



ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกเนื้อโดยเครื่องลอกเนื้อมะขาม

Influence Factors of Pulp Extraction by Tamarind Pulp Extractor

จันทรัตน์ พิชญภูณ^{1*}Chantharat Phitchayaphon^{1*}¹คณะเกษตรและชีวภาพ, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ, 10900¹Department of Agricultural and Life Science, Chandrasakem Rajabhat University, Bangkok, Thailand, 10900*Corresponding author: Tel: +66-2-512-5192, Fax: +66-2-512-5192, E-mail: chantharat.p@cru.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องลอกเนื้อมะขามเปียกที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกเนื้อมะขาม มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ 1) ถาดป้อน 2) ห้องนวด 3) ลูกนวด 4) ตะแกรง 5) ถาดรองเนื้อมะขาม 6) ถาดรองเมล็ด และ 7) มอเตอร์ต้นกำลัง โดยถาดป้อนมีมุมเอียง 10° ลูกนวดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 cm ยาว 59 cm ติดตั้งอยู่กับเพลาลูกนวด ขนาด 2.54 cm ซึ่งเชื่อมต่อกับพูลเลย์ขนาด 30.48 cm หุ้มด้วยห้องนวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 cm ความยาว 62 cm ต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 746 W 220 V มีติโดยรวมของเครื่อง (กว้างxยาวxสูง) 50x100x100 cm น้ำหนัก 65 kg โดยอาศัยแรงเหวี่ยงเพื่อให้เกิดการนวดหรือขัดสีกับรูตะแกรงให้ได้เนื้อมะขามออกจากเมล็ด ปัจจัยที่ศึกษา คือ ด้านความเร็วรอบของลูกนวดที่ 300, 360, 420 และ 480 rpm และขนาดรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 3, 6 และ 9 mm ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบที่ 420 rpm และขนาดรูตะแกรงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm สามารถลอกเนื้อมะขามได้มากที่สุด ซึ่งให้ผลผลิตของเนื้อมะขามที่ 43.75% ซึ่งใกล้เคียงกับการลอกเนื้อมะขามด้วยแรงงานคน ที่ 56.40% โดยมีกำลังการผลิต 5.22 kg h^{-1} และมีความสามารถในการทำงานมากกว่าการใช้แรงงานคน 14 เท่า เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้จากการลอกด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามกับแรงงานคน พบว่าคุณภาพด้านสี (L^* , a^* และ b^*) ความชื้น และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$).

คำสำคัญ: มะขามเปรี้ยว, การลอก, แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Abstract

Tamarind pulp extractor is designed and developed to study the influence factors on tamarind pulp extraction. Extractor consist of 1) a feed tray (angle 10°), 2) a shelling unit, 3) a threshing unit, 4) a sieve, 5) tray of extracted pulp, 6) tray of extracted seed and 7) power supply (1 Hp; 220 V). The dimension and weight of extractor was (widthxlengthxheight) 50x100x100 cm and 65 kg, respectively. The extractor works on the principle of centrifuge force and scraping with sieve hole to extract pulp out of seed. The studied factors were extracting speed; 300, 360, 420 and 480 rpm respectively and sieve hole diameter; 3, 6 and 9 mm respectively. The results shown that tamarind pulp extract using extractor with 420 rpm of speed and 9 mm of sieve hole diameter gives the maximum yield. The percentage of yield using extractor and worker were 43.75 and 56.40%, respectively. In addition, the capacity of extractor was 5.22 kg h^{-1} and was 14 times higher than using worker. The quality comparisons of extracted pulp between using extractor and worker indicated that color value (L^* , a^* and b^*), moisture content and sensory qualities were not significantly difference.

Keywords: Sour tamarind, Extraction, Centrifuge force

1 บทนำ

มะขามเปรี้ยวเป็นพันธุ์มะขามที่นิยมนำมาทำเป็นมะขามเปียกเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของอาหารไทยและเป็นเอกลักษณ์ด้านรสเปรี้ยวของอาหารไทย นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ยา และเครื่องใช้ในครัวเรือนในรูป

อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานน้ำพริก เครื่องปรุงน้ำพริก มะขามเปียกสำเร็จรูป สมุนไพรบำรุงผิวพรรณ เครื่องสำอาง ไวน์ ลูกอม เครื่องดื่ม ชามะขาม ยาระบาย ยาลูกกลอน ฯลฯ มะขามเปียกถูกส่งออกไปยังตลาดที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และประเทศแถบตะวันออกกลาง โดยปริมาณการส่งออกมะขามเปียกในปี 2550-

