



การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วงสำหรับการออกแบบสร้างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง Study on Physical Properties of Mango for Design and Fabrication Picked Mango Cutting and Peeling Machine

ณฤดล พูนรัตน์¹, เกียรติกร มีถาวร¹, กิตติยา วงศ์สกุลสุขกุล², ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์³, สิรินาถ น้อยพิทักษ์^{3*}
Naridol Paunrat¹, Kriengkrai Meethaworn¹, Kittiya Wongsakulsukkul², Siwalak Pathaveerat³,
Sirinad Noypitak^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและการจัดการ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม 73000

¹Agricultural Innovation and Management Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000

²สาขาวิชาการจัดการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม 73000

²Food Management Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000

³ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม 73140

³Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: Tel.: +66-851-755-727, Fax: +66-0-3435-1896, E-mail: fengsn@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของมะม่วงแก้วผลสดและผลดอง ด้วยการวัดขนาดของผลมะม่วง จากการทดสอบแรงเฉือนเนื้อมะม่วงแบบตามยาวผลและตามขวางผล และการทดสอบความแน่นเนื้อของมะม่วงแบบปอกเปลือกและแบบไม่ปอกเปลือก ได้ใช้ข้อมูลเหล่านี้ออกแบบเครื่องหั่นและปอกมะม่วงดอง จากขนาดของผลมะม่วงที่วัดได้สามารถกำหนดระยะห่างของใบมีดการหั่นได้ 1.5 cm จะได้ชิ้นเนื้อที่มีขนาดที่เหมาะสม แรงที่กระทำกับเนื้อมะม่วงสามารถทำให้ทราบถึงแรงในการหั่นเนื้อมะม่วง และสามารถออกแบบกลไกชุดปอกให้สามารถกดชิ้นมะม่วงดองเป็นระนาบให้กับใบมีดปอก เครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองถูกออกแบบสร้างและทดสอบใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การหั่นชิ้นมะม่วง ที่ความเร็วรอบชุดใบมีดหั่น 80 rpm มีอัตราการทำงาน 105.61 kg h⁻¹ และรูปแบบที่ 2 ใช้งานในกระบวนการหั่นร่วมกับการปอกเปลือกชิ้นเนื้อมะม่วงดอง ด้วยความเร็วรอบชุดใบมีดหั่น 80 rpm มุมใบมีดปอกที่ 2° และความเร็วเชิงเส้นสายพานตัวล่างสำหรับลำเลียงชิ้นมะม่วงดองและสายพานชุดลูกกลิ้งตัวบนที่ระดับ 0.06 m s⁻¹ มีประสิทธิภาพการปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง 83.90% และอัตราการทำงาน 48.70 kg h⁻¹

คำสำคัญ: มะม่วง, มะม่วงดอง, เครื่องหั่น, เครื่องปอก, สมบัติทางกายภาพ

Abstract

The objective of this research was to study the physical characteristics of fresh and pickled Kaew mango by measuring the size of the mango. The shear strength of the mango pulp was tested on longitudinal and transversal of the fruit, and the firmness test of the pulp was done and compared between peeling and unpeeling fruit. These data were used to design a pickled mango cutting and peeling machine. Based on the measured size of the mango fruits, a blade spacing of 1.5 cm was determined for slicing the mango pulp into optimal size pieces. The action force on the mango pulp could reveal the cutting force of the mango flesh and the peeling mechanism could be designed to press the pickled mango flesh into a plane for the peeling blade. The pickled mango cutting and peeling machine was designed, built and tested in 2 functional forms. The first form involved cutting the mango pieces at a blade rotation speed of 80 rpm, achieving an operational rate of 105.61 kg h⁻¹. The second form involved simultaneous cutting and peeling of the pickled mango pieces, with a blade rotation speed of 80 rpm, a peeling

Received: August 10, 2023

Revised: May 11, 2023

Accepted: May 15, 2023

Available online: January 27, 2024

angle of 2°, a lower belt conveyor speed of 0.06 m s⁻¹ for transporting the mango and an upper roller belt conveyor. the peeling efficiency was 83.90%, and an operational rate was 48.70 kg h⁻¹.

Keywords: mango, pickled mango, cutting machine, peeling machine, physical properties.

1 บทนำ

มะม่วงไทย เป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ เนื่องจากผลผลิตที่มีตลอดทั้งปี มีหลากหลายพันธุ์ คุณภาพดี รสชาติหอมหวาน และรูปลักษณะสวยงาม จึงครองใจผู้บริโภค จากสถิติการส่งออกในปี 2565 ไทยส่งออกมะม่วงไปต่างประเทศ จำนวน 154,000 Tons มีมูลค่าการส่งออกถึง 6,400 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) มะม่วงตามฤดูกาลรอบปีมักจะมีผลผลิตจำนวนมากและล้นตลาด การแปรรูปจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่ช่วยขยายตลาดและถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น (อุษาพร, 2557) มะม่วงแก้วเป็นอันดับหนึ่งในการนำมาแปรรูปเป็นมะม่วงดอง เพราะมีเนื้อแน่นมีปริมาณเนื้อมาก เส้นใยน้อย มีสีและรสชาติเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค โดยการดองจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3 weeks ถึง 1 month (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) การจำหน่ายมะม่วงดองมี 2 รูปแบบ คือ แบบเป็นผลทั้งลูก และแบบปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้น แต่ด้วยมะม่วงดองมีปริมาณที่มาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องใช้แรงงานสำหรับการปอกเปลือกและหั่นขึ้นเพื่อจำหน่ายมาก และมักพบปัญหาความไม่ชำนาญในการปอกและหั่นขึ้นมะม่วงดอง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาฝึกฝนมากและเกิดความไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันยังขาดการพัฒนาเครื่องปอกมะม่วงดองไว้ใช้ภายในประเทศ ส่วนเครื่องปอกเปลือกมะม่วงที่นำเข้ามีราคาสูง

