วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ปีที่ 25 ฉบับที่ 2 (2562) 28-35
Available online at www.tci-thaijo.org/index.php/TSAEJ

บทความวิจัย

ISSN 1685-408X

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยเครื่องปอกแบบใบมีดชัก

Testing of Optimal Condition for a Young Coconut Peeling Machine with Oscillating Knives

ชัยยะ จันทรา[1], ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์[1]*

Chaiya Jantra[1], Siwalak Pathaveerat[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-86-147-2656, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengslp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนสำหรับวัดแรงในการปอกถูกออกแบบให้ใบมีดที่ใช้สำหรับปอกลำตัวและไหล่ผลเป็นระบบใบมีดชักที่มีความยาวช่วงชัก 4 cm และติดตั้งโหลดเซลล์เชื่อมต่อกับใบมีด เพื่อวัดแรงที่กระทำกับใบมีดขณะทำการปอกในทิศทางการป้อนใบมีดและทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด ในการทดสอบปอกมะพร้าว ใบมีดถูกตั้งมุมการปอกที่ 20 องศา และปอกให้เปลือกที่ความหนา 3 mm สำหรับการปอกลำตัวและไหล่ผลของมะพร้าวที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 และ 60 rpm ความเร็วรอบการชักใบมีด 0 110 และ 220 rpm เพื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำกับใบมีดขณะทำการปอกและปริมาณการเกิดเส้นใยที่ผิวของมะพร้าว ผลการทดสอบพบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดส่วนใหญ่เกิดในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีดทั้งการปอกลำตัวและไหล่ผลและเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงพบว่าการปอกมะพร้าวโดยให้ใบมีดเกิดการชักที่ความเร็วรอบ 110 หรือ 220 rpm ขณะทำการปอกสามารถช่วยลดแรงในการปอกได้อย่างมีนัยสำคัญและช่วยลดปริมาณการเกิดเส้นใยที่ผิวของมะพร้าว การปอกที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm ร่วมกับความเร็วของใบมีดชัก 220 rpm มีความเหมาะสมในการปอก โดยสามารถลดแรงกระทำกับใบมีดลง 28.29 และ 40.16% และมีปริมาณเส้นใย 1.78 และ 0.00% สำหรับการปอกลำตัวและไหล่ผล ตามลำดับ

คำสำคัญ: มะพร้าวอ่อน, ใบมีดชัก, การปอก

Abstract

A young coconut peeling machine for force measurement of peeling was designed to use an oscillating knife with 4 cm of stroke for peeling body and shoulder of a coconut. The oscillating knife was attached to load cell to measure action force to the knife during peeling in feeding and normal to feeding directions. In experiments, the knives were set a cutting angle at 20 degree and thickness of peeling at 3 mm for peeling body and shoulder of the coconuts at 30 and 60 rpm of coconut rotational speed and oscillating speed of the knife at 0, 110 and 220 rpm to compare the action force to the knife and fibrous area after peeling. The results showed that most action force to the knife was in the normal to feeding direction for body and shoulder peeling and the action force to the knife was significantly reduced when the knife was oscillated at 110 or 220 rpm during peeling. The fibrous area was decreased when the action force to the knife was reduced. The optimal peeling condition, the coconut rotational speed at 60 rpm with the oscillating knife speed at 220 rpm, showed 28.29 and 40.16% in the action force to knife reduction and 1.78 and 0.00% in the fibrous area for body and shoulder peeling, respectively.

Keywords: Young coconut, Oscillating knife, Peeling

1 บทนำ

การปอกเปลือกหรือการตัดแต่งผลผลิตทางการเกษตรเพื่อการจำหน่ายภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศนั้น โดยทั่วไปนิยมทำให้ลักษณะภายนอกหรือของสิ่งที่ถูกปอกมีความเรียบและสวยงาม ยกตัวอย่างเช่น การแปรรูปมะพร้าวอ่อนให้กลายเป็นมะพร้าวควั่น ซึ่งทำได้โดยการปอกเปลือกของมะพร้าวที่มีสีเขียวออกจนหมดแต่ไม่ถึงผิวกะลาและยังคงเหลือเปลือกชั้นกลางสีขาว

Received April 5, 2019
Revised April 23, 2019
Accepted April 23, 2019
Available online: May 18, 2019

ที่อยู่ระหว่างเปลือกนอกและกะลา ให้ตัวผลมะพร้าวมีลักษณะคล้ายห้าเหลี่ยมที่มียอดแหลมฐานเรียบ เมื่อมองจากด้านข้าง ผิวนอกของผลมะพร้าวต้องมีความเรียบเนียน ไม่มีเส้นใย ซึ่งในการใช้แรงงานคนในการปอกพบว่าที่ผิวของผลมะพร้าวมีความเรียบไม่มีเส้นใย แต่ผลมะพร้าวที่ได้หลังการปอกอาจมีขนาดหรือรูปทรงที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในแต่ละผลและสิ่งสำคัญคือความอันตรายในการปอก เนื่องจากต้องใช้มีดที่คมมากในการปอกเพื่อที่จะได้ผิวของผลมะพร้าวที่เรียบอีกทั้งผู้ปอกยังคงต้องปอกแข่งกับเวลาจึงอาจเกิดอันตรายได้ง่าย