2554 เพิ่มขึ้นจาก 409,000 kg เป็น 3,150,000 kg มีมูลค่าเพิ่มขึ้นจาก 9 ล้านบาทเป็น 76 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ราคาของมะขามเปียกในรูปแบบที่ยังมีเมล็ดมีราคาอยู่ในช่วง 49-80 บาท kg^{-1} ในขณะที่ถ้ามีการแปรรูปเบื้องต้นโดยการนำเมล็ดออก หรือเรียกว่ามะขามแฉะเมล็ดจะมีราคาสูงขึ้นถึง 105-140 บาท kg^{-1} (ตลาดไท, 2559) แต่อย่างไรก็ตามมะขามแฉะเมล็ดในปัจจุบันผลิตขึ้นโดยใช้แรงงาน (Manohar et al., 1991) กล่าวถึงองค์ประกอบของกรดทาร์ทาริก และกรดซิตริกสูงในมะขามทำให้เกิดปัญหาการระคายเคืองผิวหนังหากมีการสัมผัสเป็นเวลานาน นอกจากนี้ปัญหาด้านค่าจ้างแรงงานของไทยเริ่มมีปัญหามากขึ้นจากการขึ้นค่าจ้างแรงงานตามนโยบายของรัฐ ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นส่งผลต่อราคาสินค้า และการคืนสู่ถิ่นกำเนิดของแรงงานต่างด้าวของการก้าวสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) ในปีพ.ศ. 2558 ก็เป็นปัญหาหนึ่งของการขาดแคลนแรงงาน จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องลอกเนื้อมะขามเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกเนื้อมะขาม และเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้จากการใช้เครื่องลอกกับการใช้แรงงานคน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 มะขามเปรี้ยว

มะขามเปรี้ยวหรือมะขามเปียกมีเมล็ดที่ใช้ในการทดสอบในวิจัยครั้งนี้ซื้อจากตลาดไท กรุงเทพฯ โดยคุณภาพของมะขามเปรี้ยวที่ใช้ในการทดสอบมีความชื้นของเนื้อมะขามอยู่ในช่วง 24 - 27%

2.2 การออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องลอกเนื้อมะขาม

เครื่องลอกเนื้อมะขามมีหลักเกณฑ์ในการออกแบบโดยอาศัยหลักการหมุนเหวี่ยง เพื่อให้มะขามเปียกที่มีเมล็ดอยู่ในลูกเหวี่ยง และชุดกับผนังตะแกรงซึ่งทำจากวัสดุสแตนเลสขึ้นรูปและทำให้เนื้อมะขามหลุดออกจากเมล็ด และมีช่องเปิดให้เนื้อและเมล็ดมะขามหลุดออกจากเครื่องลอกเนื้อ โดยชิ้นส่วนหลักสามารถถอดออกง่าย สำหรับใช้ทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องลอกเนื้อ ส่วนต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 220 V 746 W ในการหมุนสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifuge force) สำหรับแยกสารหรืออนุภาคโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นหรือขนาดของอนุภาค ซึ่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสามารถกำหนดได้โดยการปรับความเร็วรอบการหมุนโดยอนุภาคที่หนักกว่าจะมีแรงเหวี่ยงที่มากกว่า (รุ่งนภา, 2541) Figure 1 a แสดงมะขามเปียกที่ใช้เป็นวัตถุดิบประกอบด้วยเนื้อและเมล็ด ซึ่งเป็นวัตถุที่ด้านนอกอ่อนนุ่มด้านในเป็นของแข็ง เมื่อให้แรงกระทำโดยการขัดสีกับแผ่นโลหะจะรูจะทำให้เนื้อมะขามที่มีความอ่อนนุ่มแยกตัวออกจากเมล็ดมะขามผ่านรูไปที่ผนังอีกด้านหนึ่ง (Figure 1 b) ซึ่งหลักการนี้จะนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นเครื่องลอกเนื้อมะขาม โดยใช้แรงเหวี่ยงหนี

ศูนย์กลางจากใบพัดลูกนวดพามะขามเปียกหมุนเหวี่ยงรอบแกนลูกนวด ไปขัดสีกับผนังที่มีรูเปิด หรือรูตะแกรงเพื่อแยกเนื้อและเมล็ดมะขามออกจากกัน

