

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. ชุดโครงการวิจัย :
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาชุดเครื่องมือและกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวสำหรับกลุ่มเกษตรกร
 - กิจกรรม : วิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม
 - กิจกรรมย่อย : วิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม
3. ชื่อการทดลอง : วิจัยและพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม
 - ชื่อการทดลอง : Development of Tamarind Pod Sheller
4. คณะผู้ดำเนินงาน
 - หัวหน้าการทดลอง : นายนิทัศน์ ตั้งพินิจกุล สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
 - ผู้ร่วมงาน : นายปรีชา อานันท์รัตนกุล สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
 - นายวิบูลย์ เทพนนท์ สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
 - นายสุเทพ กลสิกรรม สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

5. บทคัดย่อ

ปัญหาหนึ่งของการแปรรูปมะขามเปรี้ยวในระดับกลุ่มเกษตรกรคือการแกะเปลือกซึ่งต้องใช้แรงงานจำนวนมากเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูง หากสามารถออกแบบพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะขามเปรี้ยวที่มีประสิทธิภาพได้ก็จะเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการทำงานได้ สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีรายงานว่ามี การวิจัยหรือมีการใช้เครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม งานวิจัยนี้ดำเนินการออกแบบสร้างและทดสอบต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามเปรี้ยว 2 แบบ มีอัตราการทำงานและขนาดแตกต่างกัน ส่วนประกอบหลักคือ แกนกะเทาะรูปร่างคล้ายทรงกระบอกหมุนอยู่ในห้องกะเทาะทำด้วยแผ่นตะแกรงรูกลม ทำหน้าที่ตีกะเทาะเปลือกฝักมะขามให้แตกและพัดลมแบบหอยโข่ง ทำหน้าที่เป่าพ่นเปลือกมะขามให้แยกออกจากฝักเนื้อมะขาม ต้นแบบที่ 1 เป็นแบบวัสดุไหลเข้าและออกตามแนวแกน แกนกะเทาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 มิลลิเมตร ยาว 814 มิลลิเมตร ประกอบด้วยก้านตีกะเทาะเปลือก จำนวน 3 แถว หมุนด้วยความเร็ว 7.8 เมตร/วินาที และขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ต้นกำลัง 2 แรงม้า ต้นแบบที่ 2 เป็นแบบวัสดุไหลเข้าและออกตามขวางแนวแกน มีแกนกะเทาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 340 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร มีก้านตีกะเทาะเปลือก จำนวน 6 แถว หมุนด้วยความเร็ว 5.7 เมตร/วินาที และใช้มอเตอร์ต้นกำลัง 1 แรงม้า การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานใช้ตัวอย่างฝักมะขามเปรี้ยวความชื้น 14% ที่ได้จากการตากผึ่งแดด พบว่าเนื้อมะขามฝักที่ได้จากการกะเทาะมีเศษเปลือกติดปะปนมาด้วยเล็กน้อย โดยเครื่องต้นแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพการกะเทาะดีและมีอัตราการทำงาน 410 กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนต้นแบบที่ 2 ต้องทำการกะเทาะ 2 รอบ จึงจะได้เนื้อมะขามที่สะอาด มีอัตราการทำงาน 140 กิโลกรัม/ชั่วโมง แต่ก็ยังเร็วกว่าการแกะเปลือกฝักมะขามด้วยมือประมาณ 22 เท่า

คำสำคัญ: มะขาม มะขามเปรี้ยว เครื่องกะทาะเปลือกมะขาม

Abstract

Traditional method of preparation of sour tamarind pulp is a manually hand process that becomes tedious and tends to be very labor intensive. In Thailand no machine even locally made or not is reportedly used. This research attempted to develop efficient mechanical means for this operation. Two prototypes for shelling tamarind pods were fabricated and tested their performance. They consisted of a beating like cylinder rotating in a shelling chamber for breaking the pods and an exhausted fan for separating broken shell from tamarind pulp. The beating cylinder of the first machine, axial-flow type, was 360 mm in diameter, 814 mm long, equipped with 3 bars of beating rods and rotated at a speed of 7.8 m/s. Whereas of the second one, tangential-flow type, the cylinder was 340 mm in diameter, 320 mm long, equipped with 6 bars of beating rods and rotated at a speed of 5.7 m/s. The prototypes were driven by 2-hp and 1-hp electric motor respectively. With 14% sun dried sour tamarind pod sample, test results showed that the first machine performed better shelling efficiency with a capacity of 410 kg/h. The second one was needed to be run two rounds to obtain better shelling and cleanliness with 140 kg/h capacity, anyhow faster than manual hand shelling around 22 times.

Keywords: Tamarind, sour tamarind, tamarind sheller.