นักวิจัยหลายท่านได้พยายามสร้างเครื่องปอกมะพร้าว เพื่อทดแทนแรงงานคนในการปอก ในช่วงแรกสำหรับการปอกมะพร้าวด้วยเครื่อง พบว่าผลมะพร้าวที่ได้มีลักษณะของผิวหลังการปอกไม่สวยงาม มีขุยหรือเส้นใยมาก (Sukkee and Promchareon, 1993; Meemak et al., 2000) ต่อมา Jarimopas and Ruttanadat (2006) และ Jarimopas et al. (2009) ได้พัฒนาเครื่องปอกมะพร้าวจนสามารถปอกผลมะพร้าวให้มีผิวที่เรียบตามความต้องการของตลาดส่งออกได้ แต่ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนมะพร้าวขณะปอกค่อนข้างสูง (300 rpm) อาจส่งผลให้มะพร้าวกระเด็นออกอย่างรุนแรงในกรณีหลุดออกจากชุดจับ และต้องทำการเปลี่ยนใบมีดหลังการปอกทุก ๆ 50 ผล เนื่องจากปอกต่อไปจะทำให้เกิดเสี้ยนมากบริเวณผิวของผล

ในการเกิดเส้นใยหลังการปอกนั้นอาจเกิดจากมุมของการปอก ความคมของใบมีด และความเร็วของใบมีดที่เข้าปอก สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงความเครียดของผิวที่ถูกปอก เมื่อการปอกที่สามารถทำให้เกิดความเครียดแก่วัสดุหรือแรงในการปอกมีค่าน้อย จะส่งผลให้เกิดความแม่นยำในการปอกและคุณภาพผิวดีมากขึ้น สำหรับมุมของการปอกที่ให้ผิวหลังการปอกเรียบนั้นไม่ควรเกิน 20 องศา ในการปอกวัสดุที่มีเส้นใยจำพวกไม้ (Csanady and Magoss, 2013) ในส่วนของความเร็วมีดที่เข้าปอก King (1999) ได้ทำการทดสอบหั่นเนื้อม้าแช่แข็งเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยใช้มีดแบบชักไป-กลับในทิศทางตั้งฉากกับการหั่นและแบบไม่ชัก ในการหั่นเปรียบเทียบแรงในการหั่นพบว่า การชักไป-กลับของใบมีดขณะทำการหั่นสามารถช่วยลดแรงในการปอกได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการปอกระหว่างใบมีดแบบชักและไม่ชัก และประเมินปริมาณเส้นใยของผิวมะพร้าวหลังการปอก สำหรับการปอกเปลือกมะพร้าวโดยใช้ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวที่ต่ำเพื่อลดความอันตรายจากการปอก และใช้เป็นข้อมูลในการสร้างเครื่องปอกมะพร้าว

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

มะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมจำนวน 60 ผล ที่ได้รับมาจากสวนมะพร้าวในอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ถูกนำมาทำความสะอาดที่บริเวณผิวนอกและตัดหางหนูออกจากบริเวณขั้วมะพร้าวเพื่อให้สามารถวางลงบนตัวจับผลมะพร้าวได้ จากนั้นทำการวัดขนาดความกว้างเฉลี่ยทั้งสามด้านและความสูงของผลมะพร้าวก่อนทำการปอก และหลังจากขั้นตอนการปอกเปลือกมะพร้าวเสร็จสิ้น ผลมะพร้าวถูกนำมาวัดขนาดความสูงของผล ความสูงไหล่ผล เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล และเส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล (Jarimopas et al., 2009)