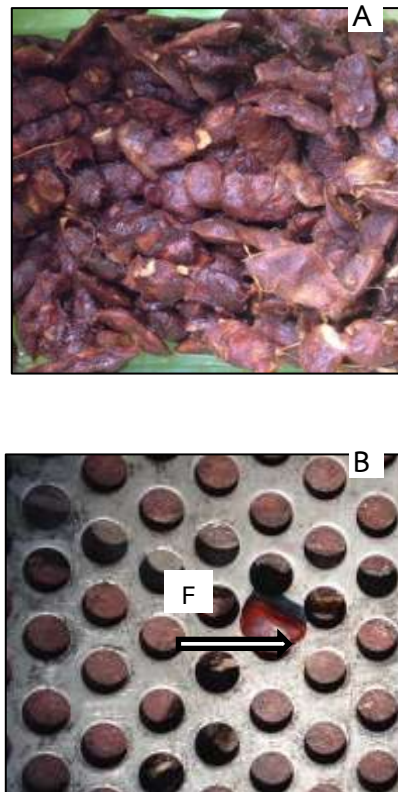


Figure 1 Sour tamarind (A) and tamarind seed (B)

การสร้างต้นแบบเครื่องลอกเนื้อได้กำหนดปัจจัยที่สำคัญในการศึกษาไว้ คือ (1) ความเร็วรอบลูกนวด และ (2) ขนาดรูตะแกรง หลังจากนั้นได้ร่างแนวคิดการออกแบบเครื่องลอกเนื้อมะขาม ดังแสดงใน Figure 2 มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ (1) ถาดป้อน (2) ห้องนวด (3) ลูกนวด (4) ถาดรองเนื้อมะขาม (5) มอเตอร์ต้นกำลัง และ (6) ถาดรองเมล็ด โดยใช้ผู้ควบคุมการทำงาน 1 คน มีหลักการทำงานดังนี้ นำฝักมะขามปอกเปลือกและรอกออกแล้วที่ประกอบด้วยเนื้อและเมล็ดใส่ในถาดป้อน มะขามจะตกลงสู่ห้องนวด และถูกลูกนวดพดพามะขามเหวี่ยงไปสัมผัสกับผนังห้องนวดที่มีรูเปิด ซึ่งจะ使得เนื้อมะขามแยกตัวออกจากเมล็ด โดยเนื้อจะร่วงเข้าถาดรองเนื้อและรวบรวมในภาชนะบรรจุเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนเมล็ดจะถูกใบพัดพาออกไปที่ด้านปลายลูกนวดและตกในถาดรองเมล็ด จากการพิจารณาการหาขนาดรูตะแกรงที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากหลักทางกายภาพของเมล็ดมะขามต้องไม่หลุดออกจากรูตะแกรงจึงดำเนินการวัดเพื่อหาขนาดเมล็ดมะขามทั้ง 3 มิติ พบว่ามีความกว้าง ความยาว และความหนาอยู่ในช่วง 10.1-12.2, 14.2-16.7 และ 5.3-6.4 mm ตามลำดับ

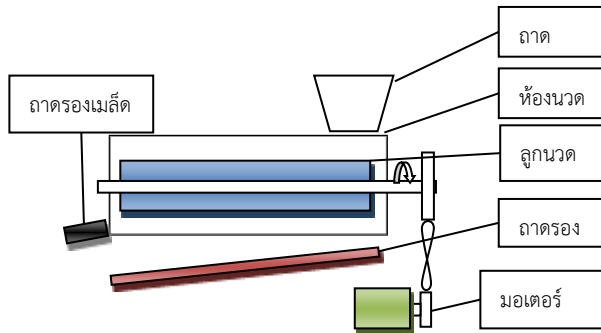


Figure 2 Conceptual design of tamarind pulp extractor

ภายหลังออกแบบแล้วได้ดำเนินการสร้างเครื่องจักรเบื้องต้นโดยใช้วัสดุเหล็กเหนียว และได้พิจารณาการออกแบบตามหลักออกเกอร์นอมิก (Sanders and McCormick, 1993) ให้เหมาะสมกับร่างกายของคนไทย ใช้งานง่าย และมีความปลอดภัยในการทำงาน รวมทั้งผู้ปฏิบัติงานอยู่ในท่านั่ง มีห้องนวดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ยาว 60 cm ติดตั้งอยู่บนโครงเหล็กฉากขนาด (กว้างxยาวxสูง) 40x40x4 mm ภายในมีลูกนวดต่อกับพูลเลย์ขนาด 30.48 cm ซึ่งใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 746 W 220 V ดัง Figure 3



