



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

Design and Development of Automatic Young Coconut Fruit Trimming Machine

นามผู้วิจัย นายณัฐพงศ์ รัตนเดช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ, M.Eng.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

Design and Development of Automatic Young Coconut Fruit Trimming Machine

โดย

นายณัฐพงศ์ รัตนเดช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพงศ์ รัตนเดช 2553: การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ภาชานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 163 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เพื่อออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ เครื่องประกอบด้วย 1. สถานีปอกลำตัวผล 2. สถานีปอกไหลผล 3. สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล 4. ฐานหมุนเปลี่ยนสถานี 5. ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน 6. ชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน 7. ชุดสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน 8. ชุดส่งกำลัง และ 9. ระบบควบคุม PLC วิธีการทดสอบเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ 1. การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติเบื้องต้น แยกเป็นการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องและการทดสอบแบบต่อเนื่อง 2. การทดสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ แยกเป็น 5 การทดสอบย่อยคือ a) การทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch b) การทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด c) การทดสอบระดับใบมีดปอกไหลผลกับผลมะพร้าว 3 ขนาด d) การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด และ e) การทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง

ผลการทดสอบปรากฏว่าเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติต้นแบบสามารถปอกผลมะพร้าวอ่อนได้ 86 ผล/ชั่วโมง และพบค่าเฉลี่ยของพื้นที่เสียหายคือ 0.35% ค่าเฉลี่ยของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกโดนกะลาคือ 2.5% และค่าเฉลี่ยของพื้นที่เปลือกสีเขียวคือ 14.5% ด้วยการเปลี่ยนใบมีดที่ 50 ผลต่อครั้ง ซึ่งความสามารถของเครื่องนั้นจะมากกว่าการปอกโดยใช้คนปอกอยู่ที่ประมาณ 2.3 เท่า จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่อเครื่องทำงานปีละ 2,000 ชั่วโมงระยะเวลาคืนทุนจะเท่ากับ 2.86 ปี

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Nuttapong Ruttanadat 2010: Design and Development of Automatic Young Coconut Fruit Trimming Machine. Doctor of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 163 pages.

The purpose of the research was to design construct, test and evaluate an automatic prototype young coconut trimming machine. The design concept was that young coconut fruit trimming was obtained by moving an inclined sharp knife in translation motion in vertical plane to trim the fruit which was held tightly and rotating in horizontal plane. The prototype was consisted of main frame, body trimming station, shoulder trimming station, input-output-base cutting station, rotary base, fruit holder, fruit pressing set, slip ring of electrical connection, power and programmed electronic control. In operation, three fruit holders rotated about themselves and traveled in a circle passing the body-trimming station, the shoulder-trimming station, the input-output-base cutting station. The untrimmed fruit was continuously fed on the fruit holder which carried the fruit to be trimmed at every station in sequence. Several improvements for the optimum settings to achieve high capacity and high quality of the trimmed coconut were performed. The travel of body knife and the shoulder knife was 2.5 and 5.5 cm respectively. The DC motor supply voltage was 24 V, resulting in 300 rpm speed driving the trimming knives. The shoulder knife height of the medium young coconuts was 18 cm. Based on these design parameters, the improved prototype was fabricated and tested. The prototype could produce the trimmed young coconut of 86 fruit/hr with the average fibrous area of 0.35%, damaged fruit of 2.5%, and remained untrimmed green area of 14.5%.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการ ออกแบบ สร้าง การทดสอบ และการประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งท่านได้ให้กำลังใจและหลักคิดในการทำงานเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ซึ่งได้กรุณารับเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทำให้ผู้เขียนสามารถดำเนินงานต่อได้จนสำเร็จ ลุล่วงเป็นอย่างดี และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหการทำงานเครื่องและการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ Professor P.Chen ที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางการแก้ปัญหา ขอขอบคุณ อาจารย์นิติพงษ์ ใจสิน ที่ให้ความรู้และช่วยเหลือในเรื่องของ PLC ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.กนกพร บุญญะอดิชาติ ที่ได้ช่วยฝึกฝนและแก้ไขข้อบกพร่องด้านทักษะทางภาษาอังกฤษ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ตลอดจนถึงนิสิต ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้มอบทุนการศึกษา และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่มอบทุนในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และน้องสาวทั้งสองคนที่ได้ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้ในระดับปริญญาเอก ซึ่งถือได้ว่าเป็น ฆุมทรัพย์ที่มีค่ามากที่สุดที่ลูกได้รับจากครอบครัว ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ผู้เขียนขออุทิศแด่ ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส ผู้ซึ่งได้ให้ความรู้คุณธรรม จนกระทั่ง วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้