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล (Mahmoud et al., 2022) ในการออกแบบเครื่องหั่นและปอกเปลือกขึ้นมะม่วงดองอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการศึกษาการประเมินมะม่วงแก้วเพื่อการแปรรูป ซึ่งความแน่นเนื้อที่วัดได้บอกถึงเนื้อที่ไม่แน่นไม่ละเอียดเป็นลักษณะที่ต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูป (ลำพอง, 2548) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีการศึกษาเครื่องหั่นขึ้นมันเส้นด้วยการกำหนดตัวแปร 2 ตัวแปร ในการทดสอบ คือ ความเร็วเพลาชับใบมีดและขนาดของหัวมันสำหรับหลัง 3 ระดับ ให้อัตราการทำงาน 1,457.4 kg h⁻¹ มีประสิทธิภาพการหั่นขึ้นมัน 85.6% (วิรัตน์, 2556) และเครื่องปอกมะม่วงดองมีออกแบบเป็นใบมีดจานหมุนในการปอก พบว่าความเร็วรอบใบมีดปอก 200 rpm ความสูงใบมีด 3 mm ความเร็วใบกวน 65 rpm มีอัตราการทำงาน 60 kg h⁻¹ ซึ่งทำงานสูงกว่าแรงงานคนปอก 2.23 เท่า ทั้งนี้การปอกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ใกล้เคียงกับการปอกด้วยแรงงานคน และมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (อิศราวุฒิ, 2562)

คุณสมบัติเหล่านี้ เช่น ขนาดทางกายภาพของมะม่วงแก้ว เนื้อเยื่อ ความแข็งแรง และโครงสร้างภายใน เป็นต้น นอกจากจะมีผลต่อกระบวนการดองมีผลต่อกระบวนการดองแล้ว ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น ระยะห่าง

ระหว่างใบมีดสำหรับการหั่น ขนาดช่องลำเลียงขึ้นมะม่วงสู่กลไกชุดปอก แรงกดขึ้นมะม่วงดองเข้าสู่ใบมีดปอกสำหรับเครื่องหั่นและปอกเปลือกขึ้นมะม่วงดองได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการดองมะม่วงแก้วแล้วออกแบบสร้างทดสอบเครื่องหั่นและปอกเปลือกขึ้นมะม่วงดอง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการดอง โดยใช้มะม่วงแก้วที่มีอายุเก็บเกี่ยว 13-17 week หลังดอกบาน (ภคินีและคณะ, 2532) โดยมะม่วงดองผ่านกระบวนการดองด้วยน้ำเกลือและน้ำปูนใสเรียบร้อยแล้ว ทำการเก็บตัวอย่างมาจากตลาด ปทุมมงคล จังหวัดนครปฐม โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

2.1 การวัดขนาดของมะม่วง

การวัดขนาดของมะม่วงผลสดและผลดอง ประกอบด้วย ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) 3 ตำแหน่ง คือ ระยะ A B และ C ตามลำดับ ดัง Figure 1 และชั่งน้ำหนัก (Weight) ของผลมะม่วงด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (PA4102, OHAUS, USA)

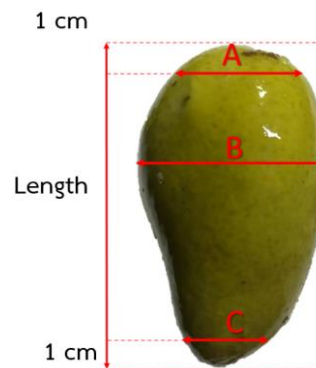


Figure 1 The position of mango size measurement.

มะม่วงถูกตัดส่วนหัวขึ้นมะม่วงที่ตำแหน่ง A และตัดส่วนท้ายผลมะม่วงที่ตำแหน่ง C ประมาณ 1 cm ออกก่อนการแบ่งเนื้อมะม่วงออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ เนื้อส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 ส่วนที่ 3 ส่วนที่ 4 เพื่อวัดความหนาขึ้นเนื้อมะม่วง ณ ตำแหน่งที่หนาที่สุดของชิ้นนั้นๆ และขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาที่สุดของเมล็ดส่วนที่ 5 ดัง Figure 2

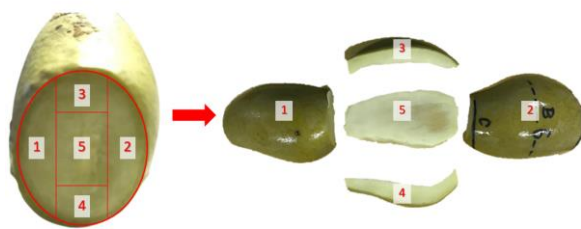


Figure 2 The position to divide the pulp of mango to measure the size of the pulp.

2.2 การทดสอบแรงเค้นในการตัดชิ้นมะม่วง

การทดสอบแรงเค้นในการตัดชิ้นมะม่วงพันธุ์แก้วผลสด จำนวน 20 ผล และผลดอง จำนวน 20 ผล เริ่มจากการเตรียมตัวอย่างชิ้นเนื้อมะม่วงสำหรับการทดสอบ โดยมะม่วงถูกนำเมล็ด (ส่วนที่ 5) ออกจากผลด้วยเครื่องหั่นมะม่วงอเนกประสงค์ทำให้ได้ชิ้นเนื้อส่วนที่ 1 ชิ้นเนื้อส่วนที่ 2 (Figure 2) จากนั้นนำชิ้นเนื้อมาหั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยม ที่ขนาดความกว้าง และความยาว ความหนา ด้านละ 10 mm x 10 mm x 2 mm ตามลำดับ (ปานมนัส, 2554) ตัวอย่างชิ้นเนื้อมะม่วงถูกวางตามยาวผล (ขนานเส้นใย) และตามขวางผล (ขวางเส้นใย) กับใบมีด แล้วทดสอบแรงเค้นด้วยเครื่อง Texture Analyzer (รุ่น LR5K, Lloyd instrument, Fareham, Hants, England) โดยหัวตัดแบบใบมีด Warner-Bratzler Shear blade with a rectangular notch ดัง Figure 3 ใช้หัวโหลดเซลล์ 500 N ความเร็วหัวกด 60 mm min⁻¹ และระยะกด 4 mm บันทึก ค่าพลังงานในการเค้น (Work to maximum load) และ ค่าความแข็ง (Stiffness) เพื่อเปรียบเทียบแรงเค้นในการตัดชิ้นมะม่วงสดและมะม่วงดอง (ปานมนัส, 2554)



Figure 3 Cutting force measurement of mango using a texture analyzer machine.