Figure 3 Tamarind pulp extractor (Model I)

เมื่อนำมาทดสอบเบื้องต้น โดยกำหนดให้ 1) ความเร็วรอบลูกนวด 225 และ 315 rpm โดยใช้พูลเลย์ซึ่งมีอัตราทดระหว่างตัวขับ และตัวตามี่ 1:6.4 และ 2:1 และ 2) ขนาดรูตะแกรง 6 mm จากนั้นป้อนฝักมะขามเปียกลงในถาดป้อน ครึ่งละ 3 kg โดยใช้ จำนวน 3 การทดลอง จากการทดสอบดังกล่าว พบว่าที่ความเร็ว 225 rpm สามารถลอกเนื้อมะขามออกจากเมล็ดได้ผลผลิตประมาณ 25% ดังสมการ (1)

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อมะขามที่ลอกได้}}{\text{น้ำหนักมะขามทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

ส่วนเนื้อที่เหลืติดกับเมล็ดมะขามถูกใบพัดลูกนวดพาออกไป ซึ่งมีการสูญเสียเนื้อมาก และเมื่อเพิ่มความเร็วลูกนวดเป็น 315 rpm สามารถลอกเนื้อมะขามได้เพิ่มขึ้นเป็น 30% สาเหตุที่มีการ

สูญเสียเนื้อมะขามติดไปกับเมล็ดมากเกิดจากใบพัดลูกนวดหมุนเหวี่ยงและพาผ่านรูตะแกรงเร็วเกินไป การทดสอบเบื้องต้นนี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่องโมเดล 1 ที่สร้างขึ้นมีแนวโน้มที่จะสามารถลอกเนื้อมะขามได้ จึงดำเนินการปรับปรุงเครื่องจักรเป็นดัง Figure 4



Figure 4 Tamarind pulp extractor (Model II)

การสร้างเครื่องโมเดล 2 ได้เปลี่ยนวัสดุในส่วนที่สัมผัสกับมะขามเป็นสแตนเลสซึ่งมีความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้สัมผัสกับอาหารโดย Figure 5 แสดงลักษณะภายในของเครื่องที่ปรับปรุงใบพัดลูกนวด โดยเพิ่มใบพัดหมายเลข 1 ในแนวนานกับแกนลูกนวดจำนวน 10 ใบ เพื่อทำหน้าที่พามะขามเปียกให้ชิดกับผนังทำให้เนื้อหลุดออกลงในถาดรองเนื้อมะขาม และติดตั้งใบพัดหมายเลข 2 ทำหน้าที่ลำเลียงมะขามเปียกจากส่วนหัวเครื่องออกไปด้านท้ายเครื่อง ขณะลูกนวดหมุนจะทำให้ใบพัดหมายเลข 1 และ 2 ทำงานพร้อมกันส่งผลให้มะขามเปียกถูกเหวี่ยงฟุ้งไปสัมผัสผนังและค่อยๆ ถูกลำเลียงออกไปทางด้านท้ายเครื่อง ทำให้เนื้อมะขามหลุดออกจากเมล็ด นอกจากนี้ได้เพิ่มใบพัดหมายเลข 3 เพื่อทำหน้าที่ส่งเมล็ดมะขามลงถาดรองเมล็ด และใบพัดหมายเลข 4 ทำหน้าที่ป้อนมะขามเปียกเข้าห้องนวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากปรับปรุงห้องนวดสมบูรณ์แล้วได้นำไปติดตั้งบนโครงที่ทำจากวัสดุสแตนเลส เพื่อดำเนินการทดสอบต่อไป