ณัฐพงศ์ รัตนเดช
มีนาคม 2553

สารบัญ

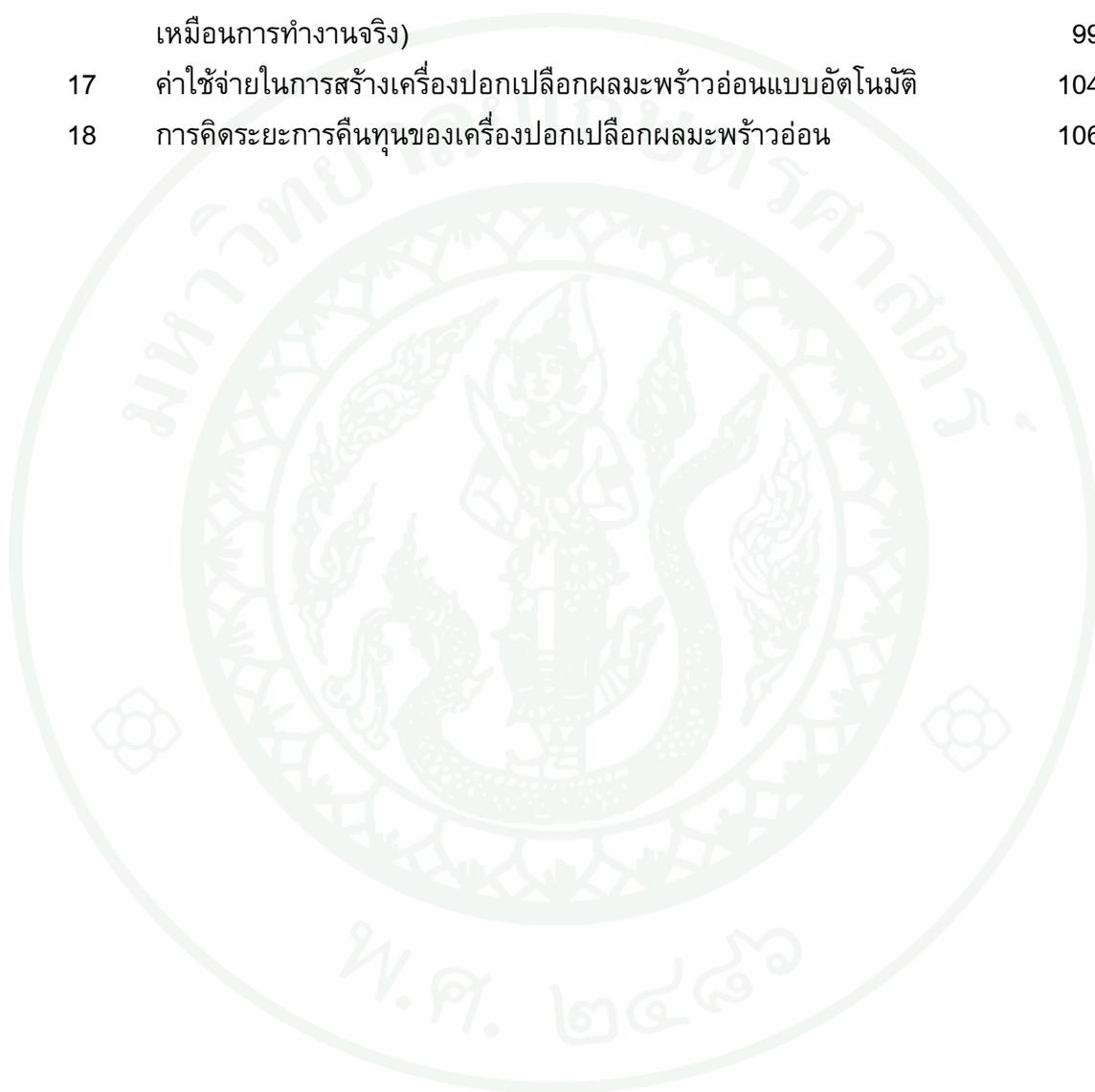
	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	66
ผล	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	107
สรุป	107
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ภาคผนวก	111
ภาคผนวก ก การออกแบบและคำนวณ	112
ภาคผนวก ข โปรแกรมคำสั่ง PLC	119
ภาคผนวก ค แบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ และ เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติต้นแบบ	124
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัย	132
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	163

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน	20
2	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนจาก 3 แหล่งคือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคลและตลาดโอเดียน	66
3	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจาก 3 แหล่งคือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาดโอเดียน	67
4	การกระจายตัวของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อน	70
5	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง	83
6	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง	85
7	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch	86
8	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมิต	89
9	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผล ที่ 6 ระดับ	90
10	Duncan Multiple Range test on the quality ของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ในการทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผล ที่ 6 ระดับ	91
11	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบเก่า)	94
12	เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (ชุดใบมีดแบบขันน็อต 3 ตัว (แบบเก่า))	95
13	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบใหม่)	96
14	เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (ชุดใบมีดแบบขันน็อต 1 ตัว (แบบใหม่))	97
15	สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (ทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง)	99
17	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ	104
18	การคิดระยะการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน	106