2.3 การทดสอบความแน่นเนื้อของมะม่วง

การทดสอบความแน่นเนื้อมะม่วงพันธุ์แก้ว ซึ่งการทดสอบแบ่งออก 2 รูปแบบ คือ ผลมะม่วงแบบปอกเปลือกและ แบบไม่ปอกเปลือก โดยมะม่วงที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ลักษณะ คือ ผลสดจำนวน 40 ผล และผลดองจำนวน 40 ผล สำหรับการทดสอบความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Universal testing machine; UTM (รุ่น 5567 Instron Engineering Co, High Wycombe, England) ดัง Figure 4 โดยหัวกดแบบปลายหน้าตัดเรียบ ขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด 1.6 mm ความเร็วในการเจาะ 0.2 mm s⁻¹ (Sirisomboon et al., 2011) แล้วบันทึกค่าแรงสูงสุดในการกด (*Fmax*) และระยะที่วัสดุแตก (*Deformation*) และคำนวณค่าความแน่นเนื้อ (*Firmness*) ดังสมการที่ (1)

$$(\text{Firmness, N}\cdot\text{mm}^{-1}) = \frac{F_{\max}}{\text{Deformation}} \quad (1)$$

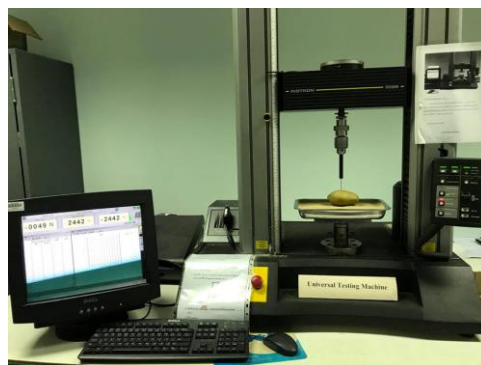


Figure 4 Firmness measurement of mango using a universal testing machine.

2.4 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วงแก้วก่อนและหลังการดอง

ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในลักษณะผลสดและผลดองของมะม่วงแก้ว ได้แก่ การวัดขนาดผลของมะม่วง การทดสอบแรงเค้นในการตัดชิ้นมะม่วง และค่าการทดสอบความแน่นเนื้อของมะม่วง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรม SPSS version 28 (IBM; Armonk, NY, USA) แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบและสร้างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง

2.5 การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง

การออกแบบเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองมีเกณฑ์การออกแบบตามความต้องการปอกเปลือกมะม่วงดองที่ผ่านกระบวนการนำเมล็ดออกจากผลแล้วได้เป็นชิ้นเนื้อลักษณะเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ใน Figure 2 ที่ยังคงติดเปลือกมะม่วงอยู่ โดยเครื่องสามารถหั่นชิ้นมะม่วงที่ยังไม่ปอกขาดได้ตลอดความยาวผล เมื่อหั่นเป็นชิ้นแล้วสามารถไหลเข้าสู่กระบวนการปอกเปลือกได้ สามารถแยกเนื้อมะม่วงดองและเปลือกมะม่วงดองออกจากกันหลังปอกด้วยใบมีด โดยชิ้นเนื้อที่ปอกเปลือกแล้วต้องคงความสวยของชิ้นและคงสภาพเนื้อชิ้นไม่แตกหรือเสียหาย ซึ่งเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองสามารถแยกส่วนในการใช้งานได้ เช่น ใช้เฉพาะการหั่นมะม่วงดองให้เป็นชิ้น หรือ ใช้งานร่วมกันระหว่างส่วนหั่นและส่วนปอกเปลือก

การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง ดัง Figure 5 ประกอบด้วยการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนหั่นเนื้อมะม่วงต้องเป็นชิ้น และส่วนปอกเปลือกชิ้นเนื้อมะม่วงต้อง

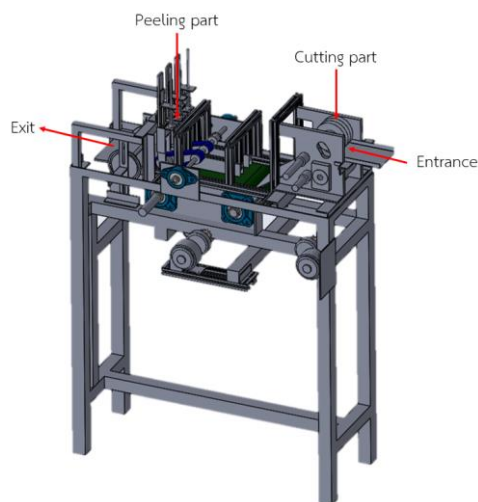


Figure 5 Drawing of pickled mango cutting and peeling machine.

ส่วนหั่นเนื้อมะม่วงต้อง ดัง Figure 6 ประกอบด้วย ชุดใบมีดสแตนเลสกลมแบบ 2 คม จำนวน 4 ใบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 cm ความหนา 0.1 cm ทำหน้าที่หั่นชิ้นมะม่วงต้อง แต่ละใบมีดมีระยะห่างระหว่างใบมีด 1.5 cm ดัง Figure 6 เพื่อกำหนดขนาดของชิ้นมะม่วงต้อง ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ชิ้นมะม่วงต้องใกล้เคียงกับที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ชุดลูกกลิ้งตัวล่างเป็นพลาสติกวิศวกรรม (Superlene) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 cm ความยาว 11 cm ทำหน้าที่เป็นฐานการหั่นเนื้อมะม่วงต้อง และพาชิ้นเนื้อมะม่วงต้องไปสู่ ถาดรับชิ้นมะม่วงต้อง ถาดรองรับชิ้นเนื้อมะม่วงหลังการหั่นจะมี 2 รูปแบบการทำงาน กรณีที่ 1 หั่นชิ้นมะม่วงต้องที่ปอกเปลือกแล้ว จะมีถาดรองรับเพียง 1 ชั้นรองรับและไหลลงสู่สายพานลำเลียง แต่ในกรณีที่ 2 จะเป็นการหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงต้องที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก ถาดรองรับมี 2 ชั้นในการรับชิ้น มะม่วงต้องซึ่งถูกหั่นเป็น 5 ชิ้น โดยชิ้นมะม่วงต้องจะไหลลงสู่สายพานลำเลียง ที่มี 3 ช่องในการปอกเปลือกชิ้นมะม่วงต้อง

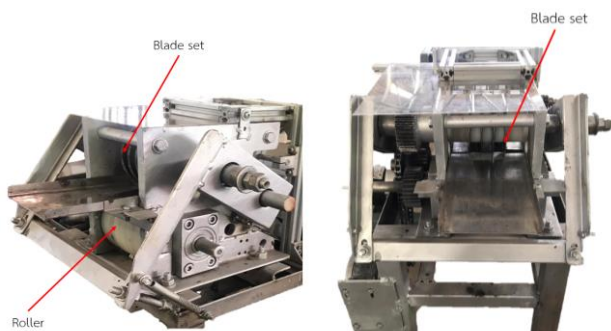


Figure 6 The part of mango cutting machine.