Figure 5 Internal structure of extractor

2.3 การศึกษาปัจจัยของเครื่องลอกเนื้อมะขามต่อคุณภาพเนื้อมะขาม

นำฝักมะขามที่ปอกเปลือกและรอกออกมาทดสอบกับเครื่องลอกเนื้อมะขามที่สร้างขึ้น โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design ศึกษาปัจจัยด้านความเร็วรอบของการหมุนเหวี่ยง ได้แก่ 300, 360, 420 และ 480 rpm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง ได้แก่ 3, 6 และ 9 mm จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านอัตราการลอกดังสมการ (2) และผลผลิตของเนื้อมะขาม เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม

$$\text{Capacity (kg/h)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อที่ลอกได้ (kg)}}{\text{ชั่วโมงการทำงาน (h)}} \quad (2)$$

2.4 การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้ระหว่างเครื่องลอกเนื้อมะขามกับแรงงานคน

นำเนื้อมะขามที่ได้จากการลอกเนื้อด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามในสภาวะที่เหมาะสมตามข้อที่ 2.3 มาทำการเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างการลอกเนื้อด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามกับการใช้แรงงานคน ดังต่อไปนี้

2.4.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้งาน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนเครื่องลอกเนื้อมะขาม และความสามารถในการทำงาน

2.4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้ระหว่างเครื่องลอกเนื้อกับแรงงานคน

นำฝักมะขามมาผ่านการลอกด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขาม และการแกะด้วยแรงงานคน จากนั้นนำเนื้อมะขามที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ค่าสีโดยการวัดสีด้วยเครื่อง Hunter Lab ยี่ห้อ Color Flex รุ่น W20 ค่าความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) และการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส โดยการนำเนื้อมะขามมาทดสอบกับผู้บริโภคที่เคยใช้มะขามเปียกเพื่อการบริโภค จำนวน 30 คน เปรียบเทียบกับเนื้อมะขามที่ได้จากแรงงานคนพร้อมแบบสอบถามด้านการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ สี รูปร่าง ความสามารถในการละลายของเนื้อมะขาม และความชอบโดยรวม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ T-test

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องลอกเนื้อมะขาม

จากการออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องลอกเนื้อมะขามในโมเดลที่ 1 (Figure 3) และโมเดลที่ 2 (Figure 4) ทำให้ได้เครื่องลอกเนื้อมะขามที่พัฒนาขึ้นส่วนประกอบที่สำคัญของคือ (1) ถาดป้อน (2) ห้องขนาด (3) ลูกขนาด (4) ตะแกรง (5) ถาดรองเนื้อมะขาม (6) ถาดรองเม็ด และ (7) มอเตอร์ต้นกำลัง โดยถาดป้อนมีมุมเอียง 10° ลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 cm ยาว 59 cm ติดตั้งอยู่กับเพลาลูก ขนาด 2.54 cm ซึ่งเชื่อมต่อกับเพลาลูกขนาด 30.48 cm หุ้มด้วยห้องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 cm

ความยาว 62 cm ต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 746 W 220 V มิติโดยรวมของเครื่อง (กว้างxยาวxสูง) 50x100x100 cm น้ำหนัก 65 kg (Figure 6)



Figure 6 Tamarind pulp extractor prototype

3.2 การศึกษาปัจจัยของเครื่องลอกเนื้อมะขามต่อคุณภาพเนื้อมะขาม

การศึกษาปัจจัยด้านความเร็วรอบของการหมุนเหวี่ยง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงทำให้อัตราการลอก และผลผลิตของเนื้อมะขามเพิ่มมากขึ้น (Table 1) สอดคล้องกับ (Shittu and Ndrika 2012) และ (Ismail et al., 2015) ซึ่งพบว่าความเร็วของเครื่องกะเทาะทำให้เกิดการหมุนเหวี่ยงและเกิดแรงส่งวัสดุไปกระทบกับผนัง โดยการเพิ่มความเร็วของการกะเทาะทำให้ประสิทธิภาพในการกะเทาะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ที่ความเร็วรอบ 300 และ 360 rpm ไม่สามารถพิจารณาข้อมูลได้ เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าเกิน 5.2 Amp ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าเกินกว่าค่ากำหนดการใช้งานของมอเตอร์ เนื่องจากเนื้อมะขามเปียกเป็นวัสดุที่มีความเหนียวการใช้ความเร็วรอบที่ต่ำเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางน้อยและทำให้วัสดุติดกับแกนขนาดเพิ่มขึ้นและทำให้มีแรงต้านในการหมุนของลูกขนาดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบวิธีการลอกเนื้อมะขามระหว่างเครื่องลอกเนื้อมะขามกับการแกะด้วยแรงงานคน พบว่าการลอกเนื้อมะขามด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามมีอัตราการลอกอยู่ในช่วง 2.57 ถึง 6.32 kg h⁻¹ ซึ่งมากกว่าการลอกเนื้อมะขามด้วยแรงงานคนซึ่งมีอัตราการลอกเพียง 0.36 kg h⁻¹ และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของเนื้อมะขาม พบว่าการลอกเนื้อมะขามด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามให้ผลผลิตของเนื้อมะขามอยู่ในช่วง 22.87 - 43.75% ขณะที่การแกะเนื้อมะขามด้วยแรงงานคนมีผลผลิตของเนื้อมะขาม 56.40% นอกจากนี้การลอกเนื้อมะขามด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามที่ตะแกรงขนาด 9 mm ที่อัตราทด ต่าง ๆ ระหว่างพลเลย์ตัวขับและตัวตามซึ่งมีผลทำให้ความเร็วรอบแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ตะแกรงขนาด 9 mm ให้ผลผลิตของเนื้อมะขามมากกว่าที่ตะแกรงขนาดอื่น ๆ และใกล้เคียงกับผลผลิตของเนื้อมะขามที่ได้