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การแพร่กระจายทางภูมิศาสตร์ของมะพร้าว	4
2	ลักษณะของผลมะพร้าว	6
3	การสังเกตความหนาของสีขาวยบริเวณรอบกลีบเลี้ยงผลมะพร้าวอ่อน	10
4	ผู้ประกอบการกำลังปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน	12
5	ผลมะพร้าวอ่อนแปรรูปในลักษณะต่างๆ	12
6	ผลมะพร้าวอ่อนที่กำลังแช่ในถังน้ำยาขัดขาว	13
7	ลักษณะการทำงานของเครื่องปอกผลมะพร้าวอ่อน ที่มา: ไชยยงค์ (2536)	16
8	เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ที่มา: รัชนีวรรณและบุญสม (2536)	16
9	เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนโดย เอกชัยและสรารุช (2540)	17
10	เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนโดย กฤษณะและคณะ (2543)	17
11	เครื่องเจียนเปลือกมะพร้าวอ่อนโดย สุวัฒน์ (2543)	18
12	เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนโดย อัครเดช (2544)	19
13	เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนโดย Jarimopas and Ruttanadat (2006)	19
14	ลักษณะภายนอกของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก	23
15	การใช้โปรแกรม Adobe PhotoShop ช่วยในการหาระยะ	26
16	ระยะต่างๆที่ทำการวัดขนาดของผลมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก	26
17	แบบจำลองเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ	32
18	แบบจำลองตัวโครงเครื่อง	33
19	แบบจำลองสถานีปอกลำตัวผลและการตั้งค่ามุมมีดด้วยมุม β และ α_1	34
20	แบบจำลองสถานีปอกไหล่ผลและการตั้งค่ามุมมีดด้วยมุม γ และ α_2	35
21	แบบจำลองสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล	36
22	แบบจำลองฐานหมุนเปลี่ยนสถานี	37
23	แบบจำลองชุดจับผลมะพร้าวอ่อน	38
24	แบบจำลองชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน	39
25	แบบจำลองชุดสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring)	40
26	แสดงส่วนประกอบของ PLC	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการทดสอบครั้งแรก	47
28	Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการทดสอบครั้งที่ 2	48
29	Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการทดสอบครั้งที่ 3	49
30	โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ บัณฑิตและคณะ (2546)	50
31	กราฟแสดงการสอบเทียบค่าโปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้	51
32	แสดงพื้นที่ส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าวอ่อน	52
33	พื้นที่ต่างๆ บนผิวมะพร้าวอ่อนเปลือก	54
34	มูมมีดที่ติดตั้งบนสถานีปลูกต่างๆ	57
35	การปรับตำแหน่งของคมมีดที่ใช้ปลูก	58
36	ชุดใบมีดแบบเก่า (ก) และแบบใหม่ (ข)	59
37	การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบ	68
38	การกระจายตัวของผลมะพร้าวอ่อน	69
39	การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อน	71
40	ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ	72
41	ชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ	72
42	สถานีปลูกลำตัวผล	73
43	สถานีปลูกไหลผล	73
44	สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล	73
45	สะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน	74
46	กล่องควบคุม	74
47	ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสะพานลูกเบี้ยว	75
48	ก้ามปูดันลูกปืนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน	76
49	การแก้ไขชุดจับผลมะพร้าวอ่อน	77
50	ปัญหาและการแก้ไขปัญหาของกรณีชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหุบไม่สนิท	78
51	ปัญหาของการตัดขั้วผล	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
52	สภาพของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่หมุนชนกับตัวโครงตัดข้าวผล	80
53	สภาพของแผ่นยางรองรับยอดภายในกรวยก้านดันทันผล	81
54	ปัญหาและการแก้ไขของชุดก้านดันทันผลมะพร้าวอ่อน	81
55	ปัญหาของ Slip ring	82
56	การแก้ไขปัญหาของ Slip ring	83
57	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง	84
58	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง	85
59	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch	87
60	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด	89
61	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบเก่า)	95
62	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบใหม่)	96
63	ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง	98
64	ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก	100
65	ความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่พบในสถานีปอกลำตัวผล	101
66	ความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่พบในสถานีปอกไหลผล	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพหมวดที่		หน้า
ก1	ลักษณะการวางสายพานแบบเปิดและแบบไขว้	114
ค1	แบบ 3Views standard แสดงเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ	125
ค2	แบบ 3Views standard แสดงสถานีปอกลำตัวผล	126
ค3	แบบ 3Views standard แสดงสถานีปอกยอดผล	127
ค4	แบบ 3Views standard แสดงสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล	128
ค5	แบบ 3Views standard แสดงก้านตันกั้นผลมะพร้าวอ่อน	129
ค6	แบบ 3Views standard แสดงชุดจับผลมะพร้าวอ่อน	130
ค7	เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติต้นแบบ	131

การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

Design and Development of Automatic Young Coconut Fruit Trimming Machine

คำนำ

ผลไม้ในประเทศไทยนั้นมียู่มากมายหลากหลายชนิด ล้วนแต่ได้รับความนิยมจากชาวไทยและชาวต่างประเทศ มะพร้าวอ่อนเป็นผลไม้ไทยอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักไปทั่วโลก ชาวต่างประเทศที่มาเที่ยวในเมืองไทยเมื่อได้ลิ้มลองรสชาติอันหอมหวานของน้ำมะพร้าวอ่อนของไทย ยิ่งมะพร้าวพันธุ์น้ำหอมที่ได้ชื่อวากลิ่นของน้ำนั้นคล้ายกับกลิ่นของไบเตย ทำให้เมื่อดื่มแล้วจะรู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่า น้ำมะพร้าวอ่อนยังมีประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งจะอุดมไปด้วยน้ำตาลเกลือแร่ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม วิตามินซี วิตามินบี2 บี5 และบี6 กรดโฟลิก กรดอะมิโน และฮอโมน (กรมวิชาการเกษตร, 2550) ล่าสุดยังพบว่าฮอโมนเอสโตรเจนในน้ำมะพร้าวอ่อนมีสารชะลอโรคอัลไซเมอร์ (คมชัดลึก, 2549) ประเทศไทยส่งออกมะพร้าวอ่อนไปจำหน่ายยังต่างประเทศในปี 2546 รวม 266.4 ล้านบาท คิดเป็นปริมาณส่งออก 26,550 ตันขยายตัวร้อยละ 0.7 จากปี 2545 โดยตลาดมะพร้าวอ่อนของไทยที่สำคัญ ได้แก่ สิงคโปร์ ฮองกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แคนาดา บาร์เรน บรูไน และซาอุดีอาระเบีย จะเห็นได้ว่า มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถนำทุกส่วนตั้งแต่รากจรดใบไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าคิดเป็นมูลค่าน่าจะเป็นรายได้เข้าประเทศปีละกว่า 2,700 ล้านบาท (กรมประชาสัมพันธ์, 2550) ผลิตภัณฑ์ผลมะพร้าวอ่อนนั้นมีหลายประเภท แต่ที่ได้รับความนิยมบริโภคนั้น ได้แก่ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก รูปแบบการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนนั้นมีหลายรูปแบบเช่น ปอกเฉพาะส่วนกันมะพร้าวให้เป็นกรวยแหลมแล้วตัดขั้วผลออก โดยไม่ปอกลำตัวผล, ปอกเปลือกสีเขียวส่วนกันให้เป็นกรวยแหลมแล้วปอกลำตัวผลและตัดขั้วผลออก เมื่อมองเป็นภาพ 2 มิติทางด้านข้างจะเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยม (มะพร้าวควั่น)  และล่าสุดมีการปอกเปลือกจนถึงกะลาเหลือเฉพาะส่วนขั้วผลเล็กน้อยชัดเจนขาว (มะพร้าวเจียร) แต่รูปแบบการปอกเปลือกเป็นทรงห้าเหลี่ยมยังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก

ขั้นตอนการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเพื่อจำหน่ายเพราะผลมะพร้าวอ่อนที่ต้องการจะต้องมีรูปทรงห้าเหลี่ยมที่สวยงาม ขนาดพอเหมาะ และจะต้องขาวสะอาดไม่มีร่องรอยบริเวณผิวของผลที่ปอก ปัจจุบันยังใช้แรงงานคนในการปอกอยู่ ซึ่งกำลังประสบปัญหาอย่างมาก เช่น การขาดแคลนแรงงานฝีมือ

ดี, การผลิตไม่ทันต่อความต้องการของตลาด, ความแตกต่างกันของทรงมะพร้าวในแต่ละแหล่งผลิตเป็นต้น ทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนในอดีตหลายราย ล่าสุด ธีรพงศ์ (2547) ได้พัฒนาและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนที่สามารถปอกเปลือกได้ ≈ 21 ผล/ชม. เกิดเสี้ยนเฉลี่ย 0.19% และมีพื้นที่เปลือกเขียวเหลืออยู่ 1.1% ผลมะพร้าวที่ถูกปอกเปลือกเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการและเกษตรกรปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนพร้อมขายในประเทศและต่างประเทศ ยังคงมีปัญหาที่ความสามารถของเครื่องไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการเพราะเครื่องจะเสียเวลาไปกับการติดตั้งชุดจับผลมะพร้าวาน

การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัตินี้ จึงเกิดขึ้นเพื่อต้องการที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกและลดขั้นตอนที่ทำให้เสียเวลา รวมถึงการคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ควบคุมเครื่อง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบ และสร้าง เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ
2. เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ



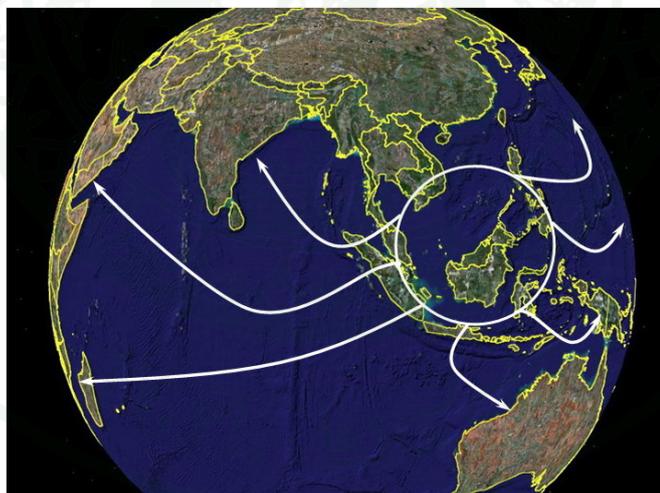
การตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ปาล์ม Family Palmae ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น Tribe ต่างๆ ได้ 6-8 Tribe ใน Tribe Cocoideae มีสกุลต่างๆ ประมาณ 27 สกุล แต่เดิมสกุล *Cocos* ประกอบด้วยพืชชนิดต่างๆ ราว 54 ชนิด ซึ่งทั้งหมดมักพบในทวีปอเมริกาใต้ แต่ในปัจจุบันทุกชนิดนอกจากมะพร้าวหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. ถูกจัดให้อยู่ในสกุลใหม่ ได้แก่ *Areca strum*, *Butia* และ *Syagrus* (Child, 1964)

มะพร้าว

มะพร้าว เป็นพันธุ์ไม้เก่าแก่ของโลกชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลก และเชื่อกันว่าจะเกิดขึ้นตามเกาะต่างๆ และแพร่กระจายไปยังหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย โดยผลที่ลอยน้ำได้ เนื่องจากพื้นผิวอากาศที่เหมาะสมกับมะพร้าว คือความร้อนแถบชายทะเลและชอบขึ้นในดินปนทราย (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การแพร่กระจายทางภูมิศาสตร์ของมะพร้าว

ส่วนประกอบของมะพร้าว

ราก

มะพร้าวเป็นพืชที่ไม่มีรากแก้ว แต่จะมีรากขนาดเล็ก แผ่กระจายไปรอบๆ ลำต้น เรียกระบบรากแบบนี้ว่าระบบรากฝอย (Fibrous root system)

ลำต้น

เป็นแบบลำต้นเดี่ยว มีขนาดเท่ากันโดยตลอด การเจริญเติบโตของต้นมะพร้าวในช่วงแรกจะเจริญเติบโตทางกว้างหรือหนาจนได้ขนาดจึงขยายทางด้านความสูง

ใบและทาง

ใบมีขนาดความกว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร มีเส้นกลางใบเป็นก้านแข็ง ใบทั้งหมดจะเรียงอยู่บนสองข้างของทางมะพร้าว

ดอกมะพร้าว

มะพร้าวเป็นอีกพืชหนึ่งในแต่ละต้นมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียเกิดอยู่แยกกัน แต่ทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนช่อดอกเดียวกัน ช่อดอกมะพร้าวเรียกว่า “จั่น” จั่นที่มีกาบห่อหุ้มบางท้องถิ่นเรียกว่า “งวงมะพร้าว” (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531)

