การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

Design and Development of Young Coconut Peeling Machine

บัณฑิต จริโมภาส [1] อัครเดช เพชรสมัย [2]

Bundit Jarimopas [1] Acradech Pechrasmai [2]

ABSTRACT

The research was to design and develop a young coconut peeling machine. The study was consisted of design, fabrication, testing and evaluation. The machine comprised transmission component using B belt, coconut fruit holder, knife control set, knives, 1 hp. 220 v. 50 hz electric motor.

Testing was divided into 3 tests a) testing to determine physical properties of young coconut fruits. Results showed a graph relating penetrating force by a plunger F, with deformation of a young coconut fruit D. The graph was featured by two straight line between noloading point and rupture point. The slope of the second straight line was slightly less than the first one. There was not any yield point on the F-D graph. Penetrating force and moisture content M of young coconut fruit varied excellently as modulus of elasticity E over 5 different maturity stages (ie. One-layer flesh, one and a half layer flesh, two-layer flesh, overripe, black and hard husk). Equations of relationship were $F = 65.39E + 30.25$ N ($R^2 \cong 0.99$) and $M = -10.46E + 109.5\%$ ($R^2 \cong 0.97$). E ranged from 1.3 MPa of one- layer flesh to 2.4 MPa of black and hard husk. B) testing of the first prototype showed that optimal young coconut fruit rotation was 300 rpm. Optimal knife angle to peel shoulder was $\alpha_1 = 65^o$, $\beta_1 = 55^o$. Optimal knife angle to peel body was $\alpha_2 = 65^o$, $\beta_2 = 65^o$. Hardened mild steel was optimal knife blade. The first peeling machine prototype was improved to the second one of 70 kgs. weight with 0.75 kW. electric motor drive. C) testing of the second prototype revealed that the machine could peel of averagely 172 young coconut fruits per hour with 3% green skin remain and skin fiber $\leq$ 0.6% at 0.65 kw-hr electrical power consumtion. The peeled fruits were well accepted by merchants. Economic analysis indicated that when total cost was 0.13 baht/fruit. Pay back period was 1.7 month for 240 working days/year and 0.50 baht of wage per fruit

Keywords : peeling machine, young coconut

1 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม

1 Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom

2 นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม

2 Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน วิธีการศึกษาประกอบด้วยการออกแบบสร้าง ทดสอบ และประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ชุดส่งกำลังใช้สายพาน B ชุดจับยึดผลมะพร้าว ชุดเลื่อนใบมีด ชุดใบมีด ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต

การทดสอบประกอบด้วย 3 การทดสอบย่อย คือ ก) การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน ผลการทดสอบปรากฏว่า ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทะลุด้วยหัว Plunger F กับการเปลี่ยนรูปของผลมะพร้าวอ่อน D เป็นลักษณะเส้นตรง 2 ช่วง ระหว่างจุดไม่มีภาระกับจุดกดทะลุ ความลาดเอียงเส้นตรงช่วงที่สองน้อยกว่าช่วงแรก ไม่ปรากฏจุดชีวคลากบนกราฟ F-D มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดีมากระหว่างสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น E กับแรงกดทะลุผลมะพร้าวอ่อน และ E กับความชื้นของเปลือกผลมะพร้าวอ่อน M สำหรับระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อน 5 ระยะ คือ (เนื้อหนึ่งชั้น, เนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง, เนื้อสองชั้น, แก่, แข็งกะลาดำ) สมการความสัมพันธ์เป็น $F = 65.39E + 30.25$ N ($R^2 \cong 0.99$) $M = -10.46E+109.5\%$ ($R^2 \cong 0.97$) E มีค่าระหว่าง 1.3-2.4 MPa จากเนื้อหนึ่งชั้นไปสู่แข็งกะลาดำ ข) การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ 1 ผลปรากฏว่า การหมุนผลมะพร้าวอ่อนที่เหมาะสม คือ 300 รอบ/นาที มุมใบมีดปอกไหล่ที่เหมาะสม คือ $\alpha_1 = 65^o$, $\beta_1 = 55^o$. มุมใบมีดปอกลำตัวที่เหมาะสม คือ $\alpha_2 = 65^o$, $\beta_2 = 65^o$ ใบมีดปอกเปลือกที่เหมาะสม คือ ใบมีดเหล็กธรรมดาชุบแข็ง ได้ปรับปรุงเครื่องต้นแบบที่ 1 เป็นเครื่องต้นแบบที่ 2 โดยลดน้ำหนักลงเป็น 70 กิโลกรัม และใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า ค) การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ 2 ผลปรากฏว่า เครื่องสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนออกได้เฉลี่ย 172 ผล/ชั่วโมง โดยมีเปลือกสีเขียวติดอยู่น้อยกว่า 3% มีเสี้ยน $\leq 0.60\%$ ใช้กำลังไฟฟ้า 0.65 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกปอกเปลือกแล้วเป็นที่ยอมรับของตลาด ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ระบุว่า เมื่อค่าใช้จ่ายในการทำงาน = 0.13 บาทต่อผล สำหรับการทำงาน 240 วันต่อปี ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.7 เดือน เมื่ออัตราค่าจ้างเท่ากับ 0.50 บาทต่อผล

คำหลัก : เครื่องปอกเปลือก มะพร้าวอ่อน

คำนำ

มะพร้าวอ่อนน้ำหอม (ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย, 2531) เป็นผลไม้สดที่มีคุณค่าทางอาหารต่อร่างกายมนุษย์กล่าวคือ น้ำมะพร้าวมีสารอาหารจำพวกน้ำตาล วิตามิน ฮอร์โมน และเกลือแร่ สร้างความกระปรี้กระเปร่าและความสดชื่นแก่ผู้บริโภค ส่วนเนื้อมะพร้าวมีสารจำพวก สารคาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส และอื่นๆ สามารถนำไปประกอบอาหารคาวหวานหลายประเภท อาทิ ห่อหมกมะพร้าวอ่อน สังขยามะพร้าวอ่อน ข้าวเหนียวเปียกมะพร้าวอ่อน และวุ้นมะพร้าวอ่อน เป็นต้นมะพร้าวอ่อนเป็นพืชที่ง่ายต่อการปลูกและการบำรุงรักษา จึงเป็นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย และมีขายในประเทศด้วย โดยเฉพาะมะพร้าวน้ำหอมเป็นที่นิยมของชาวต่างประเทศมาก จนกลายเป็นสินค้าส่งออกของไทย ซึ่งพันธุ์มะพร้าวที่นิยมปลูกกันเพื่อการส่งออก คือ พันธุ์น้ำหอม พันธุ์หมูสี แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ นครปฐม สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ฉะเชิงเทรา และชลบุรี

ความต้องการการบริโภคมะพร้าวอ่อนภายในประเทศ มีทั้งในรูปผลไม้สดและมะพร้าวอ่อนแปรรูป ความต้องการดังกล่าวมีประมาณปีละ 800-900 ตัน และมีแนวโน้มความต้องการที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้าน

การส่งออกมะพร้าวอ่อนไปต่างประเทศ ปริมาณการส่งออกโดยเฉลี่ย 3,529.5 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย 44.7 ล้านบาทต่อปี (2541) ซึ่งศักยภาพในการส่งออกมะพร้าวอ่อนไปยังต่างประเทศถูกระบุว่ามีสูงมาก (เปรมปรี, 2541) มะพร้าวสดที่ส่งออกจะถูกปอกเปลือกและบรรจุในกล่องกระดาษกล่องละประมาณ 9 -10 ผลมะพร้าวอ่อนมีคุณสมบัติดีกว่าผลไม้ชนิดอื่นๆ ตรงที่สามารถเก็บได้นานและส่งออกได้เป็นระยะทางไกลๆ เพราะมีเปลือกแข็งหนาซึ่งป้องกันการกระแทกได้เป็นข้อได้เปรียบที่มีประโยชน์ต่อการส่งออกและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งลงมากโดยเฉพาะทางเรือ ประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง คือ แหล่งเพาะปลูกไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้ตลาดเลยเพราะไม่มีอุปสรรคในการขนส่ง

สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำมะพร้าวอ่อนและการบริโภคน้ำมะพร้าวอ่อนสด งานปอกเปลือกเป็นสิ่งจำเป็นและต้องใช้แรงงานคนมาก ซึ่งในสภาพปัจจุบันที่แรงงานคนทางการเกษตรหายากและมีราคาแพงและงานปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนดูเสี่ยงอันตราย (บัณฑิตและดลนภา, 2537) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาเครื่องจักรมาช่วยในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน

มะพร้าวอ่อนในปัจจุบันที่ทำการปลูกเพื่อเป็นการค้า มีอยู่ 2 พันธุ์ คือ มะพร้าวน้ำหอมและมะพร้าวพันธุ์หมูสี แต่ที่นิยมบริโภคกันมากเป็นพันธุ์น้ำหอม โดยผู้บริโภคภายในประเทศและต่างประเทศรวมทั้งนักท่องเที่ยวที่เข้ามาในประเทศด้วย ซึ่งแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้อัตราการบริโภคมะพร้าวอ่อนเพิ่มขึ้นทุกปี มะพร้าวอ่อนที่เก็บเกี่ยวมีอยู่ 3 แบบ (ศักดิ์สิทธิ์, 2535) คือ มะพร้าวชั้นเดียว มะพร้าวชั้นครึ่ง และมะพร้าวสองชั้น

1. **มะพร้าวชั้นเดียว** หมายถึง มะพร้าวอ่อนที่เพิ่งมีเนื้อเล็กน้อย การเกิดเนื้อมะพร้าวจะเกิดจากบริเวณส่วนล่างของผลอ่อนแล้วจะหนาไปเรื่อยๆ จนถึงส่วนบนของผล มะพร้าวชั้นเดียว เนื้อมะพร้าวจะบางมาก มีลักษณะเป็นวุ้นเล็กน้อย บางท้องถิ่น เรียกว่า มะพร้าวขี้มูกลิง ถือว่าเป็นมะพร้าวอ่อนเกินไปยังไม่ควรเก็บเกี่ยว

2. **มะพร้าวหนึ่งชั้นครึ่ง** เป็นมะพร้าวอ่อนที่มีเนื้อมากกว่ามะพร้าวชั้นเดียว เนื้อมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากส่วนล่างของผล (ก้นมะพร้าว) จนถึงส่วนบนของผล (ขั้วมะพร้าว) แต่เนื้อมะพร้าวไม่สม่ำเสมอ มะพร้าวนี้ถือว่าอ่อนไม่เหมาะกับการขายทั้งผล

3. **มะพร้าวสองชั้น** หมายถึง มะพร้าวอ่อนที่มีเนื้อเต็มแล้วแต่ยังไม่แก่เกินไป ถ้าตัดมะพร้าวขนาดสองชั้น จากรอยตัดส่วนล่างของผลเมื่อมองลงไปตามรอยตัด จะเห็นเนื้อมะพร้าวอ่อนอยู่เต็ม

มะพร้าวที่จำหน่ายภายในประเทศมี 3 รูปแบบ คือจำหน่ายเป็นน้ำมะพร้าว มะพร้าวทั้งผลและมะพร้าวเผาซึ่งแต่ละประเภทมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. **น้ำมะพร้าว** เป็นการจำหน่ายทั้งน้ำและเนื้อของมะพร้าวอ่อนพร้อมๆ กัน โดยไม่ต้องให้ผู้บริโภคเสียเวลาในการผ่าผลเพื่อขูดเอาเนื้อออกมารับประทาน ผู้ค้าปลีกจะผ่าผลแล้วขูดเอาเนื้อมะพร้าวออกมาบรรจุแก้ว หรือบรรจุในถุงพลาสติก แล้วแช่ในตู้เย็นเพื่อจำหน่ายต่อไป

2. **มะพร้าวทั้งผล** เป็นรูปแบบของมะพร้าวที่จำหน่ายกันมากที่สุดภายในประเทศ รวมทั้งผลผลิตมะพร้าวที่ส่งออกต่างประเทศด้วย มะพร้าวทั้งผลจะต้องนำมาปอกให้ได้รูปแบบที่ต้องการ (พื้นที่ภาพฉายผลมะพร้าวอ่อนเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยม) เรียกขั้นตอนนี้ว่าการชำแหละ

3. **มะพร้าวเผา** เป็นมะพร้าวที่นิยมบริโภคกันอีกรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากมะพร้าวเผามีรสชาติที่แปลกออกไป น้ำมีความหวานมากกว่ามะพร้าวปกติ ทั้งความหอมของน้ำก็ยังคงอยู่เหมือนเดิม

การทำให้วัสดุเกษตรแข็ง (Solid agricultural material) แยกตัวออกอาจทำได้ โดยการตัด (Cutting) การเฉือน (Shearing) การบีบ (Compression)

การตัด คือ การกดหรือใช้แรงเคลื่อนมีดบางคมผ่านวัตถุไปโดยวัสดุที่แยกออกไปไม่แตกหรือเสียรูป

น้อยที่สุด เช่น การตัดผัก ผลไม้ ขนม เป็นต้น

การเฉือน คือ เป็นการแยกแบบผสมการตัดและการบด การเฉือนปกติจะพบในการแยกหรือลดขนาดวัสดุเกษตรประเภทที่มีเส้นใย

การบีบ คือ เป็นการบีบด้วยวัสดุที่แข็งกว่าที่ผิวของวัสดุเกษตร ให้ปลิแตกแยกออกสำหรับผัก และผลไม้ ปกติจะก่อให้เกิดการเสียรูป (Deformation) และการช้ำ การบีบตัวแรงไม่มากกับผัก ถั่วลิสง ผลลิ้นจี่ และลำไย

ลักษณะของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกเสร็จแล้ว (Figure 1) ที่ผู้บริโภคต้องการ คือผิวเรียบไม่เป็นขุยมีสีขาว สะอาด รูปร่างมีไหล่และลำตัวเป็นทรงกรวย และ Frustum ประกบกันมีฐานตรงกันสามารถใช้ตั้งได้เอง (ไชยยงค์, 2538)

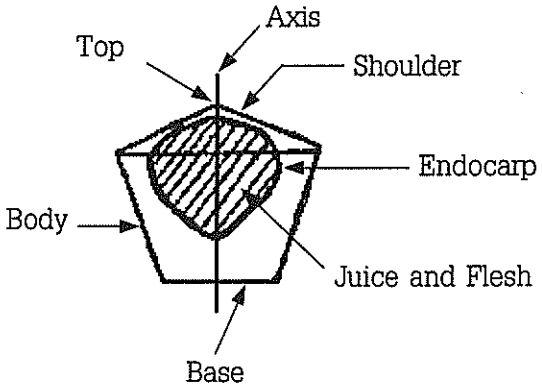

Figure 1 Axial section of typical peeled young coconut fruit

เกษตรกรซื้อขายมะพร้าวอ่อนโดยส่งกันมาทั้งทะลาย มีผู้รวบรวมผลผลิตส่งมายังผู้ขายปลีก และผู้ขายปลีกนี้เอง จะเป็นผู้ที่แปรรูปมะพร้าวให้เป็นรูปแบบต่างๆ เพื่อจำหน่ายแก่ผู้บริโภคอีกทีหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนดัง Figure 2 (บัณฑิตและเสกสรร, 2539)