ส่วนการปอกเปลือกชิ้นเนื้อมะม่วงต้อง ดัง Figure 7 ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) สายพานชุดลูกกลิ้งตัวบน 2) ชุด

สายพานลำเลียง และ 3) ชุดใบมีดปอก การทำงานชิ้นมะม่วงต้องที่ถูกหั่นเป็นชิ้นแล้วจะลำเลียงมาชุดปอกเปลือก ด้วยสายพานลำเลียงเป็นชนิดอุตสาหกรรมอาหารแบบผิวขรุขระ ที่มีขนาดความกว้าง 16 cm โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 84 cm ทำหน้าที่ลำเลียงและดึงชิ้นเนื้อมะม่วงต้องเข้าสู่ชุดใบมีดปอก และหลังถูกปอกจะทำหน้าที่ดึงเปลือกของมะม่วงต้องออก และชุดใบมีดปอกขณะที่ชิ้นมะม่วงต้องเข้าสู่ชุดใบมีดปอก สายพานชุดลูกกลิ้งตัวบนเป็นสายพานชนิดอุตสาหกรรมอาหาร จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก ที่ทำจากพลาสติกวิศวกรรม (Superlene) ลูกกลิ้งลูกที่ 1 ขนาด 2.5 cm ทำหน้าที่ขับสายพานในทิศทางเข้มนำกับลูกกลิ้งลูกที่ 2 โดย มีขนาด 4 cm ติดกับลูกปืน linear guide และสปริง ทำหน้าที่กดชิ้นเนื้อมะม่วงต้องที่ระดับความหนาที่แตกต่างกันและดึงชิ้นมะม่วงต้องขณะปอกเปลือก ชุดใบมีดปอกเป็นใบมีดสองคมสามารถปรับระยะใบมีดและมุมใบมีดปอกได้ หลังจากปอกชิ้นเนื้อมะม่วงต้องชิ้นเนื้อจะอยู่ด้านบนชุดใบมีด ส่วนเปลือกจะออกมาทางด้านล่างของใบมีด

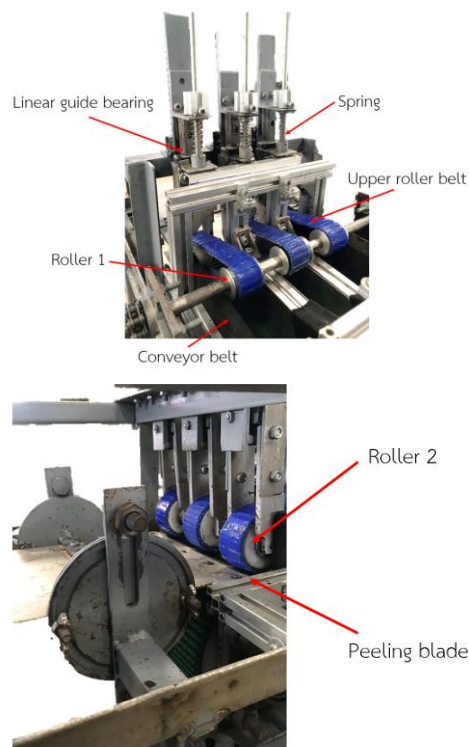


Figure 7 The part of mango peeling machine.

2.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงต้อง

2.6.1 การทดสอบเฉพาะเครื่องหั่นชิ้นมะม่วงต้อง

ทดสอบด้วยชิ้นมะม่วงต้องที่ปอกเปลือกและเอาเมล็ดออกแล้ว จำนวน 72 ผล ที่ความเร็วรอบชุดใบมีดหั่น 3 ระดับ คือ 80 100 และ 120 rpm หรือที่ความเร็วเชิงเส้น 0.3969 0.5462 และ 0.5969 m s^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความเร็วที่ชิ้นมะม่วงต้องไม่ติดค้างในช่องทางออกชิ้นเนื้อมะม่วงหลังจากการหั่น ทดสอบครั้งละ 8 ผล

(ประมาณ 1 kg) และระดับละ 3 ชั่วโมงเพื่อคำนวณหาอัตราการการทำงาน kg h^{-1}

แล้วการทดสอบเฉพาะส่วนหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงดอง ทดสอบผลของระดับความเร็วรอบชุดใบมีดต่ออัตราการการทำงาน และเปอร์เซ็นต์การได้ขนาดชิ้นมะม่วงดองที่เหมาะสม เปอร์เซ็นต์การหั่นได้เศษชิ้นมะม่วงดอง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way ANOVA แล้ววิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรม SPSS version 28 (IBM; Armonk, NY, USA)