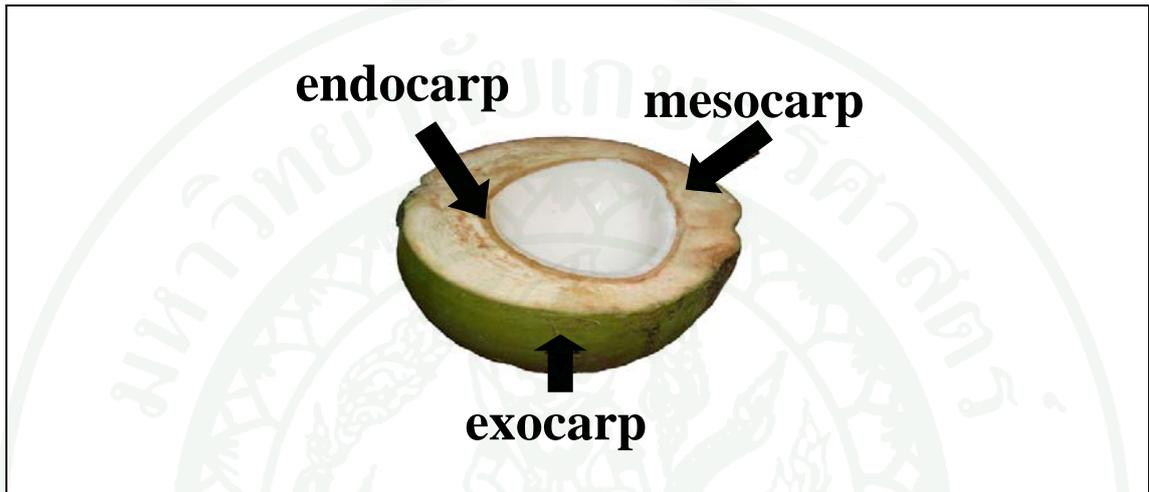
ผลมะพร้าว

เมื่อมีการผสมเกสร, ดอกตัวเมียจะพัฒนาขึ้นเป็นผล ผลมะพร้าวเป็นแบบ fibrous drupe นิยมเรียกว่า Nut ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ exocarp, mesocarp และ endocarp (ภาพที่ 2)

exocarp คือเปลือก (ผิว) นอกสุดของผลมะพร้าวที่ยังอ่อนอยู่ มีสีต่างๆ ตั้งแต่เขียว, เหลือง, ส้ม, น้ำตาล, น้ำตาลแดง และสีงาช้าง

mesocarp คือเนื้อเยื่อทั้งหมดใต้ exocarp จนถึงกะลาเมื่อผลแก่ จะมีลักษณะเป็นเส้นใย และหยุ่น, มีความหนาประมาณ 2-15 เซนติเมตร (แล้วแต่พันธุ์)

endocarp คือ กะลา ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งที่สุดของมะพร้าว มีรูปร่างกลม แต่มีเส้นแบ่งให้เห็นเป็น 3 ส่วนอย่างชัดเจน ที่ขั้วมีตา 3 ตา แต่เป็นตาบอดเสีย 2 ตา (ณรงค์, 2530)



ภาพที่ 2 ลักษณะของผลมะพร้าว

พันธุ์มะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชที่ปลูกต่อเนื่องมาเป็นเวลายาวนานจึงมีความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์มาก (ดูได้จากนักวิชาการเกษตรของไทย ได้นำมะพร้าวจากต่างประเทศมาผสมพันธุ์กับพันธุ์มะพร้าวของไทย จนได้มะพร้าวที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชัดเจนเป็นอย่างมากที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร)

นักเกษตรศาสตร์ได้ทำการแบ่งมะพร้าวไว้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มต้นสูง

ได้แก่มะพร้าวพันธุ์ใหญ่ พันธุ์กลาง พันธุ์กะทิ พันธุ์ปากจก พันธุ์น้ำตาล พันธุ์พวง ร้อย พันธุ์เปลือกหวาน มะพร้าว พันธุ์หัวลิง และพันธุ์ซอ เป็นต้น กลุ่มนี้มีลักษณะของลำต้นขนาดใหญ่ หลังปลูกต้องใช้เวลาจนถึงให้ผล ผลมีขนาดใหญ่ ตกผลไม่ตกหนัก พื้นที่ปลูกมีมาก แถบสมุทรสาคร ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี

2. กลุ่มต้นเตี้ย

ได้แก่มะพร้าวพันธุ์นกคุ้ม พันธุ์หมูสีเขียว พันธุ์ทุ่งเคล็ด พันธุ์ปะทิว พันธุ์น้ำหอม พันธุ์หมูสีเหลือง พันธุ์ไฟ พันธุ์ตีนพันธุ์ พันธุ์ดก พันธุ์นิ่ม และพันธุ์นาพิเก เป็นต้น มะพร้าวกลุ่มนี้มีขนาดลำต้นเล็ก หลังปลูก 2-3 ปีก็ให้ผลได้ ผลมีขนาดไม่ใหญ่นัก แต่ติดผลดก ปีหนึ่งอาจเก็บได้ 120 ผลต่อต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมมะพร้าวเริ่มให้ความสำคัญกับมะพร้าวต้นเตี้ยมากขึ้น หลังจากก่อนหน้านี้ได้ให้ความสำคัญกับกลุ่มของมะพร้าวต้นสูง เพราะปลูกได้จำนวนต่อไร่มาก จำนวนผลต่อต้นมาก รวมทั้งการเก็บเกี่ยวสะดวก มะพร้าวที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มะพร้าวอ่อนส่วนใหญ่จึงจัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ย ซึ่งมีมะพร้าวน้ำหวานและน้ำหอม มะพร้าวน้ำหอม ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยหวาน ต้องปล่อยให้อายุของผลมากขึ้น เนื้อหนา รสชาติหวานเหมาะต่อการนำไปทำเป็นมะพร้าวเผา ช่วงเนื้อบางก็สามารถปอกเปลือกขายได้ ส่วนมะพร้าวน้ำหวานก็มีข้อเสียตรงที่น้ำไม่หอม แต่หวานจัดตั้งแต่อายุของผลไม่มากนัก (พานิชย์, 2544) จึงทำให้มะพร้าวพันธุ์น้ำหอมเป็นที่นิยมในการเพาะปลูกและนำมาปอกเปลือกเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยของธีรนุช (2545) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนและระยะเวลาปลูกทดแทนที่เหมาะสมของการปลูกมะพร้าวอ่อนในอำเภอบ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร ว่ามีความเสี่ยงในการลงทุนน้อย และระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกทดแทนยาวนานถึง 25 ปี