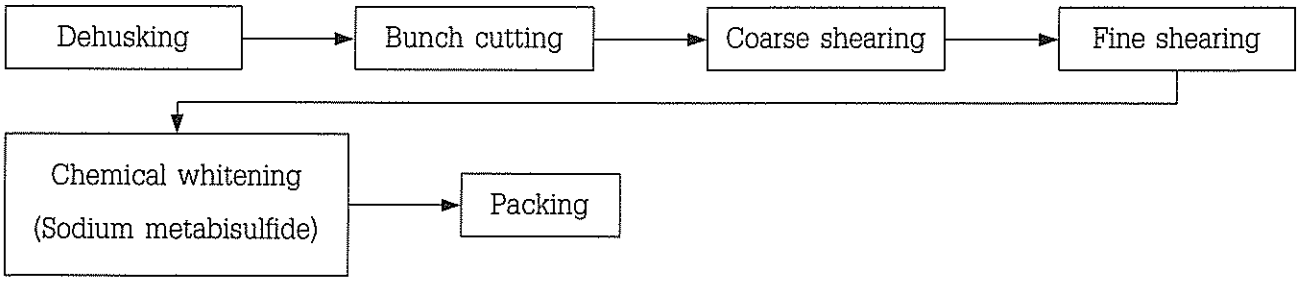

Figure 2 Peeling process of young coconut fruit

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน (2535) คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ได้สร้างและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนขึ้นมา 2 รุ่น ทั้ง 2 รุ่นมีลักษณะการทำงานคล้ายกันคือ ใบมีดหมุนปั่นอยู่กับที่ มีหัวจับติดกัน จับมะพร้าวป้อนเข้าหาใบมีด โดยใบมีดจะเฉือนผิวชั้นนอกของผลมะพร้าวในลักษณะตะกุย ผลการทดลองไม่ประสบผลสำเร็จ เพราะไม่สามารถควบคุมลูกมะพร้าวได้ทุกขนาดและความลึกการปาด ผิวชั้นนอกของมะพร้าวก็เป็นขุยมาก แต่ได้เสนอแนะว่าควรแยกใบพัดออกเป็น 2 ส่วน เพื่อปาดลำตัวและหัวไหล่

ไชยยงค์ (2538) ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนให้ได้ผลทรง 5 เหลี่ยม ตัวเครื่องประกอบด้วยเครื่องปอกเปลือกย่อย 2 เครื่อง เครื่องที่ 1 ปอกลำตัวผลมะพร้าวอ่อน เครื่องปอกย่อยที่ 2 ปอกไหล่ผลมะพร้าวอ่อน โดยมีลักษณะการทำงานคือ ใบมีดหมุนเป็นรูปกรวยกลมและชักไปกลับในระหว่างหมุนเป็นรูปกรวยด้วย ทั้งนี้เพื่อให้การปาดเป็นการปาดเฉือนแล้วให้มะพร้าวเคลื่อนที่เข้าหาใบมีดและได้แบ่งชุดมีดการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปอกข้างและส่วนปอกไหล่ จากการทดสอบปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนจำนวน 80 ลูก พบว่า ความเร็วในการปอกเปลือก ความหนาขี้เปลือกผลมะพร้าวอ่อนและอายุเก็บเกี่ยวมีอิทธิพลต่อคุณภาพการปอกของผลมะพร้าวอ่อนให้ผิวปอกเรียบขาวดี ความเร็วและความหนาขี้เปลือก ควรเป็น 45 รอบ/นาที ไม่เกิน 2.0 มิลลิเมตร แต่ยังไม่สามารถปอกเปลือกเขียวออกหมด ผิวผลมะพร้าวอ่อนมีขุย

เอกชัยและคณะ (2540) ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน โดยตัวเครื่องประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ชุดใบมีดเฉือน ส่วนที่ 2 คือ ชุดใบมีดหมุน โดยได้ทดสอบที่ความเร็วรอบ 400, 420, 440, 460, 480, 500 รอบต่อนาที โดยพบว่าที่ความเร็วรอบที่ 420 รอบต่อนาที สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้เร็วที่สุด คือ 64.4 วินาที

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนที่มีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนและหาสัมประสิทธิ์ทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนมี

ก. เครื่อง Autograph ยี่ห้อ SHIMADZU
ข. เครื่องอบแห้ง
ค. หัว Plunger ขนาด 8 มม.
ง. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน
จ. มอเตอร์ต้นกำลัง 1 แรงม้า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต
ฉ. มะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอม 3 ขนาด (เล็ก กลาง ใหญ่) อย่างละ 70 ผล
ช. นาฬิกาจับเวลา
ซ. กระดาษกราฟ แผ่นใส ปากกาเขียนถาวร
ฌ. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
ญ. มีดบางปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน และคนปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน
ฎ. สารขัดขาว (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)
ฏ. Planimeter

2. วิธีการ

ประกอบด้วยการออกแบบ การทดสอบ วิเคราะห์ ประเมินผล

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

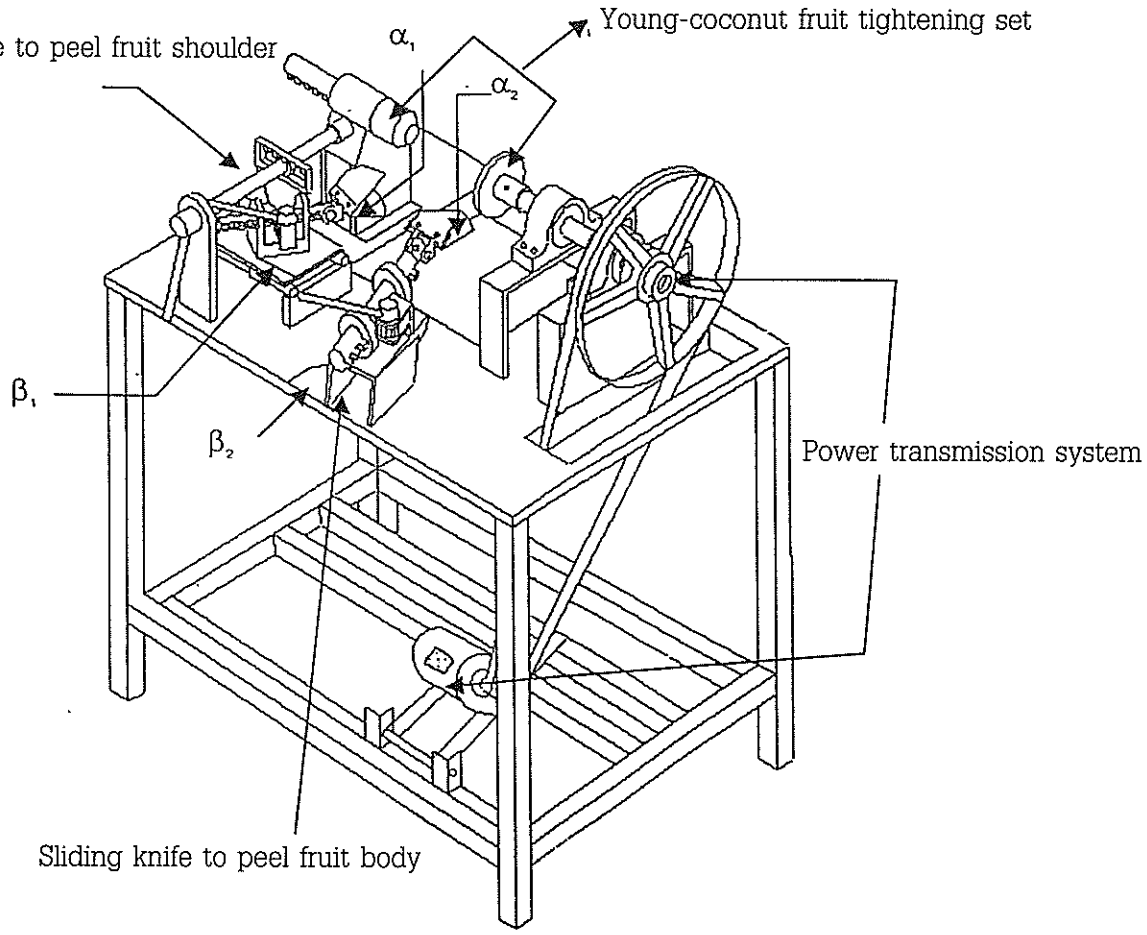

Figure 3 Schematic diagram of a young coconut peeling machine

เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้ (Figure 3)

1. **ระบบส่งกำลัง** : ต้นกำลัง เป็นมอเตอร์ 1 แรงม้า 220 โวลท์ 50 Hz ให้ความเร็ว 1,430 รอบ/นาที ส่งกำลัง โดยใช้สายพาน B อัตราทดความเร็วรอบของมอเตอร์ ในการส่งกำลัง ปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละการทดสอบ

2. **ชุดจับผลมะพร้าว** : ชุดเพลาที่จับยึดขั้วมะพร้าว เป็นเพลาขนาด 30 มิลลิเมตร พร้อมตุ๊กตาหรือแบริ่งรองรับกำลังขับจากเพลาของระบบส่งกำลังด้วยสายพาน ตัวจับจะเป็นแผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และมีเดือยออกมา 4 อัน มีหน้าที่จิกเข้าไปตรงขั้วมะพร้าว ชุดเพลาจับยึดส่วนก้นผลมะพร้าวอ่อน จะมีกลไกเชื่อมติดกับแท่นเลื่อนชุดใบมีดปอกเปลือกส่วนหัวไหล่ โดยกลไกจะทำหน้าที่ในการเลื่อนเข้า-ออก เพื่อจับยึดผลมะพร้าวอ่อนให้แน่น

3. **ชุดใบมีด** : ชุดใบมีดปอกหัวไหล่ อาศัยหลักการใช้เฟืองสะพานกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร ติดกับเพลากลมตัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร และมีเฟืองขับ เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ชุดใบมีดปอกหัวไหล่ จะติดตั้งอยู่บนชุดเลื่อนใบมีด และเชื่อมติดอยู่กับเพลาเหล็กที่เป็นคันโยก ใช้สำหรับการเลื่อนชุดเพลาจับยึดส่วนก้นผลมะพร้าวอ่อน ให้ เข้า-ออก ได้ตามขนาดของผลมะพร้าวอ่อน โดยที่เมื่อเลื่อนชุดเพลาจับยึดส่วนก้นผลมะพร้าว ชุดใบมีดปอกหัวไหล่ จะเลื่อนไปพร้อมกันด้วย ใบมีดปอกลำตัวใช้หลักการเดียวกันกับชุดใบมีดปอกหัวไหล่ คือ ใช้เฟืองสะพานขนาด 1 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร ติดกับเพลากลมตัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และมีเฟืองขับเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร

2.2 การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน

ข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับระบุสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน สำหรับระยะการเจริญเติบโตต่างๆ มีน้อยมาก สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ได้แก่ แรงกดทะลุ โมดูลัสยืดหยุ่น ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน เปอร์เซ็นต์ความชื้น

วิธีการทดสอบหาแรงกด ได้แก่ นำผลมะพร้าวอ่อนที่มีอายุต่างกัน (หนึ่งชั้น หนึ่งชั้นครึ่ง สองชั้น แก่ แข็งแบบกะลาดำ) ตัวอย่างละ 5 ผล มาเข้าเครื่อง Autograph (Figure 4) เดินเครื่อง Autograph เคลื่อนหัวกดที่ความเร็ว 25.0 mm/min กดผิวผลมะพร้าวจนทะลุ นำผลที่ได้จากกราฟ แรงกดการเปลี่ยนรูปไปคำนวณหาโมดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร ดังนี้

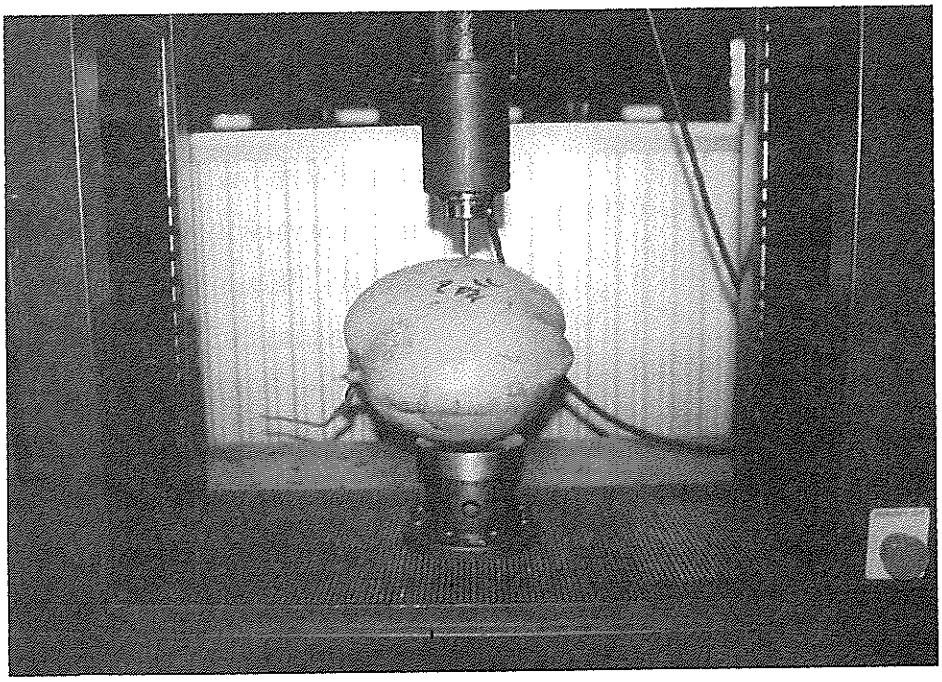

Figure 4 Compression test of young coconut fruit by means of Autograph

$$E = \frac{3\ (1-\nu^2)}{4\ \sqrt{R}} \times \frac{P}{D^{1.5}}$$

โดยที่ E = ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Pa)

ν = อัตราส่วนปัวซอง (0.25)

R = รัศมีของหัวพลั้งเจอร์ (เมตร)

P = แรงที่ใช้กด (N)

D = การเปลี่ยนรูป (เมตร)

วิธีการทดสอบหาความชื้น ได้แก่ นำผลมะพร้าวที่มีระยะความเจริญเติบโตต่างๆ (หนึ่งชั้น หนึ่งชั้นครึ่ง สองชั้น แก่ แข็งแบบกำละดำ) ตัวอย่างละ 5 ผล มาตัดเปลือกเป็นรูปลูกบาศก์ 1 x 1 เซนติเมตร ผลละ 2 ชิ้น ชั่งน้ำหนักเปลือกนั้นก่อน อบ บันทึกผล นำเปลือกเข้าเครื่องอบใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASAE ชั่งน้ำหนักเปลือกหลังอบ บันทึกผล เปอร์เซ็นต์ความชื้นหาได้จากสูตร

$$\%WB = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่หาย}}{\text{น้ำหนักรวม}} \times 100$$

เมื่อ %WB = เปอร์เซ็นต์ความชื้น (มาตรฐานเปียก)

ตัวแปรสำหรับการประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ได้แก่

ก. เวลาที่ปอกด้วยเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ข. เปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้

ค. เปอร์เซ็นต์เสี้ยน

ง. การยอมรับรูปทรงของการปอกเปลือกด้วยเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

2.3 การทดสอบหาความเร็วปอกเปลือกที่เหมาะสม

นำผลมะพร้าวอ่อน ติดตั้งในชุดจับยึดผลมะพร้าวอ่อนให้แน่นทดสอบโดยใช้ความเร็วรอบ ตั้งแต่ 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 รอบต่อนาที เดินเครื่องให้ผลมะพร้าวอ่อนหมุน หยุดเครื่องใช้สายตาดูการจับยึดของผลมะพร้าวอ่อนตรงบริเวณชุดจับยึดผลมะพร้าวอ่อนว่ามีการขยับของผลมะพร้าวหรือไม่