6. คำนำ

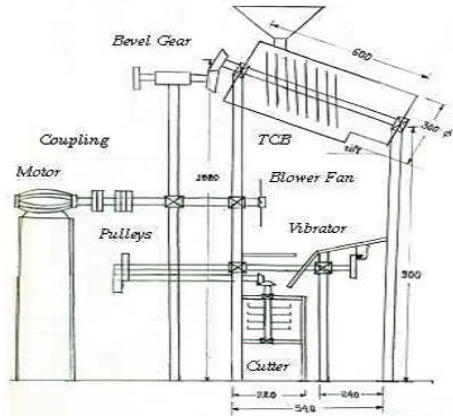
มะขามจัดเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีขนาดใหญ่ อายุประมาณ 100 ปี ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยสามารถทนอากาศแห้งแล้งและมลภาวะต่าง ๆ ได้ดีจึงนิยมปลูกตามริมถนน มะขามนับได้ว่าเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ลำต้นนิยมนำมาทำด้ามมีด, ด้ามจอบ และเชียง เนื่องจากเป็นไม้เนื้อแข็งจึงมีความทนทานสูง ส่วนเนื้อมะขามนอกจากใช้เป็นอาหารและเครื่องดื่มยังเป็นยาระบายอ่อน ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้สารประเภทกัม (gum) คือเจลาโลส (jellose) ที่ได้จากเนื้อในเมล็ดมะขาม สำหรับเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลนอกจากใช้เป็นสีย้อมผ้าได้แล้ว ยังมีสารซึ่งมีคุณสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (antioxidant) สามารถใช้เติมในอาหารและเป็นส่วนผสมในยา หรือเครื่องสำอางได้

การผลิตมะขามเปียกส่วนใหญ่เป็นการผลิตในระดับครัวเรือน ซึ่งปัจจุบันโรงงานในประเทศไทยมีความต้องการมะขามเปรี้ยวเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบ โดยแยกเป็นโรงงานที่ผลิตมะขามเปียก และมะขามเปรี้ยวแปรรูปในรูปแบบต่างๆ เช่น มะขามแช่อิ่ม น้ำมะขาม น้ำพริก เป็นต้น ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของการแปรรูปมะขามเปรี้ยวในระดับกลุ่มเกษตรกรคือการแกะเปลือกซึ่งต้องใช้แรงงานจำนวนมากเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูง หากสามารถออกแบบพัฒนาเครื่องแกะเปลือกมะขามเปรี้ยวที่มีประสิทธิภาพได้ก็จะเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการทำงานได้

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีรายงานว่ามีการวิจัยหรือมีการใช้เครื่องแกะเปลือกมะขาม จากการสืบค้นข้อมูลทางเว็บไซต์พบว่าในต่างประเทศมีงานวิจัยเครื่องแกะเปลือกมะขามได้สำเร็จมีประสิทธิภาพแต่ไม่

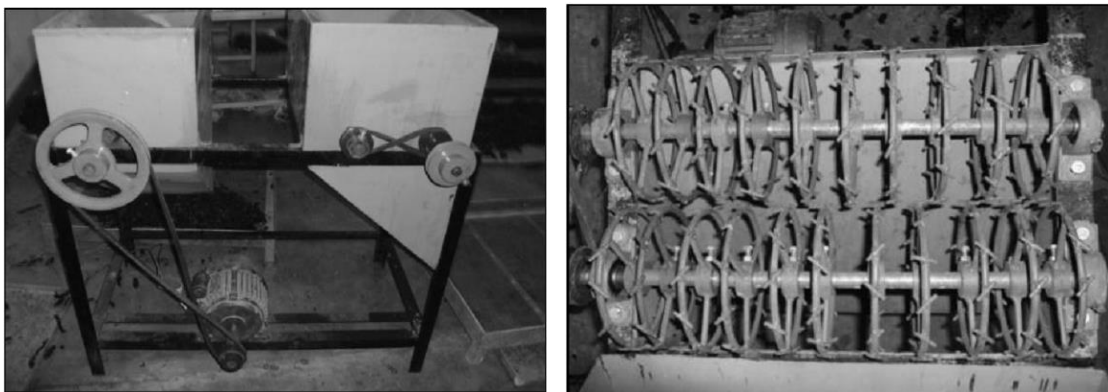
เปิดเผยรายละเอียดของเครื่อง และยังพบว่ายังมีผู้ผลิตเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามขายอีกด้วย ดังนั้นการออกแบบพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามเปรี้ยวจึงมีความเป็นไปได้สูง

Lende and Chandak (2012) ได้ออกแบบสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกและแยกเมล็ดจากเนื้อมะขาม (รูปที่ 1) ในส่วนของการกะเทาะเปลือกประกอบด้วยชุดก้านตีติดตั้งบนแกนเพลลา หมุนอยู่ในเสื้อทรงกระบอก ซึ่งจัดวางเอียงไม่อยู่ในแนวระดับ ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1.2 แรงม้า อัตราการทำงาน 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก 90% ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดจากเนื้อมะขาม 20 – 25%



รูปที่ 1 เครื่องกะเทาะเปลือกและแยกเมล็ดจากเนื้อมะขาม (Lende and Chandak, 2012)

Amit Kumar Sinha et al (2011) ได้ศึกษาประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามและแยกเมล็ดจากเนื้อมะขาม ในส่วนของชุดกะเทาะเปลือกประกอบด้วยวงแหวนจำนวนหลายวง ติดตั้งบนแกนเพลลา 2 เพลลา หมุนในทิศทางตรงกันข้าม วงแหวนแต่ละวงมีก้านตีทำด้วยเหล็กเส้นกลมเชื่อมติดอยู่ ทำหน้าที่ตีกะเทาะเปลือกให้แตก (รูปที่ 2) เนื้อมะขามและเปลือกร่วงลงบนตะแกรงด้านล่าง การนำมะขามมาผึ่งแดดก่อนทำการกะเทาะเปลือกมีผลทำให้อัตราการทำงานเพิ่มขึ้นจาก 239.97 เป็น 251.94 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 79.99 เป็น 83.98%