มะพร้าวพันธุ์น้ำหอม

มะพร้าวพันธุ์น้ำหอมนี้สามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 3 ชนิด (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) ซึ่งจะมีลักษณะและขนาดของผลแตกต่างกัน ส่วนในเรื่องของความหวานและความหอมของน้ำใกล้เคียงกัน ไม่มีชนิดใดเหนือกว่าอย่างชัดเจน ได้แก่

1. แบบผลยาวหรือผลเล็ก มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้มีขนาดผลเล็ก ลักษณะผลยาวรี ผลภายในหัวท้ายแหลม มีรูปทรงผลไม่สวยงาม

2. แบบผลกลม มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้ มีขนาดของผลใหญ่ที่สุดในบรรดามะพร้าวน้ำหอมด้วยกันคือใหญ่ทั้งขนาดภายนอกและขนาดของกะลา มะพร้าวชนิดนี้มีผลกลม มีเปลือกบางกว่ามะพร้าวน้ำหอมชนิดอื่น ปัจจุบันนิยมผลิตมะพร้าวชนิดนี้มาก เนื่องจากตัดแต่งผลได้ง่ายและสวยงามกว่ามะพร้าวน้ำหอมชนิดอื่น ๆ

3. แบบผลรีหรือแบบก้นจีบ เป็นมะพร้าวน้ำหอมที่มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างมะพร้าวผลยาวกับมะพร้าวผลกลม ขนาดผลของมะพร้าวน้ำหอมชนิดก้นจีบมีขนาดใหญ่พอสมควร ถึงขนาดผลจะมีขนาดใหญ่เท่ากับพันธุ์ลูกผสมก็ตาม

การเก็บเกี่ยวและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวอ่อน

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอมหรือมะพร้าวอ่อนในระยะที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลมะพร้าวที่มีคุณภาพดี คือน้ำมีรสหอมหวาน และเนื้ออ่อนนุ่มกำลังรับประทาน ผลมะพร้าวที่มีอายุอ่อนเกินไปน้ำจะไม่หวานและมีรสอมเปรี้ยว นอกจากนี้ยังไม่มีการสร้างเนื้ออีกด้วย ส่วนผลที่แก่เกินระยะพอเหมาะ แม้น้ำจะหวานแต่มีรสซ่า และเนื้อก็แข็งเกินไป

ผลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยว

ผลมะพร้าวที่มีคุณภาพพอเหมาะที่จะบริโภค จะมีอายุนับจากวันที่กาบหุ้มฉันทันเปิดตามธรรมชาติจนถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 200 วัน ผลมะพร้าวที่มีอายุอ่อนเกินไป แม้น้ำยังไม่มีรสหวานและไม่มีเนื้อ ก็อาจใช้บางส่วนมาประกอบอาหารได้ เช่น ผลอ่อนที่มีอายุประมาณ 155 วัน ส่วนของกะลาที่กำลังพัฒนาจะอ่อน ซึ่งทางภาคใต้เรียกว่า “เหม็งมะพร้าว” มักนิยมใช้เป็น ส่วนประกอบในการทำอาหาร ในการเก็บเกี่ยวเกษตรกรจะแบ่งผลมะพร้าวเป็น 3 ประเภท โดยดูจากความหนาของเนื้อเป็นเกณฑ์คือ

1. มะพร้าวชั้นเดียว

คือมะพร้าวที่เริ่มจะสร้างเนื้อภายในกะลา จะมีอายุหลังจากฉันทันเปิดประมาณ 170 วัน น้ำยังไม่ค่อยหวาน วัดความหวานได้ประมาณ 5.0–5.6 องศาบริกซ์ เนื้อจะมีลักษณะเป็นนูนบางๆ ประมาณครึ่งผล ไม่เหมาะในการบริโภค

2. มะพร้าวชั้นครึ่ง

มะพร้าวเริ่มสร้างเนื้อมากขึ้นจนเกือบเต็มกะลา จะมีอายุประมาณ 180–185 วัน น้ำมีความหวานประมาณ 6.0–6.6 องศาบริกซ์ บริเวณส่วนหัวของผลยังคงมีลักษณะเป็นนูนอยู่บ้าง เริ่มรับประทานได้ขึ้นกับความชอบของผู้บริโภค

3. มะพร้าวสองชั้น

มีอายุประมาณ 200–210 วัน น้ำมีความหวานประมาณ 6.6–7.0 องศาบริกซ์ มีเนื้อเต็มกะลา เนื้อหนาอ่อนนุ่ม สามารถรับประทานได้ทั้งผล ส่วนใหญ่ชาวสวนจะเก็บเกี่ยวมะพร้าวในระยะนี้ น้ำตาลในน้ำมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความแก่ของผล น้ำมะพร้าวอาจมีความหวานมากกว่า 8 องศาบริกซ์ ซึ่งถือว่าหวานจัด แต่เนื้อจะหนาเกินไปใช้ช้อนตักลำบาก นอกจากนี้ผลที่แก่มากขึ้นน้ำจะมีรสซ่า และอาจมีไขมันลอยตัวอยู่ ขนาดของมะพร้าวสองชั้นนี้จะมีเส้นรอบวงของผลทั้งเปลือกเฉลี่ย 50 เซนติเมตร เส้นรอบวงของผลปอกเปลือกเฉลี่ย 30 เซนติเมตร และมีน้ำประมาณ 450 มิลลิลิตร