2.4 การทดสอบหาการวางชุดมีดปอกที่เหมาะสม

ทดสอบโดยเลือกความเร็วรอบที่ 300, 400, 500 จากการทดสอบที่ 2.3 มาทดสอบในส่วนการปอกเปลือกส่วนหัวไหล่ ที่แต่ละความเร็วรอบ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม มุม α_1 เท่ากับ 55, 60, 65 องศา ตามลำดับ ซึ่งกำหนดให้ β_1, α_2, β_2 เท่ากับ 55, 65, 65 องศา ตามลำดับ ติดตั้งผลมะพร้าวบนเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน และทำการเดินเครื่อง เลื่อนชุดใบมีดปอกลำตัวทำการปอกก่อน และตามด้วย ชุดใบมีดปอกหัวไหล่ ทำการปอกจนเสร็จทุกตัวอย่าง แล้วปฏิบัติการชุดกระบวนการ x (ได้แก่ นำไปแช่น้ำยาขัดขาว นำตัวอย่างมาติดหมายเลขตามลำดับ ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความสูงของหัวไหล่ ความสูงของผลมะพร้าวอ่อน เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวไหล่ เส้นผ่าศูนย์กลางของฐานผล จดบันทึก ใช้มีดปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนตัดเปลือกเขียวของผลมะพร้าวอ่อนที่เหลือจากการปอกและทำการวัดหาพื้นที่สีเขียว ด้วยเครื่องเขียนถาวร จดบันทึก การหาเสี้ยน โดยนำผลมะพร้าวที่เกิดเสี้ยนมาและเอาแผ่นใสทาบลงบนผลมะพร้าวอ่อน และใช้ปากกา permanent วาดเส้นล้อมรอบเสี้ยนที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นนำแผ่นใสมาทาบลงบนกระดาษกราฟ คำนวณหาพื้นที่ที่เกิดเสี้ยน ทำจนครบทุกตัวอย่าง จดบันทึก นำผลที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้ และเปอร์เซ็นต์เสี้ยน) หลังจากนั้นเราจะทดสอบชุดการ

ปอกลำตัว เลือกความเร็วรอบในการปอกส่วนหัวไหล่ที่ดีที่สุด มาทดสอบในการปอกส่วนหัวไหล่ ทำการแบ่งผลมะพร้าวอ่อนเป็น 3 กลุ่ม โดยมุม α_2 เท่ากับ 55, 60, 65 องศา ตามลำดับ ซึ่งกำหนดให้มุม β_1, β_2, α_1 เท่ากับ 55, 65, 65 องศา ตามลำดับ ทำการทดสอบ 10 ซ้ำ

$$\text{ประสิทธิภาพการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน} = \frac{\text{พื้นที่เปลือกเขียวที่เหลืออยู่}}{\text{พื้นที่ผิวทั้งหมด}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เสี้ยน} = \left[\frac{\text{พื้นที่ผิวที่เกิดเสี้ยน}}{\text{พื้นที่ผิวทั้งหมด}} \right] \times 100$$

2.5 การทดสอบหามีดปอกที่เหมาะสม

ติดตั้งใบมีดสแตนเลสและผลมะพร้าวอ่อนเข้ากับเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ทำการเดินเครื่องเลื่อนใบมีดปอกลำตัวก่อน และตามด้วยใบมีดปอกหัวไหล่จนเสร็จและปฏิบัติการซ้ำชุดกระบวนการ x ในหัวข้อ 2.4 ทำการทดสอบซ้ำกับใบมีดเหล็กเหนียวธรรมดาชุบแข็งและใบมีดไฮสปีด

การปรับปรุงเครื่องต้นแบบ : มีจุดประสงค์ในการลดน้ำหนักตัวเครื่อง และ อุปกรณ์บางตัวลงรวมทั้งเครื่องต้นกำลัง ซึ่งปรากฏว่า เครื่องต้นแบบมีน้ำหนัก 192.50 กิโลกรัม ใช้มอเตอร์ 2 แรงม้า หลังจากการปรับปรุงเป็นเครื่องต้นแบบที่ 2 สามารถลดน้ำหนักเครื่องเหลือ 70 กิโลกรัม ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 1 แรงม้า

2.6 การทดสอบการทำงานต่อเนื่องและความคงทนของใบมีด

นำผลมะพร้าวอ่อนแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม (เล็ก กลาง ใหญ่) กลุ่มละ 70 ผล นำผลมะพร้าวอ่อนผลแรก ปาดขั้วมะพร้าวแล้วทำการติดตั้งผลมะพร้าวอ่อนกับเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน และยึดผลมะพร้าวอ่อนให้แน่น พร้อมจับเวลา เดินเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ผู้ควบคุมเครื่องทำการเลื่อนใบมีดที่ทำการปอกเปลือกส่วนลำตัวและหัวไหล่ เมื่อเสร็จจากการปอก กดสวิชท์ปิดเครื่องและหยุดเวลา จดบันทึกส่งมะพร้าวที่ปอกด้วยเครื่องให้คนปอกต่อ และเริ่มจับเวลา คนปอกต่อทำการปอกเปลือกจนเสร็จ หยุดเวลา จดบันทึก และปฏิบัติการชุดกระบวนการ x ในข้อ 2.4 ทำซ้ำ จนหมดทุกตัวอย่างที่เตรียมทดสอบ และ เก็บข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม มุ่งความสนใจไปที่การประเมินต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน และระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายสำหรับต้นทุนผันแปร (Variable Cost) และค่าใช้จ่ายสำหรับต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

ค่าใช้จ่ายผันแปร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณผลผลิตที่นำมาปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน สำหรับต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคา และค่าเสียโอกาสของเงินลงทุนในเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าวไม่แปรเปลี่ยนตามปริมาณของผลผลิตที่นำมาปอกเปลือก

ถ้ากำหนดให้ AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน/ผล

FC คือ ต้นทุนคงที่ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน/ผล

VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปรทั้งหมดที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน/ผล

ดังนั้น

$$AC = FC + VC$$

โดยที่ VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน (D) + ค่าเสียโอกาสของการลงทุน (R)

D = (P-S)/L (ใช้วิธีเส้นตรง, Straight line method)

$$R = (P+S)*I / 2$$

เมื่อ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

L = อายุการใช้งานเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน = 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี

D = ค่าเสื่อมราคา /ปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)

I = อัตราดอกเบี้ย 8% ต่อปี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

Figure 5 แสดงกราฟการตอบสนองเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนต่อการกดทะลุของหัว Plunger ความสัมพันธ์แรงต้านต่อการกดกับการเปลี่ยนรูปมีลักษณะเป็นเส้นตรงสองช่วง ช่วงแรกจากประมาณจุดไม่มีภาระยาวต่อเนื่องไป AB ประมาณ 80.7 - 85.5% ของแรงแทงทะลุ (F_B/F_R) ช่วงที่สอง BR ความลาดเอียงลดลงจากช่วงแรก (Slope BR/Slope AB $\cong$ 0.77) และเข้าสู่แรงกดทะลุ ไม่มีจุดชีวคลากปรากฏให้เห็นบนกราฟ F - D ระหว่างเส้นกราฟทั้ง 2 ช่วง ผลมะพร้าวอ่อนที่ระดับความเจริญเติบโตน้อย (หนึ่งชั้น) มีความแข็งแรงน้อย (ค่า E น้อย $\cong$ 1.3 Mpa) แต่เมื่อเติบโตมากขึ้นไปสู่ระยะแก่และแข็งแบบกะลาดำ E เพิ่มขึ้น ($\cong$ 2.4 Mpa) แรงกดทะลุผลเพิ่มขึ้นกับระยะความเจริญเติบโตด้วย แต่ความชื้นผลมะพร้าวอ่อนลดลง นี้เป็นตัวสนับสนุนว่า ความแข็งแรงของเนื้อเปลือก (Mesocarp) เพิ่มขึ้นเมื่อผลมะพร้าวอ่อนเจริญเติบโตขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแทงทะลุ ความชื้น กับค่า E เป็นเส้นตรงที่ดีมาก (R^2 = 0.99,0.97 ตามลำดับ) สมการความสัมพันธ์ คือ F = 65.39 E + 30.248 N และ M = -10.46 E + 109.5%