รูปที่ 2 เครื่องกะเทาะเปลือกและแยกเมล็ดจากเนื้อมะขาม (Amit Kumar Sinha et al., 2011)

วิทยา และคณะ (2557) ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องปลูกเปลือกมะขาม ประกอบด้วย ลูกกลิ้งกะเทาะเปลือก หลังการกะเทาะ เปลือกและฝักมะขามจะตกลงบนตะแกรงสั่นเพื่อแยกเศษเปลือกออกไป มะขาม 1 กิโลกรัม ใช้เวลากะเทาะ 45 วินาที (80 กิโลกรัม/ชั่วโมง) แต่จะมีเศษเปลือกติดปะปนกับเนื้อมะขาม และบางฝักเปลือกยังฝังติดกับส่วนท้องมะขาม นอกจากนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเปลือก 2 ปัจจัยคือ การอบมะขามเพื่อลดความชื้น และขนาดฝักของมะขาม

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

- เครื่องจักรพื้นฐาน วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการสร้างชิ้นส่วน และเครื่องต้นแบบ
- ฝักมะขามเปรี้ยว พันธุ์ศรีสะเกษ 019 (ศก. 019) และ พันธุ์ยักษ์
- เครื่องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง
- เครื่องมือวัดขนาดต่างๆ
- เครื่องวัดความเร็วรอบ
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล
- นาฬิกาจับเวลา

7.2 วิธีการ

1) ตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามและศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของฝักมะขาม

- 2) ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม
- 3) ทดสอบเบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบ
- 4) ทดสอบเก็บข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบในพื้นที่เป้าหมาย
- 5) วิเคราะห์และประเมินผล รายงาน

วิธีการและขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกะเทาะเปลือกมะขาม

- เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฝักมะขามเปรี้ยว พันธุ์ยักษ์ และพันธุ์ศรีสะเกษ 019 ที่ทำการลดความชื้นลงเหลือประมาณ 14% โดยการตากผึ่งแดดและในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และนำมาใช้ทดสอบทันที

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมะขาม 10 และ 5 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ 1 และ 2

- เทตัวอย่างมะขามฝักลงในถังพักของเครื่อง เริ่มทำการทดสอบและจับเวลา โดยใช้คนป้อนเกลี่ยมะขามฝักลงห้องกะเทาะอย่างสม่ำเสมอ

- ก่อนทดสอบและระหว่างทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล หน่วยเป็นแอมแปร์

- เมื่อตัวอย่างมะขามฝักหมดถึงพัก หยุดเวลา และชั่งน้ำหนักผลได้น้ำมันมะขาม พร้อมทั้งตรวจดูลักษณะของน้ำมันมะขามที่ได้หลังกะเทาะเปลือก ได้แก่ ความสมบูรณ์ของการกะเทาะเปลือก ฝักมะขามที่กะเทาะไม่สมบูรณ์ และความสะอาด

- ค่าชี้ผลการทำงานของเครื่อง ได้แก่ อัตราการทำงาน เปอร์เซ็นต์น้ำมันมะขามรวมเมล็ดและรกที่ได้หลังการกะเทาะ และพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ โดยคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างฝักมะขาม (กิโลกรัม)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมันมะขาม (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันมะขามหลังกะเทาะ (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างฝักมะขาม (กิโลกรัม)}} \times 100$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} = \frac{\text{กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)} \times \text{ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)}}{1000}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์)}}{\text{อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}}$$

7.3 เวลาและสถานที่

เวลาดำเนินงาน ปีงบประมาณ 2554-2557

สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

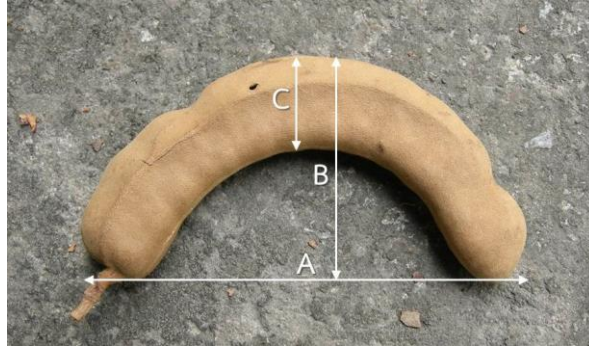
- กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี
- พื้นที่ปลูกมะขามเปรี้ยว จังหวัดสุพรรณบุรี

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณลักษณะทางกายภาพของฝักมะขามเปรี้ยว

วิธีการวัดขนาดตัวอย่างฝักมะขามเปรี้ยวโดยใช้เวอร์เนีย 4 ระยะ ได้แก่ ความยาวทั้งฝัก A ความกว้างทั้งฝัก B ความกว้างกลางฝัก C และความหนากลางฝัก D (รูปที่ 3) ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดฝักมะขามเปรี้ยวพันธุ์ ศก. 019 และพันธุ์ยักษ์จากสุพรรณบุรี แต่ละพันธุ์จำนวน 200 ฝัก ฝักมะขามพันธุ์ยักษ์มีขนาดใหญ่มากกว่าพันธุ์ ศก. 019 โดยมีความยาวและความกว้างเฉลี่ย 137.59 มิลลิเมตร และ 45.39 มิลลิเมตร ส่วนพันธุ์ ศก. 019 มีความยาวและความกว้างเฉลี่ย 96.53 มิลลิเมตร และ 28.56 มิลลิเมตร ฝักมะขามพันธุ์ยักษ์มีลักษณะโค้งงอมากกว่าเล็กน้อยและแบนกว่าเมื่อเทียบกับพันธุ์ ศก. 019 โดยพิจารณาจากอัตราส่วน B/A และ D/C