2.6.2 การทดสอบเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วง

ทดสอบด้วยมะม่วงดองแบบยังไม่ปอกเปลือกและหั่นเอาเมล็ดออกแล้ว การทดสอบจะใช้เนื้อมะม่วงดองในการทดสอบครั้งละ $0.5 \pm 0.05 \text{ kg}$ โดยทดสอบความเร็วรอบเชิงเส้นของชิ้นเนื้อมะม่วงดองที่ผ่านสายพานลำเลียงตัวล่างและสายพานชุดลูกกลิ้งตัวบน 3 ระดับ ที่ 0.04 m s^{-1} , 0.05 m s^{-1} และ 0.06 m s^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความเร็วที่สามารถดึงชิ้นมะม่วงเข้าสู่ใบมีดได้สำเร็จ และทดสอบมุมใบมีดในการปอก 2 ระดับ เนื่องจากตัวใบมีดอยู่ตำแหน่งระหว่างสายพานลำเลียงและสายพาน ชุดลูกกลิ้งตัวบนซึ่งมีระยะที่น้อย การทดสอบด้วยมุมที่มากอาจทำให้เกิดความเสียหาย เพราะฉะนั้นจึงทำการทดสอบที่มุมใบมีด 2° และ 4° โดยทดสอบระดับละ 3 ชั่วโมง นำชิ้นเนื้อมะม่วงดองที่ผ่านการปอก และเปลือกที่ปอกออกแล้วมาชั่งน้ำหนักและนำชิ้นมะม่วงดองที่ผ่านการทดสอบมาถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (A2300, Canon, China) แล้วนำภาพถ่ายไปคิดเปอร์เซ็นต์การปอกเปลือกเฉลี่ย ด้วยโปรแกรม Image J (1.52a, USA) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ที่ปอกได้

การทดสอบส่วนหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองทดสอบผลของระดับความเร็วรอบชุดสายพานลำเลียงและชุดลูกกลิ้งติดสายพานซึ่งเป็นความเร็วเชิงเส้น 3 ระดับที่ 0.04 m s^{-1} , 0.05 m s^{-1} และ 0.06 m s^{-1} กับมุมใบมีดปอก 2 ระดับ ที่ 2° และ 4° ต่อเปอร์เซ็นต์การปอกเปลือกได้ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี completely randomized design (CRD) แบบ 3×2 factorial แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรม SPSS version 28 (IBM; Armonk, NY, USA)

2.7 การทดสอบเปรียบเทียบอัตราการทำงานคนปอกกับเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง

ทำการทดสอบเปรียบเทียบอัตราการการทำงาน แบ่งเป็นการพิจารณาการทดสอบอัตราการการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องหั่นกับแรงงานคนในการหั่น และส่วนของเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองกับแรงงานคนในการหั่นและปอก

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการวัดลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วงแก้วในลักษณะผลสดและผลดอง

ผลการวัดลักษณะทางกายภาพขนาดผลสดและผลดอง พบว่ามะม่วงผลดองมีขนาดผล ความยาวของผล ขนาดชิ้นเนื้อของมะม่วง และน้ำหนักมากกว่ามะม่วงผลสด น้ำหนักของมะม่วงดองที่มีความแตกต่างกันมากกับมะม่วงสดนั้น เนื่องจากน้ำเกลือที่แทรกซึมในกระบวนการหมักดอง มีเพียงส่วนขนาดของเมล็ดมะม่วงสดที่มีขนาดมากกว่ามะม่วงดอง ดัง Table 1

Table 1 Physical characteristics analysis of fresh Mango and pickled mango.

Fruit size	Type of mango	
	Fresh mango (Average $\pm$ SD)	Pickled mango (Average $\pm$ SD)
Maximum width of position A (mm)	51.69 $\pm$ 8.78	52.94 $\pm$ 3.26
Maximum width of position B (mm)	61.33 $\pm$ 3.21	68.96 $\pm$ 2.67
Maximum width of position C (mm)	40.18 $\pm$ 3.79	46.47 $\pm$ 3.17
Length of fruit (mm)	99.50 $\pm$ 4.29	108.60 $\pm$ 4.55
Weight (g)	181.24 $\pm$ 22.30	251.52 $\pm$ 25.58
Thickness of fruit pulp part 1 (mm)	13.25 $\pm$ 1.98	18.99 $\pm$ 1.38
Thickness of fruit pulp part 2 (mm)	12.13 $\pm$ 1.54	17.75 $\pm$ 2.97
Thickness of fruit pulp part 3 (mm)	8.33 $\pm$ 3.11	11.73 $\pm$ 2.18
Thickness of fruit pulp part 4 (mm)	8.75 $\pm$ 1.61	11.97 $\pm$ 1.84
Seed length (mm)	87.98 $\pm$ 5.02	84.67 $\pm$ 8.42
Seed width (mm)	44.41 $\pm$ 2.81	43.82 $\pm$ 5.37
Seed thickness (mm)	26.21 $\pm$ 2.92	21.61 $\pm$ 2.36

จากข้อมูลลักษณะทางกายภาพใน Table 1 ของทั้งมะม่วงสดและมะม่วงดอง พบว่าตำแหน่งที่กว้างที่สุด (Maximum width of position) ของผลอยู่ในตำแหน่ง B มีความกว้างเฉลี่ยสูงสุด 68.96 $\pm$ 2.67 mm นำไปสู่การออกแบบช่วงความกว้างของส่วนหั่นชิ้นมะม่วงดองและระยะใบมีดหั่นเนื้อมะม่วง ในส่วนข้อมูลความยาวของผล (Length of fruit) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 108.60 $\pm$ 4.55 mm ถูกนำมาใช้ในการออกแบบระยะของสายพานลำเลียง และระยะทางในการติดตั้งส่วนหั่นชิ้นมะม่วงดองและส่วนปอกชิ้นมะม่วงดองที่เหมาะสม ในส่วนข้อมูลความ

หนาของชิ้นเนื้อ (Thickness of fruit pulp) พบว่าส่วนที่ 1 ให้ความหนาชิ้นเนื้อเฉลี่ยสูงสุด 18.99 ± 1.38 mm และส่วนที่ 3 ให้ความหนาชิ้นเนื้อเฉลี่ยต่ำสุด 8.33 ± 3.11 mm ซึ่งข้อมูลความหนาที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างสายพานชุดสายพานลำเลียงและสายพานชุดลูกกลิ้งตัวบนที่ใช้ดึงชิ้นมะม่วงเข้าสู่ใบมีดที่ขนาดความหนาของชิ้นมะม่วงที่แตกต่างกันโดยชิ้นเนื้อมะม่วงที่ปอกได้ต้องไม่เสียหาย

3.2 ผลการทดสอบแรงเฉือนเนื้อมะม่วงแก้ว ในลักษณะผลสดและผลดอง

ผลการทดสอบแรงเฉือนเนื้อมะม่วงแก้วผลสดและผลดองแบบตามยาวของผลมะม่วง ด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่างานสูงสุดของมะม่วงผลสดมีค่างานที่มากกว่าผลดอง โดยมีค่า 0.02 และ 0.01 J ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ และค่าความแข็งเฉลี่ยของผลสดมีค่ามากกว่าผลดองที่ 32.29 และ 18.77 kN m^{-1} ตามลำดับ (Table 2) นอกจากนี้การทดสอบมะม่วงดองแบบตามความยาวของผลมะม่วงมีค่าความแข็งที่น้อยเนื่องจากการนำมะม่วงมาดองนั้นทำให้ความแน่นเนื้อน้อยลง

Table 2 Slice force the pulp of fresh and pickled mango along lengthwise of mango fruit by using texture analyzer.