2.2 ลักษณะการปอกมะพร้าวและการติดตั้งเซนเซอร์วัดแรง

เครื่องปอกแปลือกมะพร้าวที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น (Figure 1) ถูกนำมาใช้ในการปอกเปลือกมะพร้าว ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นในส่วนของกลไกการยึดจับผลมะพร้าวขณะปอก พบว่าตัวเครื่องมีกลไกที่สามารถจับยึดผลมะพร้าวได้ดี ผลมะพร้าวไม่หลุดออกจากตัวยึดจับขณะทำการปอก โดยตัวเครื่องแบ่งการปอก ออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การปอกลำตัวและการปอกไหล่ผล ตามลำดับ การปอกลำตัว เป็นการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดในแนวนอนเพื่อเข้าปอกเปลือกมะพร้าว โดยใบมีดทำมุมเอียงกับแนวนอน 85 องศา (Figure 2a) การปอกไหล่ผล เป็นการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดลงในแนวตั้งเพื่อเข้าปอกเปลือกมะพร้าว โดยใบมีดทำมุมเอียงกับแนวนอน 145 องศา (Figure 2b) ชุดใบมีดแต่ละชุด ประกอบด้วยโหลดเซลล์สำหรับวัดแรงไม่เกิน 50 kg จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของชุดใบมีด โดยแบ่งการวัดแรงเป็น 2 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางการการป้อนใบมีดและทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด แต่ละทิศทางใช้โหลดเซลล์จำนวน 2 ตัว ซึ่งโหลดเซลล์เหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวรับแรงกระทำจากใบมีดที่ติดตั้งอยู่บนชุดใบมีด (Figure 3) โหลดเซลล์ทุกตัวที่ติดตั้งบนชุดใบมีดผ่านการสอบเทียบค่าแรงจริงกับค่าความเครียดจากโหลดเซลล์ก่อนทำการทดสอบ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) รุ่น 5569 ยี่ห้อ Instron ร่วมกับเครื่อง Data logger รุ่น EDX100 ยี่ห้อ KYOWA พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่สูง โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.997 ถึง 1.000 สำหรับโหลดเซลล์ทั้ง 8 ตัว สำหรับใบมีดที่นำมาใช้ในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนทำมาจากสแตนเลสเกรด 304 ชุบแข็ง หนา 3 mm มุมคมของมีด 15 องศา และในการทดสอบใบมีดถูกตั้งให้มุมของการปอกเปลือกมะพร้าว (cutting angle) ที่ใช้ในการปอกลำตัวและไหล่ผลคือ 20 องศา

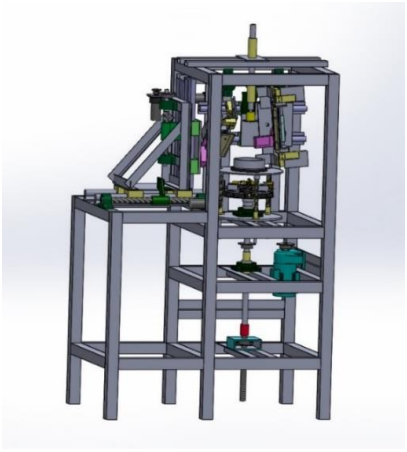

Figure 1 A young coconut peeling machine with oscillating knives.

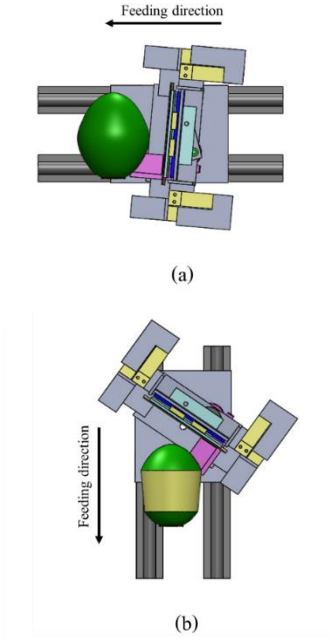

Figure 2 Directions of knife feeding for young coconut body (a) and shoulder (b) peeling.

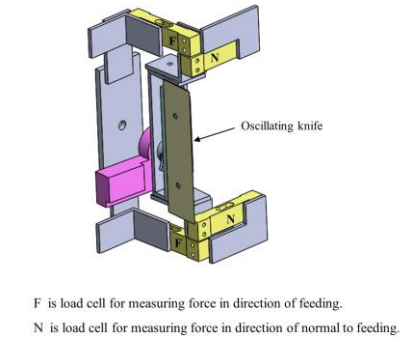

Figure 3 Characteristic of an oscillating knife attached to four load cells for force measurement.

2.3 การวัดแรงที่ใช้ในการปอกมะพร้าว

มะพร้าวอ่อนถูกนำมาปอกเปลือก โดยมีความเร็วรอบในการหมุนผลมะพร้าว 2 ระดับ คือ 30 และ 60 rpm ความเร็วในการชักของใบมีด 3 ระดับ คือ 0 110 และ 220 rpm ใบมีดมีความยาวช่วงชักอยู่ที่ 4 cm และความหนาของเปลือกที่ถูกปอก คือ 3 mm สำหรับการปอกทั้งลำตัวและไหล่ผลของมะพร้าว และในขณะที่ทำการปอกมะพร้าวที่บริเวณลำตัวและไหล่ผล แรงที่ใช้ในการปอกมะพร้าวในแต่ละเงื่อนไขของการปอกถูกทำการวัดค่าโดยการหาแรงที่ตัวผลมะพร้าวกระทำกับใบมีดในทิศทางการป้อนและทิศทางตั้งฉากกับการป้อน แรงที่กระทำกับใบมีดผ่านมายังโหลดเซลล์ระหว่างทำการปอกถูกเก็บค่าด้วยเครื่อง Data logger รุ่น EDX100 ยี่ห้อ KYOWA ที่ความความถี่ของการเก็บข้อมูล (sampling rate) 100 Hz