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการแกะเปลือกฝักมะขามเปรี้ยวพันธุ์ศก. 019 และพันธุ์ยักษ์ด้วยแรงงานคน พันธุ์ละ 2 กิโลกรัม ฝักมะขามพันธุ์ยักษ์มีน้ำหนัก 32.29 กรัม/ฝัก มากกว่าพันธุ์ ศก. 019 ถึง 104.86% อัตราการทำงานในการแกะเปลือกฝักมะขามด้วยแรงงานคนขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือขนาดของฝักมะขามเป็นสำคัญ สำหรับพันธุ์ ศก. 019 และพันธุ์ยักษ์ มีอัตราการทำงานโดยน้ำหนักเท่ากับ 3.46 และ 6.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีความแตกต่างกันมากถึง 85.89 % แต่เมื่อคิดจากจำนวนฝักต่อเวลาแล้ว ขนาดของฝักมีผลน้อยลง มีอัตราการทำงานเท่ากับ 219 และ 199 ฝัก/ชม. แตกต่างกันเพียง 9.62%



รูปที่ 3 การวัดขนาดฝักมะขามเปรี้ยว: ความยาวทั้งฝัก A ความกว้างทั้งฝัก B ความกว้างกลางฝัก C และความหนากลางฝัก D (วัดตรงตำแหน่ง C)

ตารางที่ 1 ขนาดเฉลี่ยของฝักมะขามเปรี้ยว จำนวน 200 ฝัก

รายการ	พันธุ์ ศก. 019			พันธุ์ยักษ์		
	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด
ความยาวทั้งฝัก A (มม.)	96.53	33.00	196.00	137.59	68.00	235.00
ความกว้างทั้งฝัก B (มม.)	28.56	19.50	66.75	45.39	24.20	104.14
ความกว้างกลางฝัก C (มม.)	25.06	19.26	33.30	32.20	22.97	40.66
ความหนากลางฝัก D (มม.)	18.44	12.09	21.72	19.04	12.57	26.63
อัตราส่วน B/A	0.30	0.59	0.34	0.33	0.36	0.44
อัตราส่วน D/C	0.74	0.63	0.65	0.59	0.55	0.65

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการแกะเปลือกฝักมะขามเปรี้ยวพันธุ์ศก. 019 และพันธุ์ยักษ์ด้วยแรงงานคน

พันธุ์มะขาม	ศก. 019	ยักษ์	ความแตกต่าง (%)*
น้ำหนักมะขามฝัก (กรัม/ฝัก)	15.76	32.29	-104.86
จำนวนฝักต่อกิโลกรัม	63.45	30.97	51.19
เปอร์เซ็นต์เปลือก (%)	24.08	26.40	-9.62
เปอร์เซ็นต์เนื้อมะขามรวมเมล็ดและรก (%)	75.92	73.60	3.05
อัตราการแกะเปลือก (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	3.46	6.43	-85.89
อัตราการแกะเปลือก (ฝัก/ชั่วโมง)	219.47	199.15	9.26

* เปรียบเทียบโดยใช้พันธุ์ ศก. 019 เป็นฐานในการคำนวณ

การออกแบบและสร้างต้นแบบ

ต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามที่ได้ดำเนินการออกแบบสร้างในงานวิจัยนี้มี 2 แบบ มีความสามารถในการทำงานแตกต่างกัน วัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเนื้อมะขามทำด้วยวัสดุสแตนเลส รายละเอียดเครื่องต้นแบบมีดังนี้

ต้นแบบที่ 1 เป็นแบบวัสดุเคลื่อนที่ไหลตามแนวแกน (Axial flow) มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ (รูปที่ 4)

- ถังพัก มีลักษณะเป็นภาชนะบรรจุฝักมะขามอยู่ด้านบนของเครื่อง
- ห้องกะเทาะเปลือก ประกอบด้วย แกนกะเทาะหมุนอยู่ภายใน ทำหน้าที่ตีหรือกะเทาะเปลือกฝักมะขามให้แตกออก แกนกะเทาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 มิลลิเมตร ยาว 814 มิลลิเมตร มีก้านตีกะเทาะเปลือกฝักทำด้วยสแตนเลสเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 3 แถว หมุนอยู่ภายในห้องกะเทาะเปลือก ด้วยความเร็ว 414 รอบ/นาที (7.9 เมตร/วินาที) ด้านล่างของห้องกะเทาะทำด้วยตะแกรงรูกลม ขนาดรู 13 มิลลิเมตร ส่วนฝาครอบด้านบนทำด้วยแผ่นสแตนเลส ติดก้านปะทะจำนวน 2 แถว ก้านปะทะทำด้วยสแตนเลสเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ระยะระหว่างก้านปะทะ 60 มิลลิเมตร ฝักมะขามจากถังพักไหลลงเข้าสู่ห้องกะเทาะและเคลื่อนที่แบบไหลตามแนวแกน เปลือกที่ถูกตีกะเทาะแตกขนาดเล็กจะร่วงหล่นลอดรูตะแกรงลงด้านล่าง ส่วนเปลือกชิ้นใหญ่และเนื้อมะขามจะเคลื่อนที่ไหลปะปนกันออกจากห้องกะเทาะเปลือกตรงช่องทางออกที่อยู่ด้านปลายตรงข้ามถังพัก
- พัดลมแยกเปลือกแบบหอยโข่ง ใบพัดลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็ว 1160 รอบ/นาที ทำหน้าที่เป่าพ่นเปลือกซึ่งมีน้ำหนักเบาแยกทิ้งออกไป ส่วนเนื้อมะขามซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าจะร่วงลงด้านล่างสู่ภาชนะรองรับ

- ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า

ต้นแบบที่ 2 เป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กกว่า ทั้งนี้สืบเนื่องจากผลการทดสอบต้นแบบที่ 1 มีอัตราการทำงานค่อนข้างสูง ประมาณ 400 กิโลกรัม/ชั่วโมง จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องอีกแบบหนึ่งให้มีขนาดความสามารถน้อยลง และราคาถูกลง เพื่อเป็นทางเลือกและเหมาะสมในกรณีที่เกษตรกรมีผลผลิตไม่มากนัก ต้นแบบนี้เป็นแบบวัสดุเคลื่อนที่ไหลตามขวางแนวแกน (Tangential flow) มีส่วนประกอบหลักดังนี้ (รูปที่ 5)

- ถังพัก บรรจุฝักมะขามอยู่ด้านบนของเครื่อง
- ห้องกะเทาะเปลือก ประกอบด้วย แกนกะเทาะหมุนอยู่ภายใน ทำหน้าที่ตีกะเทาะเปลือกฝักมะขาม ให้แตกออก แกนกะเทาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 340 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร มีก้านตีเปลือกฝักมะขาม ให้แตก จำนวน 6 แถว หมุนอยู่ภายในห้องกะเทาะเปลือก ด้วยความเร็ว 310 รอบ/นาที (5.53 เมตร/วินาที) ผนังห้องกะเทาะเปลือกทำด้วยตะแกรงรูกลม ขนาดรู 13 มิลลิเมตร ติดก้านปะทะที่ผนังตะแกรงจำนวน 4 แถว ก้านปะทะทำด้วยสแตนเลสเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ระยะระหว่างก้านปะทะ 48 มิลลิเมตร ฝักมะขามจากถังพักถูกป้อนเข้าทางด้านบนและเคลื่อนที่ไปตามแนวสัมผัสของตะแกรงผนังห้องกะเทาะ เปลือกที่ถูกตีกะเทาะแตกขนาดเล็กจะร่วงหล่นลอดรูตะแกรงลงด้านล่าง ส่วนเปลือกชิ้นใหญ่และเนื้อมะขามที่ไหลปะปนกันจะถูกตีออกไปทางด้านปลายตะแกรงผนังห้องกะเทาะ
- พัดลมแยกเปลือกแบบหอยโข่ง ใบพัดลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็ว 1090 รอบ/นาที เปลือกทั้งหมดได้แก่เศษเปลือกขนาดเล็กที่ลอดรูตะแกรงลงด้านล่างและเปลือกชิ้นใหญ่ที่ไหลปะปนกับเนื้อมะขามมีน้ำหนักเบาจะถูกเป่าพ่นทิ้งแยกออกไป ส่วนเนื้อมะขามซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าจะร่วงลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง
- ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า



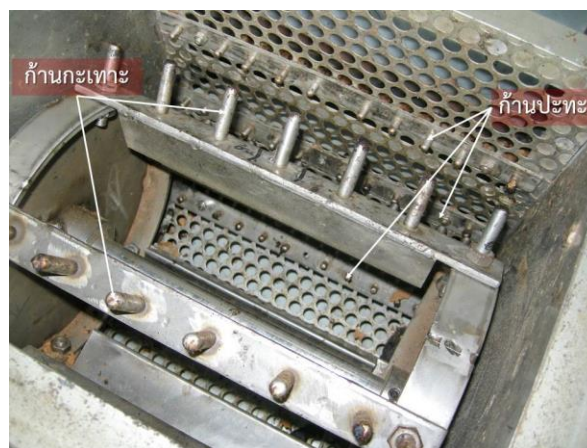
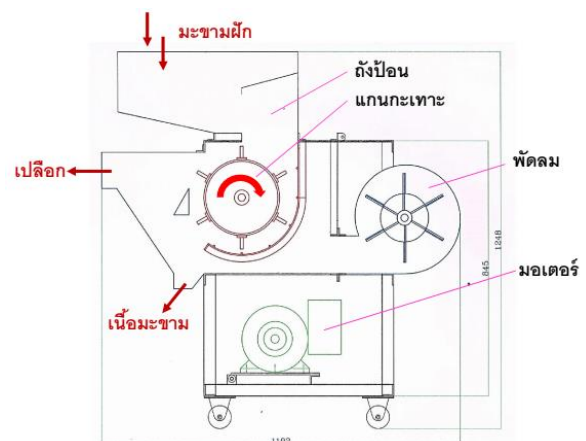
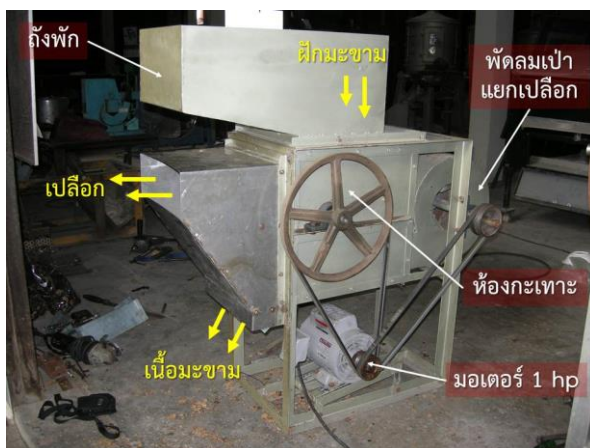
รูปที่ 4 เครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 1 แบบไหลตามแนวแกน