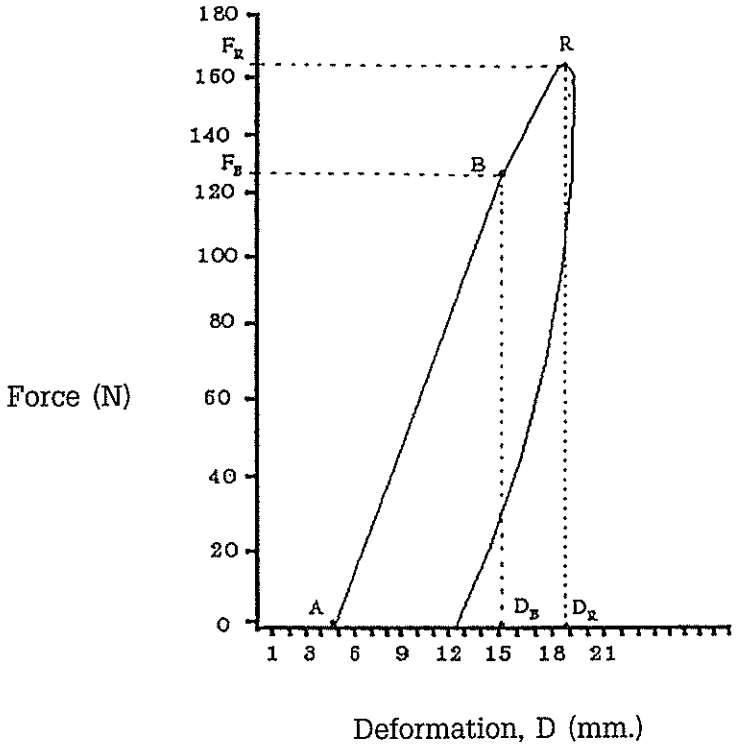

Figure 5 An example of force-deformation response of young coconut fruit under plunger compression

Figure 6 ตำแหน่งของกะลาผลมะพร้าวอ่อน แม้ว่าผลมะพร้าวจะอนุมานเป็นรูปทรงเรขาคณิตได้ยากและมีความแปรปรวนในมิติสูง ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวขนาดใหญ่ กลาง เล็ก พอสรุปได้ดังนี้ ด้าน d_1, d_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 89.8 - 99.0 mm. และ 90.4 - 103.3 mm. ตามลำดับ ด้าน t_U , t_W มีค่าอยู่ระหว่าง 26.8 - 39.0 mm. และ 26.9 - 38.8 mm. ส่วนด้าน C_1, C_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 21.1 - 25.1 mm. และ 36.0 - 55.4 mm. ตามลำดับ (Table 1)

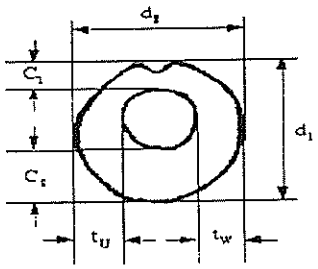

Figure 6 Position of an endocarp of young coconut fruit

หมายเหตุ d_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวเส้นใย (แกนจากขั้วผล) ของผลมะพร้าวอ่อน

d_2 = เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวขวางเส้นใยผลมะพร้าวอ่อน

C_1 = ความหนาของเปลือกส่วนก้นของผลมะพร้าว

C_2 = ความหนาของเปลือกส่วนขั้วของผลมะพร้าว

t_U = ความหนาของเปลือกผลมะพร้าวอ่อนตามแนวตั้งฉากกับแนวเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้านหนึ่งของกะลา

t_W = ความหนาของเปลือกผลมะพร้าวอ่อนตามแนวเส้นใยผลมะพร้าวอ่อนอีกด้านหนึ่งของกะลาบนหน้าตัดเดียวกัน

Table 1 Position of endocarp of young coconut fruits

Size	d_1 (mm)	d_2 (mm)	t_u (mm)	t_w (mm)	C_1 (mm)	C_2 (mm)
Small	89.8	90.4	26.8	26.9	21.1	36.0
Medium	94.3	100.4	31.0	30.9	23.3	40.9
Big	99.0	103.3	39.0	38.8	25.1	55.4

2. ความเร็วการปอกเปลือกที่เหมาะสมในการหมุนมะพร้าว

Table 2 Results of appropriate speed to rotate a young coconut fruit (motor speed = 1430 rpm)

speed of shaft holding a young coconut fruit (rpm.)	Holding capability and rotation characteristics*
300	Good holding
400	Good holding
500	Good holding
600	Fast rotation and fruit almost dropping down
700	Fast rotation and fruit almost dropping down
800	Fast rotation and fruit dropping down
900	Fast rotation and fruit dropping down

Remarks : By inspection

ผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมในการหมุนผลมะพร้าว (Table 2) พบว่า ความเร็วรอบ 300, 400,500 รอบต่อนาที สามารถจับผลมะพร้าวไม่หลุด แต่ความเร็วรอบ 600, 700, 800, 900 รอบต่อนาที การจับผลมะพร้าวจะหลุด

3. การทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดในการหมุนผลมะพร้าว และการจัดวางใบมีดที่เหมาะสมที่สุด พบว่า

1. ความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 300 รอบต่อนาที ถ้าความเร็วรอบในการหมุนน้อยกว่า 300 รอบต่อนาที จะมีปัญหาตรงขนาดของมู่เล่ย์เข้าติดตั้งบนเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนไม่ได้ ถ้าความเร็วรอบมากกว่า 300 รอบต่อนาที การปอกเปลือกจะปอกเปลือกเขียวออกได้น้อยกว่า และเปอร์เซ็นต์เสี้ยนที่เกิดขึ้นมากกว่า

2. มุมใบมีด α_1 ปอกเปลือกส่วนหัวไหล่ เท่ากับ 65^o สามารถปอกเปลือกออกได้ดังนี้ คือ เปอร์เซ็นต์ปอกเปลือกเฉลี่ย = 97.42, เปอร์เซ็นต์เสี้ยน = 0.30 โดยที่ มุม α_2 เท่ากับ 65^o , $\beta_1 = 55^o$, $\beta_2 = 65^o$

3. มุมใบมีด α_2 ปอกเปลือกส่วนลำตัว เท่ากับ 65 องศา สามารถปอกเปลือกออกได้ดังนี้ คือ เปอร์เซ็นต์ปอกเปลือกเฉลี่ย = 97.51, เปอร์เซ็นต์เสี้ยน เท่ากับ 0.12 โดยที่ มุม $\alpha_1 = 65^o$, $\beta_1 = 55^o$, $\beta_2 = 65^o$

4. ถ้ามุมใบมีดปอกลำตัวและหัวไหล่มากกว่า 65^o จะไม่สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้หมด จะปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนที่นูนออกมาได้เท่านั้น และจะทำให้เกิดเสี้ยนด้วย

5. ถ้ามุมใบมีดปอกลำตัวและหัวไหล่น้อยกว่า 65^o จะทำให้ใบมีดตัดเนื้อมะพร้าวมากเกินไป เกิดการจิกลูกมะพร้าว ทำให้ลูกมะพร้าวหลุดจากที่จับยึดได้ และทำให้ผลมะพร้าวบริเวณที่ถูกมีดตัดเกิดการแตกของเปลือกอย่างแรง ทำให้เกิดเป็นรอยหรือเป็นหลุมเหมือนรอยงัดได้

ผลการทดสอบหาคุณสมบัติใบมีดที่ปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน (Table 3) ระหว่างใบมีดสแตนเลส ใบมีดเหล็กธรรมดาชุบแข็ง และใบมีดเหล็กไฮสปีด ปรากฏว่า ใบมีดทำจากเหล็กธรรมดาชุบแข็ง สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ได้เฉลี่ย 97.54% มากกว่าใบมีดสแตนเลส และไฮสปีด ทำได้ และมีเปอร์เซ็นต์เสี้ยน 0.89 ที่น้อยกว่าด้วย

ส่วนใบมีดสแตนเลสและใบมีดไฮสปีด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เสี้ยนมากกว่าใบมีดเหล็กเหนียวธรรมดาชุบแข็ง คือ 10.67% และ 19.53% ตามลำดับ เพราะว่า

1. ใบมีดสแตนเลส จะเกิดการสบัดขึ้นเมื่อผลมะพร้าวกระแทกกับใบมีด ทำให้การปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนเกิดเสี้ยนและมีการสึกของใบมีดเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดเสี้ยนเพิ่มขึ้นด้วย

2. ใบมีดไฮสปีด การปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนจะมีเส้นใยมะพร้าวมาเกาะติดมากกว่าปกติ ทำให้เกิดใบมีดไม่ตัดมะพร้าว แต่เกิดการถูมะพร้าวแทน ทำให้เกิดเสี้ยนมากกว่าใบมีดชนิดอื่นๆ