Texture Analyzer	Lengthwise of the fruit		t-test
	Fresh Mango	Pickled Mango	
Work to maximum load (J)	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00	ns
Stiffness (kN m^{-1})	32.29 ± 1.90	18.77 ± 1.22	*

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$, ns = not significant.

ผลการทดสอบแรงเฉือนของมะม่วงแก้วผลสดและผลดองแบบตามขวางของผล ด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่างานที่ได้ของมะม่วงผลสดมีค่างานที่เท่ากับผลดองที่ 0.02 J และค่าความแข็งเฉลี่ยของมะม่วงผลสดมีค่าความแข็งที่มากกว่าผลดองที่ 77.09 และ 18.35 kN m^{-1} ตามลำดับ ดัง Table 3 นอกจากนี้มะม่วงดองแบบตามขวางผล มีค่าความแข็งที่ลดลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของมะม่วงซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักดอง

Table 3 Slice force of fresh and pickled mango along crosswise of mango fruit by using texture analyzer.

Texture Analyzer	Crosswise of the fruit		t-test
	Fresh mango	Pickled Mango	
Work to maximum load (J)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	ns
Stiffness (kN m^{-1})	77.09 ± 85.29	18.35 ± 1.74	*

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$, ns = not significant.

ผลการทดสอบแรงเฉือนของมะม่วงแก้วสดแบบตามยาวผลและแบบตามขวางผล ด้วยเครื่อง Texture Analyzer เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบพบว่าค่างานที่ได้ของมะม่วงผลสดแบบตามยาวผล มีค่างานที่เท่ากับกับแบบตามขวางผลที่ 0.02 J แต่ค่าความแข็งเฉลี่ยของมะม่วงสดแบบตามขวางผลมีมากกว่าแบบตามยาวผลที่ 77.09 และ 32.29 kN m^{-1} ตามลำดับ ดัง Table 4 โดยพบว่ามะม่วงสดแบบตามขวางผลเนื้อมะม่วงเป็นการตัดผ่านเส้นใยทำให้ต้องใช้แรงในการเฉือนที่สูงกว่าแบบตามยาวผล เช่นเดียวกับการศึกษาในมะเขือเทศ (Lana et.al, 2007)

Table 4 Slice force comparison between lengthwise and crosswise of fresh mango fruit by texture analyzer.

Texture Analyzer	Fresh mango		t-test
	Lengthwise	Crosswise	
Work to maximum load (J)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	ns
Stiffness (kN m^{-1})	32.29 ± 32.29	77.09 ± 85.29	*

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$, ns = not significant.

ผลการทดสอบแรงเฉือนของมะม่วงแก้วดองแบบยาวตามผลและแบบตามขวางผล ด้วยเครื่อง Texture Analyzer เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบพบว่าค่างานที่ได้ของมะม่วงแบบตามยาวผลมีค่างานที่น้อยกว่ากับแบบตามขวางผลที่ 0.01 และ 0.02 J ตามลำดับ และค่าความแข็งเฉลี่ยของมะม่วงดองแบบตามขวางผลมีค่าความแข็งที่น้อยกว่าแบบตามยาวผลอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 18.77 และ 18.35 kN m^{-1} ตามลำดับ ดัง Table 5 เนื่องจากการดองอาจทำให้เนื้อและเส้นใยนิ่มลง จึงใช้แรงในการเฉือนที่น้อยกว่ามะม่วงสด

Table 5 Slice force comparison between lengthwise and crosswise of pickled mango fruit by texture analyzer.

Texture Analyzer	Pickled Mango		t-test
	Lengthwise	Crosswise	
Work to maximum load (J)	0.01±0.00	0.02±0.00	*
Stiffness (kN m ⁻¹)	18.77±1.22	18.35±1.74	ns

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$, ns = not significant.

จากข้อมูลการทดสอบค่าพลังงานในการเฉือน และค่าความแข็งแรงในการเฉือนเนื้อมะม่วงดอง Table 2-Table 5 ถูกนำไปใช้ในการเลือกต้นกำลังมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขับใบมีดในการหั่นชิ้นมะม่วงดองให้ขาดตลอดความยาวชิ้น

3.3 ผลการทดสอบความแน่นเนื้อของผลมะม่วงแก้วในลักษณะผลสดและผลดอง

ผลการทดสอบความแน่นเนื้อของมะม่วงแก้วสดโดยพิจารณาเปรียบเทียบแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) พบว่าค่าความเค้นเฉลี่ยของมะม่วงสดแบบปอกเปลือกน้อยกว่าแบบไม่ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า 0.18 และ 0.43 MPa ตามลำดับ และค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยของมะม่วงสดแบบปอกเปลือกน้อยกว่าแบบไม่ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่า 4.93 และ 9.94 N mm⁻¹ ตามลำดับ คล้ายคลึงกับการศึกษาของ (Costa, 2016) ที่ศึกษาความแน่นเนื้อของผลแอปเปิ้ลทั้ง 65 สายพันธุ์ ที่ปอกเปลือกแล้ว ค่าความแน่นเนื้อจะน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ปอกเปลือก ดัง Table 6 ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อปอกเปลือกมะม่วงสดแล้ว ค่าความแน่นเนื้อจะลดลง

Table 6 Fruit firmness test result of fresh mango by universal testing machine.

Universal Testing Machine	Fresh fruit		t-test
	Peeled	Not peeled	
Stress (MPa)	0.18±0.11	0.43±0.09	*
Firmness (N mm ⁻¹)	4.93±2.08	9.94±1.28	*

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$.