เปลือกมะพร้าวที่ถูกปอกแต่ละลูกถูกนำมาหาความกว้างเฉลี่ยของเปลือกที่ถูกปอกเพื่อหาแรงที่ใช้ในการปอกต่อหน้ากว้างการปอก เนื่องจากเปลือกมะพร้าวที่ถูกปอกแต่ละผลมีขนาดความกว้างไม่เท่ากัน โดยทำการเลือกเปลือกที่ถูกปอกก่อนถึงรอบสุดท้ายของการปอกที่ความยาวหนึ่งรอบการหมุนของมะพร้าว และวัดความยาวของเปลือก จากนั้นนำเปลือกไปถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล รุ่น PowerShot A2300 ยี่ห้อ Canon และวิเคราะห์หาพื้นที่ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณค่าความกว้างเฉลี่ยและนำไปหารกับค่าแรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์เพื่อใช้เป็นค่าแรงเฉลี่ยในการปอกมะพร้าวในแต่ละผล ค่าแรงที่ได้จากการปอกในแต่ละทรีทเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS (Version 9.0) โดยใช้วิธี analysis of variance (ANOVA) และวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ในการวิเคราะห์

2.4 การประเมินคุณภาพของผลมะพร้าวหลังการปอก

ผลมะพร้าวหลังผ่านการปอกเปลือกแต่ละผลถูกนำมาประเมินคุณภาพหลังการปอก เพื่อหาเงื่อนไขของความเร็วรอบในการหมุนของมะพร้าวและความเร็วรอบของใบมีดแบบชักที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปอก โดยถูกประเมินในส่วนของความเรียบของผิวมะพร้าวหลังจากถูกปอก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นที่การปอกลำตัวและการปอกไหล่ผล ซึ่งในส่วนที่ไม่เรียบจะเป็นในส่วนของพื้นที่ของการเกิดเส้นใย (fibrous area) หรือเกิดเสี้ยนจากการปอก สำหรับการหาเปอร์เซ็นพื้นที่การเกิดเส้นใยสามารถคำนวณตามสมการที่ 1 (Rattanadat, 2010) พื้นที่เส้นใยบนผิวมะพร้าวหลังการปอกเปลือก (remaining fibrous area) ถูกแรเงาบนแผ่นใสแล้วถ่ายภาพพื้นที่แรเงาด้วยกล้องดิจิตอล รุ่น PowerShot A2300 ยี่ห้อ Canon และใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์หาพื้นที่แรเงาหรือพื้นที่เกิดเส้นใยบนผิวมะพร้าว สำหรับพื้นที่ผิวทั้งหมดของมะพร้าวหลังการปอก (total surface area) ที่บริเวณลำตัวและไหล่ผลสามารถคำนวณจากสมการหาพื้นที่ผิวทรงกรวยทางคณิตศาสตร์

$$Fibrous\ area\ (\%) = \frac{remaining\ \ fibrous\ area}{total\ surface\ area}\ X\ 100 \quad (1)$$

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าว

มะพร้าวก่อนทำการปอกมีความสูงเฉลี่ยที่ 17.8 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.55 cm และมีความกว้างเฉลี่ยที่ 15.0 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.33 cm สำหรับมะพร้าวหลังทำการปอกมีความสูงเฉลี่ยที่ 13.3 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.44 cm ความสูงไหล่ผลเฉลี่ยที่ 8.9 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.45 cm เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผลเฉลี่ยที่ 12.6 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.19 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางฐานผลเฉลี่ยที่ 11.0 cm ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.14 cm (Table 1)

3.2 การวัดแรงที่ใช้ในการปอกมะพร้าว

การวัดแรงที่ใช้ในการปอกมะพร้าวที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 2 ระดับคือ 30 และ 60 rpm และความเร็วรอบการชักของใบมีด 3 ระดับคือ 0 110 และ 220 rpm ซึ่งตัวใบมีดมีระยะชักยาว 4 cm และปอกให้มีความหนาของเปลือก 3 mm ถูกทำการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงที่ใช้ในการปอกลำตัว และแรงที่ใช้ในการปอกไหล่ผล

3.2.1 แรงที่ใช้ในการปอกลำตัว

จากผลของการปอกพบว่าแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางการป้อนใบมีดที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.171 0.066 และ 0.067 kg cm^{-1} ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.139 0.096 และ 0.077 kg cm^{-1} ตามลำดับ สำหรับแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางตั้งฉากการป้อนใบมีดที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 1.183 0.847 และ 0.668 kg cm^{-1} ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 1.071 0.903 และ 0.768 kg cm^{-1} ตามลำดับ (Table 2)