จากการแกะด้วยแรงงานคน เนื่องจากการเพิ่มขนาดตะแกรงทำให้เนื้อมะขามสามารถลอกและหลุดออกจากตะแกรงได้ง่ายกว่าตะแกรงที่มีขนาดเล็กและทำให้เนื้อมะขามไม่สูญเสียไปกับเมล็ดมะขามที่ผ่านออกมาจากเครื่องลอกเนื้อมะขาม นอกจากนี้วัสดุที่ผ่านรูตะแกรงที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับวัสดุและเกิดลักษณะก้อนแข็งเกิดขึ้นในท้องนวดทำให้เกิดการอุดตันและทำให้วัสดุหลุดออกจากตะแกรงยากขึ้น (Islam and Matzen, 1988; Gotsis et al., 1985; Toneva et al., 2011) ซึ่งจะสังเกตได้จากกระแสไฟฟ้าเกินกว่าค่ากำหนดการใช้งานของมอเตอร์ของตะแกรงขนาด 3 mm โดยลักษณะของเนื้อมะขามและเมล็ดมะขามที่ผ่านออกมาจากเครื่องลอกเนื้อมะขามและจากแรงงานแสดงดัง Figure 7 ซึ่งความเร็วที่ 420 rpm ขนาดรูตะแกรง 9 mm สามารถลอกเนื้อมะขามได้มากที่สุดคือ 43.75% โดยมีอัตราการลอกหรืออัตราการทำงานที่ 5.22 kg h⁻¹

Table 1 Capacity and yield of pulp tamarid extractor

Method	Sieve size (Ømm)	Speed (rpm)	Capacity (kg h ⁻¹)	Yield (%)
Extractor	3	300	N/A	N/A
		360	N/A	N/A
		420	3.03	29.25
		480	2.73	22.87
	6	300	2.57	28.00
		360	3.38	32.40
		420	6.32	24.79
		480	5.21	41.65
	9	300	5.72	41.25
		360	5.10	40.90
		420	5.22	43.75
		480	5.46	42.50
Worker	-	-	0.36	56.40

Note: N/A = Not Available



Figure 7 Extracted pulp using worker (A) and extractor (Ø sieve hole diameter = 3 (B), 6 (C) and 9 mm (D))

3.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้ระหว่างเครื่องลอกเนื้อมะขามกับแรงงานคน

การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้ระหว่างเครื่องลอกเนื้อมะขามกับแรงงานคน โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ลอกได้ ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานของเครื่องลอกเนื้อมะขาม แบ่งออกเป็นต้นทุนเครื่องลอกเนื้อมะขาม (ต้นทุนคงที่) และต้นทุนการลอกเนื้อมะขาม (ต้นทุนแปรผัน) มีการวิเคราะห์ดังนี้

ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วยค่าเครื่องลอกเนื้อมะขามซึ่งผู้วิจัยได้ประเมินไว้ที่ 40,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี ดังนั้นจะมีค่าใช้จ่ายคงที่ 40000/10 เท่ากับปีละ 4,000 บาท และคิดการทำงาน 284 Day นำมาคิดเฉลี่ยต้นทุนคงที่ เท่ากับ 14 บาท Day⁻¹