ผลการทดสอบความแน่นเนื้อของมะม่วงแก้วดองด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก พบว่าค่าความเค้นเฉลี่ยของมะม่วงดองแบบปอกเปลือกมากกว่าแบบไม่ปอกเปลือก อย่างไม่มีนัยสำคัญโดยมีค่า 0.03 และ 0.01 MPa ตามลำดับ และค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยของมะม่วงดองแบบปอกเปลือกมากกว่าแบบไม่ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่า 2.30 และ 1.26 N mm⁻¹ ตามลำดับ โดยพบว่ามะม่วงแก้วดองแบบไม่ปอกเปลือก เมื่อปอก

เปลือกแล้วค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงแก้วดองจะมากขึ้น ดัง Table 7 เนื่องจากการดองอาจทำให้เปลือกของมะม่วงนั้นเกิดความเสียหาย ทำให้ความแน่นเนื้อน้อยกว่าแบบปอกเปลือกแล้ว

Table 7 Fruit firmness test result of pickled mango by universal testing machine.

Universal Testing Machine	Pickled fruit		t-test
	Peeled	Not Peeled	
Stress (MPa)	0.03±0.01	0.01±0.01	ns
Firmness (N mm ⁻¹)	2.30±0.71	1.26±0.58	*

* Indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$, ns = not significant.

จากข้อมูลการทดสอบค่าความเค้นและความแน่นเนื้อของมะม่วงดองแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ดัง Table 7 ถูกนำไปใช้ในการกำหนดแรงกระหว่งสายพานลำเลียง สายพาน ลูกกลิ้งตัวบนและใบมีด ในส่วนการปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองที่เหมาะสม ชิ้นเนื้อหลังปอกไม่เสียหายเกินแรงจุดแตกของชิ้นมะม่วง (Rupture force) ณ ระยะแตกหัก (Rupture distance) ตามความเค้นและความแน่นเนื้อที่ทดสอบได้

3.4 ผลการทดสอบเครื่องหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงดอง

ผลการทดสอบอัตราการทำงานของส่วนหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงดอง การทดสอบที่ความเร็วรอบชุดใบมีดหั่น 3 ระดับ คือ 80 100 และ 120 rpm โดยใช้ตัวอย่างเป็นมะม่วงดองที่ปอกเปลือกแล้วและนำเมล็ดออกด้วยเครื่องหั่นเมล็ดเนกประสงค์ พบว่าทุกความเร็วรอบหั่นเนื้อมะม่วงดองได้เป็นชิ้นทั้งหมดดัง Figure 8 เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้ว พบว่าระดับความเร็วรอบของชุดใบมีดไม่มีผลต่ออัตราการหั่นชิ้นมะม่วงดองอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นความเร็วรอบชุดใบมีดหั่นที่ 80 rpm เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมเนื่องจากไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานและส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของเครื่องหั่นน้อยกว่า โดยมีอัตราการหั่นเนื้อโดยมีอัตราการหั่นเนื้อมะม่วงดองสูงสุด 105.61 kg h⁻¹ ดัง Table 8 ได้ชิ้นมะม่วงดองเหมาะสมเฉลี่ย 94.06% ได้ชิ้นมะม่วงดองไม่เหมาะสมเฉลี่ย 4.91% ดัง Figure 9

Table 8 The performance of work rate of mango slicer.

Blade speed (rpm)	Complete pieces (%)	Incomplete pieces (%)	Working rate (kg h ⁻¹)
80	94.06±1.68 ns	4.91±1.69 ns	105.61±10.62 ns
100	94.42±2.60 ns	3.57±1.38 ns	100.15±6.01 ns
120	94.10±1.82 ns	4.95±1.78 ns	98.08±10.67 ns

ns = not significant.



Figure 8 Picked Mango pieces cut by cutting machine.

3.5 ผลการทดสอบเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดอง

ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ของเปลือกที่ปอกได้ของส่วนหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงดองร่วมกับส่วนปอกเปลือก จากการทดสอบที่ความเร็วใบมีดหั่นชิ้นชิ้นเนื้อมะม่วงดองที่ 80 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และความเร็วรอบสายพานลำเลียงตัวล่างและความเร็วสายพานชุดลูกกลิ้งตัวบนที่มีความเร็วเชิงเส้น 3 ระดับ ที่ 0.04 0.05 และ 0.06 m s⁻¹ และมุมใบมีดในการปอกที่มุม 2° และ 4° พบว่า มุมใบมีด ในการปอกที่ 2° เมื่อใช้งานร่วมกับสายพานตัวล่างสำหรับลำเลียงชิ้นมะม่วงดองและสายพานชุดลูกกลิ้งตัวบนที่ระดับ 0.06 m s⁻¹ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปอกมะม่วงดองให้เปอร์เซ็นต์ของเปลือกที่ปอกได้สูงอย่างมีนัยสำคัญที่ 83.90% และอัตราการทำงาน 48.70 kg h⁻¹ ดัง Table 9 และมีลักษณะ ชิ้นมะม่วงดองที่หั่นและปอกแล้ว ดัง Figure 9

Table 9 Performance of cutting and peeling machine on pickled mango.

	Blade angle	Linear speed of belt (m s ⁻¹)		
		0.04	0.05	0.06
Average peeling percent age (%)	2°	77.80 ±3.15 ^{ab}	83.93 ±8.36 ^{ab}	83.90 ±4.70 ^{ab}
Working rate (kg h ⁻¹)	4°	69.30 ±3.31 ^{aA}	68.02 ±4.20 ^{aA}	68.60 ±4.88 ^{aA}
average	2°	47.04 ±7.47 ^{aA}	42.80 ±10.89 ^{aA}	48.70 ±12.32 ^{aA}
	4°	47.38 ±5.37 ^{aA}	47.47 ±11.62 ^{aA}	53.37 ±5.85 ^{aA}

Difference capital letter superscripts in the same column and lowercase superscripts in the same row indicate that the values are significantly difference (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

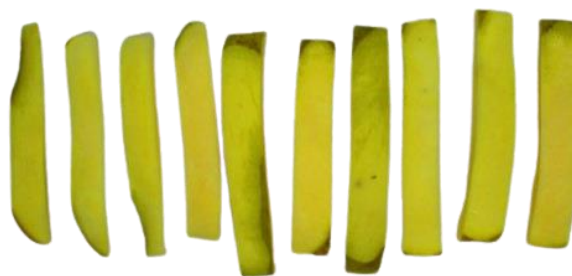


Figure 9 Pieces of peel and pulp of pickled mango using a cutting and peeling machine.