ผลของค่าแรงบ่งชี้ว่าแรงที่กระทำกับใบมีดส่วนมากเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด เกิดขึ้นในทิศทางการป้อนใบมีดค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีดทางสถิติที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 220 rpm มีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm และค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm มีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 0 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 220 rpm มีค่าแรงที่กระทำกับใบมีดน้อยกว่าใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm และค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm มีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 0 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาที่ใบมีดเกิดการชักที่ความเร็วรอบเท่ากัน นั่นคือ 110 และ 220 rpm และความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวต่างกันคือ 30 และ 60 rpm พบว่าที่ความเร็วรอบใบมีดชัก 110 rpm ไม่มีความแตกต่างของค่าแรงที่กระทำกับใบมีด แต่ที่ความเร็วรอบใบมีดชัก 220 rpm ค่าแรงที่กระทำกับใบมีดของการปอกที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm มีค่าน้อยกว่าการหมุนของมะพร้าวที่ความเร็วรอบ 60 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

Table 1 Physical properties of young coconut before and after peeling.

Coconut	Dimension	Min	Mean	Max	SD
Before peeling	Height (cm)	16.2	17.8	19	0.55
	Width (cm)	14.4	15.0	15.7	0.33
After peeling	Height (cm)	12.2	13.3	14.4	0.44
	Shoulder height (cm)	7.7	8.9	10.1	0.45
	Shoulder diameter (cm)	12.2	12.6	12.9	0.19
	Base diameter (cm)	10.8	11.0	11.5	0.14

Table 2 Results force measurement on knife in feeding and normal to feeding directions for body peeling.

Coconut speed (rpm)	Oscillating knife speed (rpm)	Feeding direction force (kg/cm)				Normal to feeding direction force (kg/cm)			
		Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
30	0	0.117	0.254	0.171c	0.053	1.056	1.353	1.183e	0.117
	110	0.027	0.118	0.066a	0.034	0.815	0.925	0.847c	0.036
	220	0.026	0.100	0.067a	0.022	0.597	0.741	0.668a	0.046
60	0	0.070	0.176	0.139b	0.036	0.983	1.222	1.071d	0.087
	110	0.060	0.139	0.096a	0.023	0.807	1.000	0.903c	0.060
	220	0.046	0.150	0.077a	0.018	0.675	0.809	0.768b	0.047

Note: 1. Each condition was used 10 samples

2. Values with different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by a DMRT

3.2.2 แรงที่ใช้ในการปอกลำตัว

จากผลของการปอกพบว่าแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางการป้อนใบมีดที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.113 0.053 และ 0.036 kg cm^{-1} ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm การปอกด้วยความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.101 0.064 และ 0.043 kg cm^{-1} ตามลำดับ และแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางตั้งฉากการป้อนใบมีดที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm การปอกด้วยความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.900 0.531 และ 0.437 kg cm^{-1} ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm การปอกด้วยความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 0 110 และ 220 rpm มีค่าแรงที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย 0.767 0.574 และ 0.459 kg cm^{-1} ตามลำดับ (Table 3)

ผลของค่าแรงคล้ายกับการปอกลำตัว นั่นคือมีแรงที่กระทำกับใบมีดส่วนมากในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีดทางสถิติที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 และ 220 rpm มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าแรงน้อยกว่าใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 0 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 220 rpm มีค่าแรงที่กระทำกับใบมีดน้อยกว่าใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm และค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 110 rpm มีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดชักที่ความเร็วรอบ 0 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาที่ใบมีดเกิดการชักที่ความเร็วรอบเท่ากัน นั่นคือ 110 และ 220 rpm และความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวต่างกันคือ 30 และ 60 rpm พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 3)

Table 3 Results force measurement on knife in feeding and normal to feeding directions for shoulder peeling.

Coconut speed (rpm)	Oscillating knife speed (rpm)	Feeding direction force (kg/cm)				Normal to feeding direction force (kg/cm)			
		Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
30	0	0.070	0.144	0.113c	0.022	0.840	0.998	0.900c	0.043
	110	0.034	0.079	0.053ab	0.015	0.488	0.597	0.531ab	0.035
	220	0.006	0.080	0.036a	0.025	0.379	0.516	0.437a	0.041
60	0	0.086	0.140	0.101c	0.018	0.676	0.840	0.767c	0.052
	110	0.049	0.091	0.064b	0.012	0.517	0.618	0.574b	0.035
	220	0.026	0.053	0.043a	0.010	0.403	0.511	0.459a	0.034