การทดสอบการทำงานเบื้องต้น

หลังเสร็จสิ้นการสร้างประกอบเครื่องต้นแบบที่ 1 ได้นำมาทดสอบการทำงานเบื้องต้นเพื่อหาข้อบกพร่องและปรับปรุงแก้ไขก่อนทำการทดสอบเก็บข้อมูล โดยใช้ตัวอย่างมะขามฝักที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ มีความชื้นประมาณ 28% ผลปรากฏว่า ไม่สามารถใช้งานได้ เนื้อมะขามถูกตีฉีกขาดไม่คงรูปร่างฝัก เปลือกและรูกถูกตีแตกปะปนกันกับเนื้อ ทั้งนี้เนื่องจากมีความชื้นสูง จึงได้ทำการลดความชื้นตัวอย่างมะขามฝักโดยตากผึ่งแดดบนลาน และในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 6) ระดับความชื้นเนื้อมะขามฝักที่สามารถนำมากะเทาะด้วยเครื่องต้นแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 14% นอกจากนี้มะขามฝักที่ลดความชื้นลงแล้ว ควรนำมากะเทาะเปลือกทันทีภายในวันนั้น หากนำมาเก็บไว้ข้ามคืน มะขามจะดูดความชื้นกลับทำให้เนื้อมะขามแฉะอีก

หลังการทดสอบเบื้องต้นได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบในส่วนของถังพักและส่วนแยกเปลือก
 ในส่วนของถังพักได้แก้ไขให้มีลักษณะเหมือนถาดเหลี่ยม ลดความสูงลงเพื่อให้สามารถทำการป้อนได้สะดวกขึ้น
 เนื่องจากฝักมะขามมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันมาก การควบคุมอัตราป้อนให้คงที่โดยแรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ
 ไม่สามารถทำได้ จึงเลือกใช้คนเป็นผู้ควบคุมการป้อนโดยเกลี่ยมะขามฝักลงห้องกะเทาะอย่างสม่ำเสมอ สำหรับการ
 ปรับปรุงส่วนแยกเปลือกของต้นแบบที่ 1 ซึ่งเดิมได้ออกแบบสร้างเป็นแบบลมดูดแยกเปลือกจากเนื้อมะขามหลัง
 กะเทาะ ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น พบว่า มีประสิทธิภาพการแยกเปลือกต่ำและเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมก็
 ประสบปัญหาการสูญเสียของเนื้อมะขามไปกับเปลือก จึงได้แก้ไขปรับปรุงส่วนแยกเปลือกจากเดิมให้เป็นแบบลม
 เป่าผ่านแยกเปลือก (รูปที่ 7) ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการทำความสะดวก สามารถแยกเปลือกจากเนื้อมะขามดี
 ขึ้น โดยที่พัดลมหมุนด้วยความเร็ว 1160 รอบ/นาที

การหาความเร็วที่เหมาะสมของแกนกะเทาะ โดยทำการทดลองกะเทาะเปลือกตัวอย่างมะขามฝัก
 ความชื้น 14% ที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ความเร็วที่เหมาะสมสังเกตได้จากลักษณะมะขามที่ได้มีฝักมะขามที่กะเทาะ
 เปลือกไม่สมบูรณ์น้อยและฝักเนื้อมะขามฉีกขาดน้อย พบว่า ความเร็วแกนกะเทาะที่เหมาะสมของต้นแบบที่ 1
 และต้นแบบที่ 2 เท่ากับ 414 รอบ/นาที (7.8 เมตร/วินาที) 310 รอบ/นาที (5.7 เมตร/วินาที) ตามลำดับ ซึ่งระดับ
 ความเร็วนี้นำไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบต่อไป



รูปที่ 5 เครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 2 แบบไหลตามแนวสัมผัส



รูปที่ 6 การลดความชื้นตัวอย่างมะขามฝักโดยตากผึ่งแดดบนลาน และในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 7 เครื่องกะเทาะเปลือกต้นแบบที่ 1 ก่อนแก้ไข (ซ้าย) และหลังแก้ไขส่วนพัตลมแยกเปลือก (ขวา)