ต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วย

1) ค่าไฟฟ้า 2.23 บาท h⁻¹ หรือ 17.84 บาท Day⁻¹

คำนวณค่าไฟฟ้าจากค่ากระแสที่มอเตอร์ต้นกำลังขนาด 746 W พิกัดกระแสสูงสุด 5.2 A ที่แรงดัน 220 V ความเร็ว 1,440 rpm ระหว่างการทดสอบกระแสที่ใช้ในการขับเคลื่อนลูกนวดมีค่า 3.95-4.90 A จึงใช้ค่ากระแสสูงสุด 4.90 A มาคำนวณจากสูตร (ณรงค์, 2540)

$$\text{มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส } P = V \cdot I \cos \theta \cdot \eta \quad (3)$$

โดย P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = ความต่างศักย์ (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

$\cos \theta$ = เพาเวอร์แฟกเตอร์

η = ประสิทธิภาพมอเตอร์

ดังนั้น

$$P = 220 \times 4.90 \times 0.8 \times 0.8 \\ = 689.92 \text{ W}$$

หมายเหตุ: เนื่องจากเป็นมอเตอร์ใหม่จึงคิดค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ 80% การคิดค่าไฟฟ้าจะคิดจากปริมาณที่ใช้ไป 1,000 W h หรือ Unit คิดที่ 3.2315 บาท Unit⁻¹ ตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (2559) ประเภท 1 บ้านอยู่อาศัยไม่เกิน 150 หน่วย/เดือน

ดังนั้น เครื่องลอกเนื้อมะขามจะเสียค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ

$$(689.92/1,000) \times 3.2315 \text{ เท่ากับ } 2.23 \text{ บาท h}^{-1} \text{ หรือวันละ } (2.23 \text{ บาท h}^{-1} \times 8 \text{ h}) \text{ เท่ากับ } 17.84 \text{ บาท Day}^{-1}$$

2. ค่าแรงผู้ปฏิบัติงาน 300 บาท Day⁻¹

ดังนั้นเครื่องลอกเนื้อมะขามมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 331.84 บาท Day⁻¹ และมีความสามารถในการทำงาน 5.22 kg h⁻¹ หรือ 41 kg Day⁻¹

2) สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้แรงงานคน พบว่า การใช้แรงงานคนแกะเมล็ดที่ 1 คน คิดเป็นอัตราค่าจ้าง 300 บาท Day⁻¹ มีความสามารถในการทำงาน 0.36 kg h⁻¹ หรือคิดเป็น 2.88 kg Day⁻¹

จากการพิจารณาค่าใช้จ่ายระหว่างการลอกเนื้อมะขามด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามกับแรงงานคน พบว่าค่าใช้จ่ายของ 2 วิธี มีความแตกต่างกัน 31.84 บาท Day⁻¹ โดยเครื่องลอกเนื้อมะขามมีความสามารถในการทำงานหรือลอกเนื้อมะขามได้มากกว่าแรงงานคน 14 เท่า และมีการสูญเสียเนื้อมะขามมากกว่าด้วยแรงงานคน 12.65%

3.3.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อมะขามที่ได้ระหว่างเครื่องลอกเนื้อกับแรงงานคน

จากการลอกเนื้อมะขามด้วยเครื่องลอกเนื้อที่ความเร็วรอบ 420 rpm และขนาดรูตะแกรง 9 mm ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้แรงงานคน พบว่าคุณภาพของเนื้อมะขามทางด้านสี (color) และความชื้น (moisture content, MC) จากทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ดัง Table 2 โดยเนื้อมะขามที่ลอกได้มีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 24.80 - 27.99 ค่าความเป็นสีแดง (+a*) อยู่ในช่วง 6.11 - 6.51 และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) อยู่ในช่วง 7.29 - 9.05 ซึ่งลักษณะของเนื้อมะขามเปียกที่ได้มีสีออกคล้ำถึงดำซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าความสว่างที่มีค่าน้อย

Table 2 Values of color and moisture content (MC) of tamarind pulp extraction

Method	Color ^{ns}			MC ^{ns} (%)
	L*	a*	b*	
Extractor	27.99	6.51	9.05	24.51
Worker	24.80	6.11	7.29	23.16

Note: ^{ns} Mean values are no statistically different (p>0.05)

สำหรับการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเนื้อมะขามที่ลอกด้วยเครื่องลอกเนื้อ และการใช้แรงงานคน โดยผู้บริโภครายที่เคยซื้อมะขามเปียก พบว่าคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี รูปร่าง การละลาย และความชอบโดยรวมของเนื้อมะขามมีคะแนนความชอบไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ดัง Table 3 ซึ่งคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี รูปร่าง การละลายและความชอบโดยรวมของเนื้อมะขามที่ลอกด้วยเครื่องลอกเนื้อและแรงงานคนอยู่ในช่วง 4.05 - 7.10 หรือ มีคะแนนความชอบอยู่ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

Table 3 Sensory evaluations of pulp tamarind extraction

Attributes ^{ns}	Extract method			
	Extractor		Worker	
Apperance	5.63	±2.47	6.03	±1.82
Color	6.30	±2.19	7.10	±1.22
Form	5.05	±2.85	4.05	±2.32
Soluability	6.28	±2.62	7.00	±1.48
Overall liking	6.50	±1.78	6.53	±1.40

Note: Each value is the mean ± standard deviation (n=30)

^{ns}Mean values are no statistically different (p>0.05)

4 สรุป

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการลอกเนื้อมะขามของเครื่องลอกเนื้อมะขามเปียกที่ผลิตขึ้น แสดงให้เห็นว่าเครื่องลอกเนื้อมะขามควรทำงานด้วยความเร็วรอบ 420 rpm และใช้ช่องเปิดหรือตะแกรงที่ห่อหุ้มลูกนวดที่รูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm เพื่อให้เกิดการลอกเนื้อมะขามที่มีประสิทธิภาพ โดยให้ผลผลิตของเนื้อมะขามที่ 43.75% ซึ่งใกล้เคียงกับการลอกเนื้อมะขามด้วยแรงงานคนมากที่สุด แต่มีความสามารถในการทำงานมากกว่า 14 เท่า โดยมีกำลังการผลิต 5.22 kg h⁻¹ และให้คุณภาพด้านสี ความชื้น และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเนื้อมะขามที่ได้จากการลอกด้วยเครื่องลอกเนื้อมะขามไม่แตกต่างกับการใช้แรงงานคน (p>0.05)

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2558. อัตราค่าไฟฟ้า. แหล่งข้อมูล: <https://ienergyguru.com/wp-content/uploads/2015/06/PEA-Rate2012>. เข้าถึงเมื่อ 25 ตุลาคม 2558.
- ณรงค์ ขอนตะวัน. 2540. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: มปป.
- ตลาดไท. 2559. ราคาสินค้า. แหล่งข้อมูล: <http://www.talaadthai.com/price>. เข้าถึงเมื่อ 20 ธันวาคม 2016.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2541. วิศวกรรมอาหาร: หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. นำเข้า-ส่งออกสินค้าที่สำคัญ. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/oae_

report/export_import/export.php. เข้าถึงเมื่อ 15
มกราคม 2560.

AOAC. 2000. Official Method of Analytical of Analysis.
(17th ed). Maryland: The Association of Official
Analytical Chemists.

Gotsis, C., Austin, L.G., Luckie, P.T., Shoji, K. 1985.
Modelling of a grinding circuit with a swing hammer
mill and a twin-cone classifier. Powder Technol 42,
209–216.

Islam M. N. and Matzen R. 1988. Size distribution
analysis of ground wheat by hammer mill. Powder
Technol 54, 235–241.

Ismail, S.O., Ojolo, S.J., Oresaleye, J.I., Adediran, A.A.,
Fajuyitan, O.O. 2015. Design and development of
an improved palm kernel shelling and sorting
machine EIJST 4, 225-240.

Manohar, B., Ramakrishna, P., Udayasankar, K. 1991.
Some physical properties of tamarind (*Tamarindus
indica* L.) juice concentrates. J. Food Eng. 13, 241-
258.

Sanders, M.S. and McCormick, E.J. 1993. Human
Factors in Enginerring and Design. (7thed.). New
York: McGraw-Hill.

Shittu, S.K. and Ndrika, V.I.O. 2012. Development and
performance tests of a melon (egusi) seed shelling
machine. CIGR Journal 14, 157-164.

Toneva, P., Eppe, P., Breuer, M. 2011. Grinding in an air
classifier mill - Part I: Characterisation of the one-
phase flow. Powder Technology, 211:19–27.