Note: 1. Each condition was used 10 samples

2. Values with different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by a DMRT

3.2.3 อิทธิพลของความเร็วการชักใบมีดต่อค่าแรงกระทำบนใบมีด

จากผลการวัดแรงที่กระทำกับใบมีดขณะปอกมะพร้าวในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด (Table 2 และ 3) พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดมีแนวโน้มลดลงตามความเร็วรอบการชักของใบมีดที่เพิ่มขึ้นทั้งการปอกลำตัวและการปอกไหล่ผลของมะพร้าว สิ่งนี้บ่งชี้ว่าเกิดการเฉือนเปลือกมะพร้าวในขณะทำการปอกจึงทำให้แรงต้านในทิศทางการปอกเปลือกมะพร้าวลดลง และในส่วนของข้อมูลของค่าแรงในทิศทางการป้อนใบมีดหรือแรงที่ผลักใบมีดออกตามทิศทางแนวการป้อน จะเห็นว่าเมื่อมีการชักของใบมีดขณะทำการปอก แรงที่ผลักใบมีดออกตามทิศทางการป้อนใบมีดจะมีค่าน้อยลง สิ่งนี้สามารถทำให้การปอกเปลือกมะพร้าวมีความแม่นยำมากกว่าค่าแรงผลักใบมีดที่มาก เนื่องจากใบมีดเมื่อได้รับแรงดันอาจทำให้ปลายหรือคมของใบมีดเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่ต้องการส่งผลให้การปอกและผลมะพร้าวที่ถูกปอกเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายและอาจส่งผลให้ใบมีดรับแรงหรือภาระมากกว่าเดิมเพราะมุมการปอกที่เปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าสัญญาณของแรงในหน่วยค่าความเครียด (stain) ที่กระทำกับใบมีดขณะทำการปอกในระยะ 1 รอบของการหมุนของมะพร้าว ที่ความเร็วรอบการหมุน 60 rpm ที่อัตราการเก็บข้อมูล 100 เฮิร์ต พบว่า เมื่อใบมีดมีความเร็วในการชัก 220 rpm (Figure 4c) มีจำนวนการลดลงของแรงที่เกิดจากการเฉือนของใบมีดที่มากกว่าใบมีดที่มีความเร็วในการชัก 110 rpm (Figure 4b) และใบมีดที่มีความเร็วในการชัก 0 rpm (Figure 4a) ที่ไม่มีการลดลงของแรงที่กระทำกับใบมีดเนื่องจากไม่เกิดการเฉือนของใบมีด จึงทำให้ค่าแรงเฉลี่ยของการปอกมะพร้าวออกมาน้อยที่สุดสำหรับใบมีดชักที่ความเร็วรอบที่ 220 rpm

เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวที่ต่ำกว่าซึ่งก็คอ 30 rpm ที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 220 rpm (Figure 5) พบว่ามีจำนวนการลดลงของแรงที่กระทำกับใบมีดที่มากกว่าการปอกที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm เนื่องจากมีการเคลื่อนที่หมุนของมะพร้าวที่ช้ากว่าจึงทำให้ใบมีดมีจำนวนการเคลื่อนที่ชักได้มากกว่าในการหมุนของมะพร้าว 1 รอบ จึงส่งผลให้มีค่าแรงเฉลี่ยในการปอกที่กระทำกับใบมีดน้อยกว่า อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแรงเฉลี่ยที่กระทำกับใบมีดจะลดลงเมื่อความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวมีค่าน้อย แต่จะทำให้เวลาที่ใช้ในการปอกมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างเช่นในกรณีนี้การเปลี่ยนจากความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าวจาก 60 เป็น 30 rpm ส่งผลให้เวลาในการปอกเพิ่มขึ้นถึงสองเท่า จาก 1 วินาทีต่อการหมุนของมะพร้าว 1 รอบ จะกลายเป็น 2 วินาทีต่อการหมุนของมะพร้าว 1 รอบ

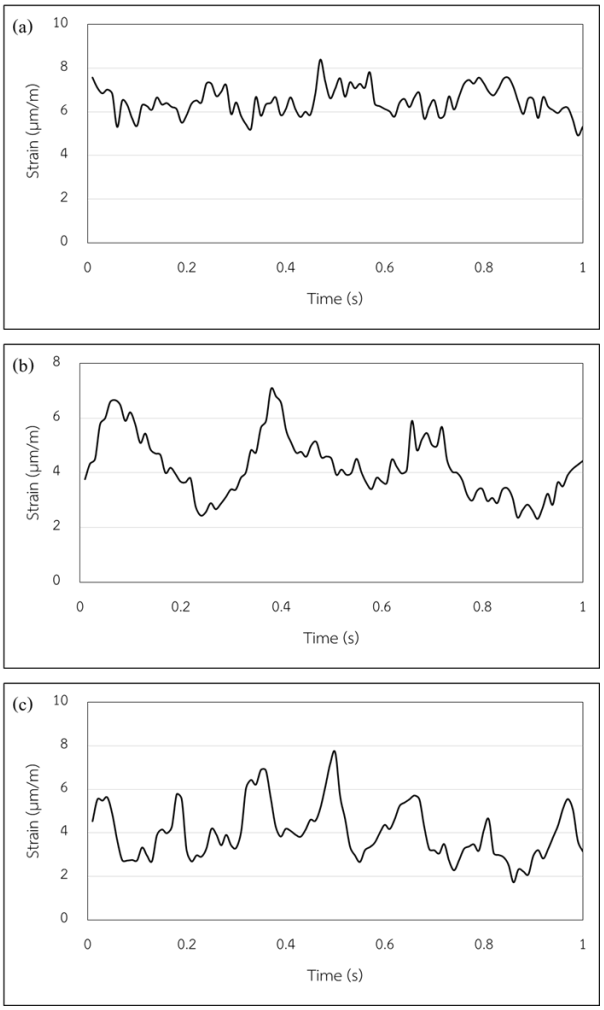

Figure 4 Force signals of young coconut peeling with rotational speed at 60 rpm and Oscillating speed of knife at 0 rpm (a), 110 rpm (b) and 220 rpm (c).