3.6 ผลการการเปรียบเทียบอัตราการทำงานระหว่างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองกับแรงงานคน

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบอัตราการทำงาน ดัง Table 10 โดยพิจารณา 2 ส่วน คือ ส่วนการหั่นและส่วน ของการปอกเปลือก โดยการเปรียบเทียบอัตราการทำงานระหว่าง เครื่องแรงงานที่มีความชำนาญและแรงงานทั่วไป โดยพบว่าการพิจารณาส่วนการหั่น เครื่องหั่นชิ้นมะม่วงดองสามารถหั่นชิ้นมะม่วงดองได้ 105.61 kg h⁻¹ ซึ่งมีอัตราการหั่นเป็นชิ้นได้สูงสุด และส่วนของการปอกเปลือก แรงงานคนที่มีความชำนาญสามารถปอกมะม่วงดองได้ 77.58 kg h⁻¹ แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของการอัตราการทำงานของเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองพบว่าอัตราการปอกที่ 48.70 kg h⁻¹ ทั้งนี้อัตราการทำงานของเครื่อง ไม่รวมระยะเวลาของการนำเมล็ดออกและน้ำหนักของเมล็ด ซึ่งการพิจารณาอัตราการทำงานของเครื่องและแรงงานประเภทต่าง แล้วในกระบวนการของการหั่นเป็นชิ้นเครื่องสามารถให้อัตราการทำงานที่สูงกว่าแต่พบว่าชิ้นเนื้อที่มีขนาดไม่เหมาะสม

Table 10 Work rates comparison between pickled mango cutting and peeling machine and manual labor.

Work rate for cutting and peeling pickled mango	(kg h ⁻¹)
Cutting machine	105.61
Cutting and peeling machine	48.70
Skilled workers in cutting	75.32
Skilled workers in peeling	77.58
General labor in cutting	44.79
General labor in peeling	13.91

4 สรุป

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของมะม่วงแก้ว โดยการเปรียบเทียบมะม่วงผลสดและผลดองด้วยการวัดขนาดผล แรงแผ่นเนื้อมะม่วงในลักษณะตามยาวผลและขวางผลของมะม่วง และความแน่นเนื้อในลักษณะปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก นำมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องหั่นและปอกเปลือกชิ้นมะม่วงดองที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการปอกเปลือกและหั่นชิ้นมะม่วงดองได้ โดยมีการใช้งาน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ใช้งานสำหรับการหั่นชิ้นเนื้อมะม่วงมีอัตราการทำงาน 105.61 kg h⁻¹ ได้ขนาดชิ้นมะม่วงดองเหมาะสมเฉลี่ย 94.06% และรูปแบบที่ 2 ใช้งานการหั่นร่วมกับการปอกเปลือกชิ้นเนื้อมะม่วงดองมีอัตราการทำงาน 48.70 kg h⁻¹ และเปอร์เซ็นต์การปอกเปลือกได้ 83.90% โดยที่ชิ้นมะม่วงยังคงความสวยของชิ้นและคงสภาพเนื้อชิ้นไม่แตกหรือเสียหาย อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการพัฒนาในส่วนการปอกเปลือกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สัญญาเลขที่ ร-ม.22.60 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่กรุณาสับสนุนงบประมาณวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2565. ผลิตภัณฑ์มะม่วง. แหล่งที่มา: <https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook27/ebook/2011-005-0117/#p=4>. เข้าถึงเมื่อ 10 มิถุนายน 2566.

ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. 2554. เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร. กรุงเทพฯ: หจก. มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.

ภคินี อัครเวสพงษ์, พูนศักดิ์ ดิษฐ์กระจัน, ปัญจรัศม์ นันทพล, ศศิธร วสุนันต์, กัลยาณี ตันติธรรม, สุนันทา เวสสุริย์. 2532. ศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวมะม่วงแก้วเพื่อการดอง. กรมวิชาการเกษตร 7(1-3), 9-15.

ลำพอง แท้มครบุรี, รัชชัย รัตน์ชเลศ. 2548. การประเมินสายต้นมะม่วงแก้วเพื่อการแปรรูปเป็นมะม่วงอบแห้ง. วารสารเกษตร 21(3), 219-228.

วิรัตน์ หวังเชื่อนกลาง. 2556. เครื่องหั่นมันขึ้น. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556, 255-261. ประจวบคีรีขันธ์ : โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. 1-4 เมษายน 2556, หัวหิน, ประจวบคีรีขันธ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2565. มูลค่าการส่งออกมะม่วง. แหล่งที่มา: www.arida.or.th/datas/file/1473755018.pdf. เข้าถึงเมื่อ 10 มิถุนายน 2565.

อิสราวุฒิ บุญแก้ว, สุดสายสิน แก้วเรือง, ศุภกิตต์ สายสุนทร, รติยา ฐวาทนิขยานันท์. 2562. การพัฒนาออกแบบเครื่องปอกมะม่วงดองเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปมะม่วงดอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 50(3), 268-283.

อุษาพร ภูคัสมาส. 2557. มะม่วง ผลไม้รสชาติดีมีประโยชน์. วารสารอาหาร 44(3), 51-53.

Costa, F. 2016. Mechanical investigation to assess the peel contribution in apple fruit. Postharvest Biology and Technology 111, 41-47.

Lana, M. M., Tijskens, L. M., De Theije, A., Dekker, M., Barrett, D. M. 2007. Measurement of firmness of fresh-cut sliced tomato using puncture tests—studies on sample size, probe size and direction of puncture. Journal of Texture Studies 38(5), 601-618.

Mahmoud, W. A. E. M., Mahmoud, R. K., and Eissa, A. S. 2022. Determining of some physical and mechanical properties for designing tomato fruits cutting machine. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 24(4), 131-142.

Sirisomboon, P., Pornchaloempon, P. 2011. Instrumental textural properties of mango (cv Nam Doc mai) at commercial harvesting time. International Journal of Food Properties 14, 441-449.