4. การทดสอบเครื่องปอกเปลือกทำงานต่อเนื่อง

ในการทดสอบปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ขนาด เล็ก กลาง ใหญ่ ขนาดละ 70 ผล กับเครื่องต้นแบบที่ 2 โดยจับเวลา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปอกเปลือกด้วยเครื่อง และการปอกเปลือกด้วยคนต่อ ผลปรากฏว่า (Table 4)

1. มะพร้าวขนาดเล็ก เวลาปอกเปลือกด้วยเครื่อง (t_o) เฉลี่ย 19.84 วินาที เวลาปอกต่อด้วยคน (t_1) เฉลี่ย 20.59 วินาที และรวมเวลาทั้งหมด (t_s) เฉลี่ย 40.43 วินาที เปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้เท่ากับ 98.70%, เปอร์เซ็นต์เสี้ยน เท่ากับ 0.50%

2. มะพร้าวขนาดกลาง เวลาปอกเปลือกด้วยเครื่อง เฉลี่ย 22.37 วินาที เวลาปอกต่อด้วยคน เฉลี่ย 21.79 วินาที และรวมเวลาทั้งหมด เฉลี่ย 44.16 วินาที เปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้เท่ากับ 98.20%

Table 3 Results of peeling test with different knives

Knife type	No.	Percentage of peeled exocarp (CV-%)	Fibrous surface	Roughness	Flesh thickness (mm)	Remarks
			Average (%) (CV%)	Average (%) (CV%)		
Stainless	1	97.42	10.67 (17.24)	13.66 (6.37)	3	$\alpha_1 = 65°$
	2	97.76			2	$\alpha_2 = 65°$
	3	97.95			3	$\beta_1 = 55°$
	4	98.09			4	$\beta_2 = 65°$
	5	97.98			3	
	Average	97.84 (0.27)				
Typical iron	1	97.37	0.89 (35.16)	5.40 (16.29)	3	Speed = 300 rpm
	2	97.48			3	
	3	97.53			4	
	4	97.53			3	
	5	97.80			3	
	Average	97.54 (0.16)				
High speed iron	1	97.63	19.53 (3.99)	22.78 (7.32)	2	
	2	97.66			3	
	3	97.54			4	
	4	97.66			3	
	5	97.56			3	
	Average	97.61 (0.06)				

เปอร์เซ็นต์เสี้ยน เท่ากับ 0.50%

3. มะพร้าวขนาดใหญ่ เวลาปอกเปลือกด้วยเครื่อง เฉลี่ย 23.68 วินาที เวลาปอกต่อด้วยคน เฉลี่ย 23.62 วินาที และรวมเวลาทั้งหมด เฉลี่ย 47.29 วินาที เปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้เท่ากับ 97.40% เปอร์เซ็นต์เสี้ยน เท่ากับ 0.60%

Figure 7 แสดงเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนจริง Figure 8 ลักษณะผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกปอกเปลือกจากเครื่อง ซึ่งต้องมีคนช่วยปาดเปลือกส่วนหัวและตัดฐานผลจึงจะได้รูปทรงตามตลาดต้องการ

ผลการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่ม ให้ผลดังนี้

เวลาที่ปอกด้วยเครื่อง (t_o) เฉลี่ย 21.96 วินาที

เวลาที่ปอกด้วยคนต่อ (t_1) เฉลี่ย 22 วินาที

เปอร์เซ็นต์เปลือกที่ปอกออกได้ เท่ากับ 98.10%

เปอร์เซ็นต์เสี้ยน 0.53%

ซึ่งเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวได้ 172 ผล/ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 0.645 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคนสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ 79 ผล/ชั่วโมง (บัณฑิตและเสกสรร, 2539)

ได้ทำแบบสอบถามพ่อค้าแม่ค้าเกี่ยวกับผลมะพร้าวที่ปอกด้วยเครื่อง จำนวน 10 ร้าน (ตลาดปฐมมงคล)พบว่า รูปทรงมะพร้าวเป็นที่ยอมรับได้แต่ ความยาวส่วนของไหล่ควรให้สั้นลง เพราะการบรรจุกล่องจะประหยัดพื้นที่ เสี้ยนยอมรับได้ เรื่องผิวมะพร้าวส่วนใหญ่ยอมรับได้ และ รับซื้อลูกละ 5 บาท

Table 4 Result of continuous testing of the peeling machine

Fruit Size	Total sample (fruits)	Average time per fruit (second)		t_s (second)	Percentage of peeled exocarp	Fibrous surface (%) Average
		t_o	t_1			
Small	70	19.84	20.59	40.43	98.70	0.50
	CV (%)	4.06	8.94	4.88	0.95	49.46
Medium	70	22.37	21.79	44.16	98.20	0.50
	CV (%)	6.44	5.62	4.28	0.91	48.49
Big	70	23.68	23.62	47.29	97.4	0.60
	CV (%)	3.16	5.33	3.06	0.20	29.07

หมายเหตุ : α_1 = 65 องศา, α_2 = 65 องศา, β_1 = 55 องศา, β_2 = 65 องศา

ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที, ใบมีดเหล็กธรรมดา พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 0.645 kWhr มุมการลับใบมีดเริ่มต้น-มุมมีดเมื่อทดสอบเสร็จ 15 องศา

โดยที่ t_o = เวลาที่เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าว

t_1 = เวลาที่ใช้คนปอกเปลือกต่อ

t_s = เวลารวมทั้งหมด ($t_o + t_1$)