ข้อสังเกตในการเก็บเกี่ยว

1. เกษตรกรที่มีความชำนาญอาจจะดูลักษณะต่างๆ ดังนี้

- สีของเปลือก มีสีเขียวไม่อ่อนหรือแก่เกินไป
- การติดผล เสียงที่ติดจะแตกต่างกันไปตามอายุ
- สีรอบกลีบเลี้ยง ของผลมะพร้าวที่อ่อนเกินไป สีของเปลือกบริเวณรอบกลีบเลี้ยงส่วนที่ติดกับขั้วผลจะเป็นแถบวงกลมสีขาวค่อนข้างกว้าง แต่ถ้ามีแถบวงนี้เพียงเล็กน้อยจะอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 3) ซึ่งจากภาพถือว่าอยู่ในขั้นเก็บเกี่ยวได้
- สังเกตหางหนู มะพร้าวที่มีอายุผลมาก จนกะลามีสีดำหางหนูจะแห้งตั้งแต่ขั้วผลไปจนจดปลาย มะพร้าวอ่อนหางหนูแห้งครึ่งหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งยังสดอยู่ วิธีนี้อาจคลาดเคลื่อนได้ในฤดูร้อนที่แดดจัดมากๆ เพราะหางหนูอาจจะแห้งก่อนกำหนด

2. สังเกตจั่นและทะเลายที่อยู่เหนือทะเลายที่ต้องการจะเก็บเกี่ยว การเรียงตัวของใบมะพร้าวจะเป็นชุดมีทั้งหมด 5 ชุดรอบต้น ซึ่งแต่ละชุดจะเรียงตัวในแนวเดียวกัน โดยทำมุมเฉียงเล็กน้อยจากโคนถึงยอด ในการเก็บเกี่ยวถ้าสังเกตจั่นและทะเลายในทางใบแต่ละชุดจะพบว่า เริ่มจากทะเลายที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว เหนือขึ้นไปจะเป็นผลอ่อนใหญ่กว่ากำปั้นเล็กน้อย และเหนือทะเลายอ่อนจะเป็นจั่นที่บ้านแล้วดอกตัวเมียเพิ่งได้รับการผสมพันธุ์ ถ้าดอกตัวเมียได้รับการผสมแล้วและติดผลอ่อนขนาดผลหมาก หรือโตกว่า เนื้อของทะเลายที่จะเก็บเกี่ยวจะค่อนข้าง

หนา แต่ถ้าจันทันบ้านยังมีดอกตัวผู้อยู่มาก และดอกตัวเมียยังไม่บาน เนื้อของทะลายที่จะเก็บเกี่ยวจะบางและเป็นวัน



ภาพที่ 3 การสังเกตความหนาของสีข้าวบริเวณรอบกลีบเลี้ยงผลมะพร้าวอ่อน

3. นับระยะเวลาเก็บเกี่ยว ต้นมะพร้าวที่สมบูรณ์และออกจันทันเสมอตลอดปี จะแทงจันทันโดยเฉลี่ยทุก 20 วัน เพราะฉะนั้นจะต้องเก็บเกี่ยวทุกๆ 20 วัน แต่วิธีนี้ในต้นมะพร้าวที่ออกจันทันไม่สม่ำเสมออาจผิดพลาดได้บ้าง

การปฏิบัติการณ์หลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน

การปฏิบัติการณ์หลังการเก็บเกี่ยวทำหลังการเก็บมะพร้าวมาจากต้น รักษาความสดและคุณภาพให้ดีที่สุดจนถึงมือของผู้บริโภค ซึ่ง ธนรัตน์ (2550) กล่าวว่า มะพร้าวอ่อนสามารถรับแรงกดได้มากกว่าแรงกระแทกถึง 67 เท่า ดังนั้นในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว การขนส่งตลอดจนกระบวนการต่าง ๆ ก่อนถึงมือผู้บริโภคต้องระมัดระวังไม่ให้มะพร้าวอ่อนถูกกระแทกจะสามารถช่วยลดความเสียหายเนื่องจากการชำได้ ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวแบ่งออกได้ดังนี้

1. การปฏิบัติการณ์ขณะเก็บเกี่ยว

ข้อควรระวังในการเก็บผลมะพร้าว คือ การชำของผล ซึ่งปกตินิยมใช้ค้อนป็นขึ้นไปเก็บผลมะพร้าว โดยทั่วไปแล้วมะพร้าวอ่อนที่พอเหมาะจะรับประทาน จะได้จากการเริ่มนับจากหลังดอกบาน 7-8 เดือน เนื้อจะนุ่ม น้ำหอมและหวาน การใช้ไม้สอยไม่เป็นที่นิยมเพราะจะทำให้มะพร้าวตกลงมากระแทกดินทำให้ผลชำ เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวโดยการใช้นิ้วขึ้นเก็บแล้วใช้เชือก

ผู้ทละลาย ใช้มีดตัดโคนจั่น ค่อย ๆ หย่อนลงพื้นผลจะไม่กระทบกระเทือน หรือการโยนลงร่องน้ำระหว่างแถวมะพร้าว หากเกิดผลซ้ำจะเน่าในเวลาต่อมา ทำให้ส่งออกไม่ได้