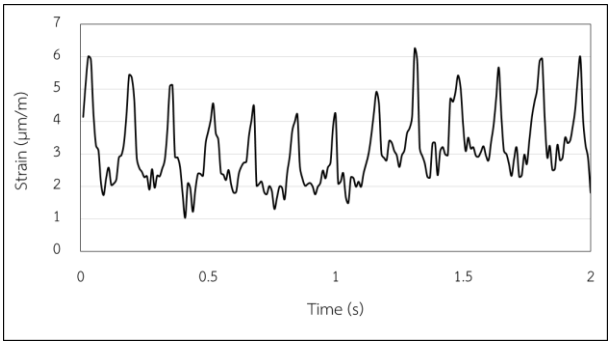

Figure 5 Force signals of young coconut peeling with rotational speed at 30 rpm and Oscillating speed of knife at 220 rpm.

3.3 การประเมินคุณภาพของผลมะพร้าวหลังการปอก

ผลจากการปอกลำตัวและไหล่ผลของมะพร้าวพบว่ามีค่าเฉลี่ยของพื้นที่เกิดเสี้ยนบนผิวมะพร้าวหลังการปอกลดลงเมื่อมีใบมีดมีความเร็วรอบของการชักที่เพิ่มขึ้น สำหรับการปอกลำตัวที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm มีปริมาณเสี้ยนที่

เกิดขึ้นเฉลี่ย 12.95 8.55 และ 1.57% ที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 0 110 และ 220 rpm ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm มีปริมาณเสี้ยนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 15.44 6.92 และ 1.78% ที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 0 110 และ 220 rpm ตามลำดับ (Table 4) สำหรับการปอกไหล่ผลที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 30 rpm มีปริมาณเสี้ยนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 4.12 0.00 และ 0.00% ที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 0 110 และ 220 rpm ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm มีปริมาณเสี้ยนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 0.61 0.00 และ 0.00% ที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 0 110 และ 220 rpm ตามลำดับ (Table 5)

เมื่อพิจารณาค่าแรงที่กระทำกับใบมีดในทิศทางตั้งฉากกับการป้อนใบมีด พบว่าค่าแรงที่กระทำกับใบมีดลดลงเมื่อใบมีดเกิดการชัก นั่นหมายถึงการขาดออกจากกันของเปลือกมะพร้าวถูกกระทำด้วยแรงกดหรือค่าความเครียดที่น้อยลงส่งผลให้เปลือกมะพร้าวที่ถูกปอกมีความเรียบและมีปริมาณการเกิดเสี้ยนที่น้อย จาก Table 4 และ 5 แสดงค่าปริมาณการเกิดเสี้ยนที่สอดคล้องกับค่าแรงที่กระทำกับใบมีดที่วัดได้ขณะทำการปอก (Table 2 และ 3) สำหรับการปอกลำตัวที่ความเร็วรอบการชักของใบมีดที่ 220 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบการชักของใบมีดที่มากที่สุดในการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีค่าแรงที่กระทำกับใบมีดน้อยที่สุดและมีผลของค่าปริมาณเสี้ยนที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวมะพร้าวที่ถูกปอกมีค่าน้อยที่สุด ทั้งการหมุนของมะพร้าวที่ความเร็วรอบ 30 และ 60 rpm สำหรับการปอกไหล่ผล พบว่าสามารถปอกได้เรียบจนไม่มีบริเวณที่เกิดเสี้ยนบนผิวมะพร้าว เมื่อทำการชักใบมีดขณะปอกที่ความเร็วรอบ 110 และ 220 rpm