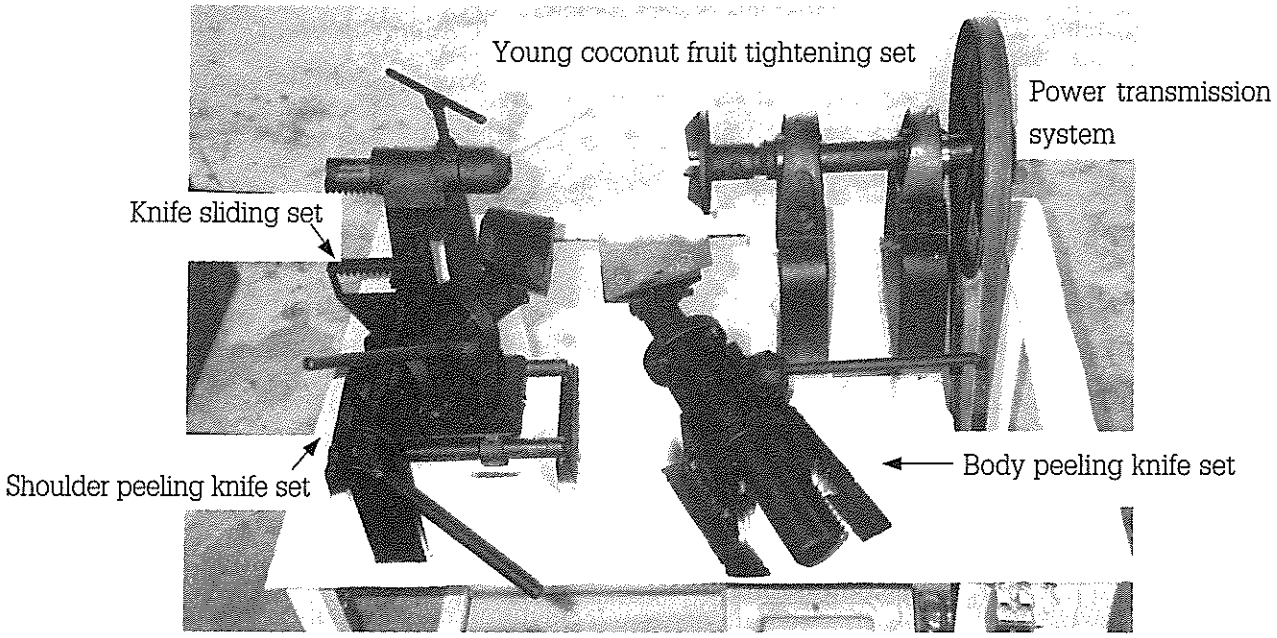

Figure 7 Picture of a prototype of young coconut fruit peeling machine

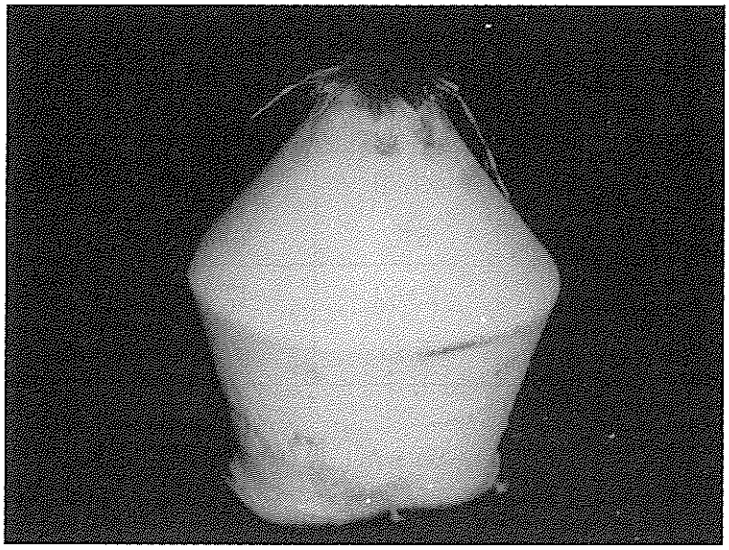

Figure 8 Appearance of young coconut fruit peeled by the machine

ค่าใช้จ่ายต้นทุนในการซื้อหรือสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ถือเป็นราคาจัดซื้อหรือสร้างโดยไม่คิดค่าโรงงานและค่าอื่น

1. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

เงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน เท่ากับ 17,500 บาท/เครื่อง ประกอบด้วยค่าวัสดุ 12,500 บาท และค่าแรงงาน 5,000 บาท (Table 5)

จากการสมมุติให้เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนมีอายุการใช้งาน 10 ปี ใช้วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา แบบเส้นตรง ค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน ณ อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8 ต่อปี ค่าจ้างแรงงาน 150 บาท/วัน/คน (ศุภกิตต์, 2544) ค่าบำรุงรักษา 5 บาท/วัน (ศุภกิตต์, 2544) อัตราการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการทดสอบประมาณ 172 ผล/ชั่วโมง และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ปรากฏว่าต้นทุนเฉลี่ยในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนมีค่า 0.137 บาท/ผล (Table 6)

Table 5 Construction cost of the young coconut peeling machine

List	Budget (baht)
1. Prime mover : electric motor 1 hp 220 v. 50 hz.	3,200
2. Steel frame, steel plate, tightening set, knife sets.	8,300
3. Belt, pulley, shaft and switch	1,000
4. Labour	5,000
5. Total	17,500

Note : Labour cost amounts to 40% of material cost

Table 6 Annual and average costs for operation of the young coconut peeling machine

Lists of expense	Years of use									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Fixed cost										
1.1 Depreciation (baht/yr.)	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575
1.2 Opportunity cost (baht/yr.)	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
Total	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345	2,345
2. Variable cost										
2.1 Labor (baht/yr.)	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000
2.2 Electricity (baht/yr.)	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2	3,715.2
2.3 Maintenance (baht/yr.)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
Total	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2	40,915.2
3. Grand total (baht/yr.)	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2	43,260.2
4. Quantity of peeled young coconut fruit	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240	330,240
5. Fixed cost (baht/fruit)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
6. Variable cost (baht/fruit)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
7. Tatal cost (baht/fruit)	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
8. Pay back period (month)	1.7									

Note : Number of working days = 240

Labor cost for machine operator only

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิธีการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน พบว่า เกษตรกรมีวิธีการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน 5 ขั้นตอน คือ ตัดขั้วแยกทะลาย การถากหรือการพุน การหมุนหรือการปาด แช่น้ำยาขัดขาว (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์) และการบรรจุเพื่อขายปลีก-ส่ง ซึ่งขั้นตอนต่างๆจะมีคนปฏิบัติงาน 2-3 คน โดยจะมีคนถากหรือพุน และคนหมุนหรือปาด เวลาในการปอกเปลือกโดยเฉลี่ย 45.3 วินาทีต่อผล ซึ่งความสามารถในการปอกเปลือก 79 ผลต่อชั่วโมง และการบรรจุ 8-10 ผลต่อถุง

การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ได้กำหนดให้มีความกว้าง ยาว สูง เท่ากับ 53, 80, 75 เซนติเมตร โดยมีชุดอุปกรณ์ต่างๆ คือ ชุดจับยึดผลมะพร้าว ชุดใบมีด ชุดเลื่อนใบมีด และใช้มอเตอร์ 1 แรงม้า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต ความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที

การทดลองขั้นต้น พบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนผลมะพร้าว เท่ากับ 300 รอบต่อนาที การทดสอบหาการจัดวางใบมีด พบว่า มุม α_1, α_2, β_1, β_2 ที่สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ดี คือ 65, 65, 55, 65 องศา ตามลำดับ และจากการทดสอบหาคุณลักษณะใบมีดที่เหมาะสมในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนพบว่าใบมีดเหล็กธรรมดาชุบแข็งเหมาะต่อการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนทำการทดสอบแบบต่อเนื่อง คือ เป็นการปอกด้วยเครื่อง และ คนปอกต่อเครื่องโดยจับเวลาในการปอกเปลือก พบว่า เวลาที่ปอกเปลือกมะพร้าวโดยเฉลี่ย 21.96 วินาที เวลาที่ใช้คนปอกเปลือกต่อเฉลี่ย 22.0 วินาที เปอร์เซ็นต์ เปลือกที่ปอกออกได้ เฉลี่ย 98.10 และ มีเปอร์เซ็นต์เสี้ยนเฉลี่ย 0.53 ซึ่งสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือก มะพร้าวอ่อน 172 ผลต่อชั่วโมง ใช้กำลังไฟฟ้า 0.645 กิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำหนักรวมของเครื่อง 70 กิโลกรัม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ค่าใช้จ่ายในการทำงาน เท่ากับ 0.13 บาท/ผล, ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 1.7 เดือน และการใช้งานคุ้มทุน เท่ากับ 36.6 ชั่วโมงต่อปี

เอกสารอ้างอิง

1. ไชยยงค์ หาราช. 2538. เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนทรง 5 เหลี่ยม. โครงงานวิศวกรรมเกษตร ภาควิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 56 น.
2. บัณฑิต จริโมภาส และ ดลนภา สุกกรี. 2537. ศักยภาพของเครื่องจักรกลเกษตรในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวอ่อน. ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 14 น.
3. บัณฑิต จริโมภาส และ เสกสรร สีหวงค์. 2539. การศึกษาเบื้องต้นสถานการการผลิตผลมะพร้าวอ่อนเพื่อตลาดบริโภค. *วารสารเกษตรศาสตร์* (สังคม) 17 : 12-18.
4. เปรมปรี ณ สงขลา. 2541. การลงทุนทำสวนมะพร้าวน้ำหอมอย่างมืออาชีพ. เคหการเกษตร, กรุงเทพฯ. 73 น.
5. ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2531. มะพร้าวอ่อนเพื่อการส่งออก. หน้า 13 ใน : หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ 22 พฤศจิกายน, กรุงเทพฯ.
6. ภาควิชาเกษตรกลวิธาน. 2535. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน. คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, กรุงเทพฯ. 56 น.

7. ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2535. การปลูกมะพร้าว. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, กรุงเทพฯ. 50 น.
8. ศุภกิตต์ สายสุนทร. 2544. การศึกษาพัฒนาการเทคโนโลยีเรือนบรรจุที่เหมาะสมเพื่อการส่งออกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 203 น.
9. เอกชัย ชัยพร และ สราวุธ ไพรไพศาล. 2539. การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน. โครงงานวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 33 น.

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ADB) ที่กรุณาสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย