power and Machinery*. 10<sup>th</sup> Edition, Iowa State University Press. Ames, Iowa. 368 P.
- Krutz, G., Thomson, L., and P. Claar. 1994. *Design of Agricultural Machinery*. John Wiley and Sons. New York Chichester Brisbane, Toronto, Singapore. 472 P.
- Sahin, S., and S.G.Sumnu. 2006. *Physical Properties of Foods*. New York, Springer Science Business Media. 254 P.
- Shigley, J.E., and C.R. Mischke. 1989. *Mechanical Engineering Design*. 5<sup>th</sup> Edition. McGraw- Hill Book Company, USA. 779 P.