จากผลการวัดปริมาณเสี้ยนที่เกิดขึ้นบนผิวมะพร้าวหลังการปอกลำตัวและการปอกไหล่ผล พบว่าการปอกไหล่ผลมีปริมาณการเกิดเสี้ยนที่น้อยกว่าการปอกลำตัว ซึ่งมีสาเหตุมาจากบริเวณไหล่ผลของมะพร้าวนั้นมีความแข็งกว่าบริเวณลำตัวของมะพร้าว จึงมีค่าความเครียดที่น้อยกว่าขณะถูกมีดปอกเปลือก ในส่วนบริเวณลำตัวของมะพร้าวเมื่อทำการปอกเข้าไปยังบริเวณที่ต้องการหรือใกล้กะลา เปลือกของมะพร้าวจะมีความนุ่มหรือนิ่มกว่าด้านนอก ส่งผลให้เมื่อใบมีดปอกเข้าไปจะเกิดขุยหรือเส้นใยได้มากกว่าบริเวณไหล่ผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใบมีดที่ไม่มีการชักขณะปอกจะไม่เกิดการเฉือนเปลือกแต่จะเป็นการใช้แรงกดจากใบมีดเข้าไปยังเปลือกมะพร้าวจนสามารถเอาชนะแรงที่ยึดกันของเปลือกหรือเปลือกขาดออกจากกัน สิ่งนี้ส่งผลให้เปลือกเกิดความเครียดมากในการที่จะทำให้เปลือกขาดออกจากกันและเมื่อทำการปอกเปลือกมะพร้าวในสภาวะที่มีค่าความเครียดมากจะส่งผลต่อคุณภาพของผิวมะพร้าวหลังการปอก ตัวอย่างเช่นการเกิดขุย หรือเส้นใย เป็นต้น (King, 1999) ดังนั้นการปอกมะพร้าวโดยใช้ใบมีดชักสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของผิวหลังการปอกได้ด้วยค่าแรงที่ใช้ในการปอกลดน้อยลง อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการชักของใบมีดก็อาจไม่ส่งผลกับคุณภาพผิวหลังการปอกหรือไม่มีความจำเป็น ดังเช่นการปอกปอกมะพร้าวที่ตำแหน่งไหล่ผล จะพบว่าที่ความเร็วรอบการชักของใบมีด 110 rpm ก็สามารถปอกไหล่ผลของมะพร้าวได้มีคุณภาพดีเท่ากับใบมีดชักที่มีความเร็วรอบ 220 rpm โดยแสดงค่าปริมาณการเกิดเสี้ยนอยู่ที่ 0%

Table 4 Percentages of fibrous area on peeled coconut surface for body peeling.

Coconut speed (rpm)	Oscillating knife speed (rpm)	Sample No.	Fibrous area (%)			
			Min	Max	Mean	SD
30	0	10	6.95	21.23	12.95	4.54
	110	10	2.49	22.25	8.55	7.27
	220	10	0	7.59	1.57	2.99
60	0	10	4.68	28.43	15.44	9.15
	110	10	0	16.09	6.92	5.72
	220	10	0	5.94	1.78	2.63

Table 5 Percentages of fibrous area on peeled coconut surface for shoulder peeling.

Coconut speed (rpm)	Oscillating knife speed (rpm)	Sample No.	Fibrous area (%)			
			Min	Max	Mean	SD
30	0	10	0	9.29	4.12	3.13
	110	10	0	0	0	0
	220	10	0	0	0	0
60	0	10	0	4.87	0.61	1.72
	110	10	0	0	0	0
	220	10	0	0	0	0

4 สรุป

ในการเปรียบเทียบแรงในการปอกลำตัวและไหล่ผลพบว่าการใช้ใบมีดชักในการปอกสามารถช่วยลดแรงที่เปลือกมะพร้าวกระทำกับใบมีดได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเร็วรอบการชักของใบมีดที่เพิ่มขึ้นสามารถส่งผลในการลดแรงที่กระทำกับใบมีดมากขึ้นและส่งผลกับคุณภาพของมะพร้าวหลังการปอกอีกด้วย ในการทดสอบปอกลำตัวพบว่าความเร็วรอบใบมีดชัก 220 rpm และความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm มีความเหมาะสมในการปอกมะพร้าว โดยมีปริมาณการเกิดเสี้ยน 1.78% ในส่วนของการปอกไหล่ผลพบว่าความเร็วรอบใบมีดชัก 110 หรือ 220 rpm และความเร็วรอบการหมุนของมะพร้าว 60 rpm มีความเหมาะสมในการปอกมะพร้าว โดยมีปริมาณการเกิดเสี้ยน 0%

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย สัญญาเลขที่ PHD/0151/2552 และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน

6 เอกสารอ้างอิง

Csanády, E., Magoss, E. 2013. Mechanics of Wood Machining. (2nd ed.). Berlin, Heidelberg: Springer.

Jarimopas, B., Rattanadat, N. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. Journal of Food Engineering 79, 752-757.

Jarimopas, B., Rattanadat, N., Terdwongworakul, A. 2009. An automatic trimming machine for young coconut fruit. Biosystems Engineering 103, 167-175.

King, M.J. 1999. Slicing frozen meat with an oscillating knife. Meat Science 51, 261-269.

Meemak, K., Nakhwang, T., Nanthawong, P. 2000. A young coconut trimming machine. Doctoral dissertation. Ladkrabang, Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (In Thai)

Rattanadat, N. 2010. Design and development of an automatic trimming machine for young coconut fruit. Doctoral dissertation. Bangkok: Kasetsart University. (In Thai)

Sukkee, R., Promchareon, B. 1993. A young coconut trimming machine. Agricultural engineering project. Kasetsart University Kamphaengsaen Campus. (In Thai)