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 1 แสดงในตารางที่ 3 โดยใช้ตัวอย่างมะขามฝัก ความชื้นประมาณ 14% มีอัตราการทำงานเฉลี่ย 410 กิโลกรัม/ชั่วโมง สามารถกะเทาะแยกเปลือกมะขามได้ในรอบเดียว ได้น้ำมันมะขามรวมเมล็ดและรก 73.7% มีฝักเนื้อมะขามฝักขาดไม่เต็มฝักบ้าง สามารถแยกรกมะขามได้ประมาณ 20% และด้านความสะอาดมีเศษเปลือกปนบ้างเล็กน้อย (รูปที่ 8) จากการสังเกตพบว่าระดับความชื้นมีผลต่อการฉีกขาดของฝักเนื้อมะขามและการแยกรก โดยที่ความชื้นต่ำ การฉีกขาดของฝักลดลงและความสามารถในการแยกรกก็ลดลงด้วย เมื่อทดลองถอดก้านปะทะที่ติดอยู่กับผนังห้องกะเทาะออก พบว่า ฝักมะขามขาดน้อยลง รวมทั้งแยกรกมะขามได้น้อยลงเช่นกัน อัตราสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.0033 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม หรือคิดเป็นไฟฟ้า 1 หน่วย กะเทาะเปลือกมะขามฝักได้ 305 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการกะเทาะเปลือกมะขามพันธุ์ยักษ์ด้วยแรงงานคนซึ่งมีอัตราการทำงาน 6.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ตารางที่ 2) เครื่องกะเทาะเปลือกต้นแบบนี้สามารถทำงานได้เร็วกว่าประมาณ 64 เท่า

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 2 ที่ติดก้านปะทะจำนวน 4 แถว ระยะระหว่างก้านปะทะ 48 มิลลิเมตร มีอัตราการทำงานเฉลี่ย 250.82 กิโลกรัม/ชั่วโมง สิ้นเปลือง

พลังงานไฟฟ้า 0.0034 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม หรือกะเทาะเปลือกมะขามฝักได้ 312.44 กิโลกรัมต่อหน่วยไฟฟ้า ฝักเนื้อมะขามที่ได้ส่วนใหญ่ยังคงรูปฝักไม่ฉีกขาด และมีรกติดอยู่ ยังคงมีเปลือกติดอยู่กับฝักเนื้อมะขามบ้าง รวมทั้งมีเปลือกที่กะเทาะแล้วปนอยู่กับฝักเนื้อมะขามเล็กน้อย ต้องนำมาผ่านเครื่องกะเทาะอีก 1 รอบ จึงจะได้ฝักเนื้อมะขามที่สะอาดขึ้น อัตราการป้อนในช่วงที่ทดสอบ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะและการแยกเปลือก

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 1

การทดสอบครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
พันธุ์มะขาม	ยักษ์	ยักษ์	ยักษ์	ยักษ์
น้ำหนักฝักมะขาม (กิโลกรัม)	10.0	10.0	10.0	10.0
น้ำหนักเนื้อมะขาม (กิโลกรัม)	7.3	7.3	7.5	7.4
เปอร์เซ็นต์เนื้อมะขาม (%)	73.3	73.1	74.7	73.7
อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	500.0	349.6	380.0	409.9
พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kW-h/kg)	0.0030	0.0034	0.0035	0.0033



รูปที่ 8 ลักษณะเนื้อมะขามที่ได้จากเครื่องกะเทาะเปลือกต้นแบบที่ 1

จากผลการทดสอบข้างต้น ได้ทดลองปรับปรุงเครื่องเพื่อมุ่งหวังให้สามารถกะเทาะเปลือกได้หมดในการทำงานรอบเดียว โดยเพิ่มก้านปะทะจาก 4 แถว เป็น 5 แถว และติดก้านปะทะให้ถี่ขึ้น โดยลดระยะระหว่างก้านปะทะลงจาก 48 มิลลิเมตร เหลือ 28 มิลลิเมตร (รูปที่ 9) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5 ปรากฏว่า ประสิทธิภาพการกะเทาะไม่แตกต่างกัน ยังไม่สามารถกะเทาะเปลือกได้หมดในรอบเดียว ต้องนำมาผ่านเครื่องกะเทาะอีก 1 รอบ เมื่อคิดเวลาทำงาน 2 รอบ มีอัตราการทำงานเฉลี่ย 140 กิโลกรัม/ชั่วโมง เนื้อมะขามที่ได้หลังทำการกะเทาะเปลือก 2 รอบ มีลักษณะเป็นฝักค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่ฉีกขาดและมีเศษเปลือกปนอยู่เพียงเล็กน้อย (รูปที่ 10) การที่เครื่องต้นแบบนี้ไม่สามารถกะเทาะเปลือกได้หมดในรอบเดียวนั้น สาเหตุหนึ่งเนื่องจากเครื่องนี้เป็นแบบฝักมะขามถูกป้อนเข้าทางด้านบนเคลื่อนที่ไปตามแนวสัมผัสของตะแกรงผนังห้องกะเทาะ และถูกตีออกทางปลายตะแกรง ซึ่งระยะทางที่เกิดการกะเทาะค่อนข้างสั้น ทำให้การกะเทาะเปลือกไม่

สมบูรณ์ แตกต่างจากเครื่องต้นแบบที่ 1 ซึ่งฝักมะขามจะถูกกะเทาะภายในห้องกะเทาะหลายรอบ เมื่อเปรียบเทียบกับ การแกะเปลือกมะขามพันธุ์ยักษ์ด้วยแรงงานคนซึ่งมีอัตราการทำงาน 6.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ตารางที่ 2) เครื่องกะเทาะเปลือกต้นแบบนี้ที่ทำการกะเทาะ 2 รอบ ยังคงสามารถทำงานได้เร็วกว่าประมาณ 22 เท่า



รูปที่ 9 ลักษณะก้านปะทะแบบ 4 แถว (ซ้าย) และ แบบ 5 แถว (ขวา)

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 2 ติดก้านปะทะจำนวน 4 แถว ระยะระหว่างก้านปะทะ 48 มิลลิเมตร

การทดสอบครั้งที่*	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
พันธุ์มะขาม	ยักษ์	ศก. 019	ยักษ์	ยักษ์	ยักษ์	
น้ำหนักฝักมะขาม (กิโลกรัม)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
น้ำหนักเนื้อมะขาม (กิโลกรัม)	3.7	3.9	3.9	3.8	3.7	3.8
เปอร์เซ็นต์เนื้อมะขาม (%)	73.9	77.2	78.4	76.5	73.7	75.9
อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	267.1	309.1	307.6	127.5	242.8	250.8
พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kW-h/kg)	0.0037	0.0031	0.0024	0.0052	0.0028	0.0034

* การทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 2 แรงม้า

การทดสอบครั้งที่ 3 4 และ 5 ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 2 ติดก้านปะทะจำนวน 5 แถว ระยะระหว่างก้านปะทะ 28 มิลลิเมตร

การทดสอบครั้งที่	1	2	เฉลี่ย
พันธุ์มะขาม	ยักษ์	ศก. 019	-
น้ำหนักฝักมะขาม (กิโลกรัม)	5.00	5.00	5.00
น้ำหนักเนื้อมะขาม (กิโลกรัม)	3.71	3.88	3.80
เปอร์เซ็นต์เนื้อมะขาม (%)	74.29	77.65	75.97
เวลารอบที่ 1 (วินาที)	68.23	74.12	71.17
อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	263.82	242.86	253.34
พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kW-h/kg)	0.0025	0.0027	0.0026
เวลารอบที่ 2 (วินาที)	51.44	54.12	52.78
อัตราการทำงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	144.38	135.10	139.74
พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kW-h/kg)	0.0046	0.0049	0.0048



รูปที่ 10 ลักษณะเนื้อมะขามจากการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องต้นแบบที่ 2 รอบที่ 1 (ซ้าย) และ รอบที่ 2 (ขวา)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องกะเทาะเปลือกต้นแบบทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพในการกะเทาะและแยกเปลือกมะขามฝักได้ดี โดยใช้คนทำการป้อนอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ภายใต้ข้อจำกัดในการใช้งานคือ ฝักมะขามต้องแห้งมีความชื้นต่ำ ซึ่งอาจทำการลดความชื้นโดยการผึ่งแดด มะขามที่เก็บเกี่ยวมีความชื้นประมาณ 28% ต้องลดความชื้นให้เหลือประมาณ 14% ก่อนนำมากะเทาะเปลือก หลังจากลดความชื้นแล้วควรทำการกะเทาะเปลือกทันที ฝักมะขามที่แห้งแล้วเมื่อเก็บไว้ค้างคืนจะดูดซับความชื้นกลับทำให้เนื้อมะขามแฉะ เครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 1 มีอัตราการทำงานสูง 410 กิโลกรัม/ชั่วโมง เร็วกว่าการกะเปลือกมะขามด้วยแรงงานคน ประมาณ 64 เท่า ฝักเนื้อมะขามฉีกขาดบ้าง และแยกรวมมะขามได้บางส่วน ส่วนเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามต้นแบบที่ 2 มีขนาดเล็กกว่า แต่ต้องทำการกะเทาะ 2 รอบ จึงจะกะเทาะเปลือกได้หมดและแยกเปลือกได้สะอาด เนื้อมะขามยังคงรูปฝักไม่ฉีกขาดและมีรกติดอยู่ มีอัตราการทำงานประมาณ 140 กิโลกรัม/ชั่วโมง เร็วกว่าการกะเปลือกมะขามด้วยแรงงานคน ประมาณ 22 เท่า การใช้เครื่องกะเทาะสามารถทำงานได้รวดเร็ว จะช่วยลดต้นทุน ประหยัดเวลาและแรงงาน

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) ต้นแบบเครื่องกะเทาะเปลือกมะขามสามารถนำไปใช้ทดแทนการกะเปลือกด้วยแรงงานคน ในระดับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ จะช่วยลดต้นทุน ประหยัดเวลาและแรงงาน ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น
- 2) โรงงานผู้ผลิตเครื่องจักรกลสามารถนำต้นแบบไปผลิตเชิงพาณิชย์

11. คำขอบคุณ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ปทุมธานี ที่ช่วยในการสร้างและทดสอบเครื่องต้นแบบ

12. เอกสารอ้างอิง

วิทยา หนูช่างสิงห์ ธนภัทร มะณีแสง และขวัญนิตี คำเมือง. 2557. การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกะเทาะเปลือกมะขาม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2557 30-31 ตุลาคม 2557 สมุทรปราการ

Amit Kumar Sinha, S. Patel and Ajay Verma. 2011. Performance Evaluation Studies on Tamarind Dehuller-Cum-Deseeder. Journal of Plant Development Sciences Vol.3 (3 & 4): 269-274. 2011.

Lende A.R. and, P.A. Chandak. Design and Fabrication of Tamarind Cover and Seed Separation Machine. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 2, February 2012. ISSN: 2277-3754.

13. ภาคผนวก

-