2. การขนส่งผลผลิตออกจากสวน

การขนย้ายผลมะพร้าวอ่อนออกจากสวน เพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อการส่งออกนั้น จะต้องมีความรวดเร็วเพื่อรักษาคุณภาพผลให้สด การขนส่งผลผลิตอาจใช้รถกระบะหรือรถบรรทุกก็ได้ แต่ระวังอย่าให้เกิดการซ้ำที่เปลือก ต้องระวังระแ่งทะเลายที่มแทงผลที่อยู่ใกล้กันจนทำให้เกิดความเสียหาย ขณะขนส่งระยะทางไกล ๆ และควรมีผ้าคลุมเพื่อป้องกันแสงแดดจัด (จริงแท้, 2537)

3. การทำความสะอาดผล

เริ่มจากการตัดผลมะพร้าวออกจากทะเลายที่ละผล คัดแยกผลไม่สมบูรณ์ หรือมีตำหนิ เป็นโรคและผลเล็กออก นำน้ำสะอาดมาล้างขจัดสิ่งสกปรก เปลี้ยหอยและเปลี้ยแบ่งออกจากผลซึ่งอาจติดมาในช่วงที่อยู่ในร่องน้ำในแปลง แล้วใช้ผ้าสะอาดเช็ดผลให้แห้ง

4. การตัดแต่งผล

มะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ต้องได้รับการตัดแต่งผลให้สวยงามได้รูปทรงตามตลาดต้องการ นิยมทำกัน 2 แบบคือ

- มะพร้าวควั่น เป็นการตัดแต่งให้มะพร้าวมีรูปทรงสวยงาม นำรับประทาน และสะดวกในการจัดวางผล ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้ (ภาพที่ 4)

(1) ปอกเฉพาะเปลือกสีเขียวออกบ้าง เป็นการปอกเปลือกอย่างหยาบ ๆ เพื่อให้สามารถฉีกเปลือกได้ง่ายเรียกว่า “การถาก” แต่อย่าถากให้ถึงกะลาจะทำให้ไม่สวยงาม และไม่สามารถตกแต่งความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

(2) ฉีกเปลือกอีกครั้ง ให้ทรงผลเป็นรูปทรงกระบอก ด้านข้างสอบลงเล็กน้อย ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกลึง” ส่วนบริเวณก้นมะพร้าวก็ทำการกลึงจนได้ยอดแหลม เพื่อสะดวกในการฉีกผลรับประทาน

(3) ตัดขั้วผลให้เสมอ เพื่อให้ผลมะพร้าวตั้งอยู่ได้ไม่ล้ม



ภาพที่ 4 ผู้ประกอบการกำลังปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

- มะพร้าวเจียร เป็นมะพร้าวที่ต้องฉีกทั้งเปลือกนอก (สีเขียว) และเปลือกในออก แล้วลอกให้ถึงกะลาเหลือเฉพาะส่วนหัวผลไว้เล็กน้อย นำไปขัดกะลาจนเรียบโดยใช้เครื่องเจียร การเจียรมะพร้าวทำให้น้ำหนักการส่งออกต่อผลเหลือเพียง 500 – 600 กรัม จากมะพร้าวควั่นปกติ 1,000 – 1,200 กรัมต่อผล ซึ่งทำให้สามารถประหยัดค่าขนส่งไปยังตลาดต่างประเทศ (หนึ่งฤทัย, 2542)



ภาพที่ 5 ผลมะพร้าวอ่อนแปรรูปในลักษณะต่างๆ

5. การรักษาสีผิวผลและการป้องกันเชื้อราบนผลมะพร้าว

เมื่อควั่นมะพร้าวได้รูปตรงตามความต้องการแล้ว หลังจากนั้นประมาณ 10 นาที จะมีสารชนิดหนึ่งซึ่งจะทำปฏิกิริยากับอากาศ ทำให้ผิวมะพร้าวกลายเป็นสีน้ำตาล (Browning reaction) ทำให้มะพร้าวไม่สวยงาม นอกจากนี้ยังมีโอกาสติดเชื้อราอีกด้วย จึงต้องแช่สารบางอย่าง (ภาพที่ 6) เช่น

- การใช้น้ำมะนาวทาผิวผลมะพร้าวควั่น ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายมาก ไม่เป็นที่นิยม
- การใช้สารส้มละลายน้ำแช่ผลมะพร้าว ซึ่งก็ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนัก
- การใช้น้ำยาขัดขาว เช่น เกลือโซเดียม หรือโปรแตสเซียม ซัลไฟท์ หรือโปรแตสเซียมไฮโปซัลไฟท์ หรือโปรแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ในการป้องกันการเปลี่ยนสีของผล และป้องกันเชื้อรา โดยใช้ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ แช่ผลนาน 3 นาที ผึ่งลมให้หมาด สามารถวางจำหน่ายได้ 4-5 วัน (ปรีชา, 2541)



ภาพที่ 6 ผลมะพร้าวอ่อนที่กำลังแช่ในถังน้ำยาขัดขาว

มะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ต้องผ่านการแช่สารป้องกันเชื้อราที่จะขึ้นบนผิวมะพร้าว ได้แก่ สาร Benzimidazole หรือ Thiabendazole ความเข้มข้นของการใช้อยู่ที่ 0.5 กรัมต่อลิตร หรือ 0.05 เปอร์เซ็นต์ แช่ผลที่ปอกเปลือกแล้วนาน 3 นาที ผึ่งลมให้แห้ง หรือนำผลที่วางเรียงกันใช้พัดลมเป่าให้แห้ง การป้องกันรักษาผิวทำไปพร้อมๆ กับการป้องกันเชื้อรา โดยใช้สารป้องกันการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีน้ำตาลผสมกับยากำจัดเชื้อรา Sodium

metabisulphite 2-3 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับ Thiabendazol 0.5 กรัมต่อลิตร แช่ผลมะพร้าวที่ปอกเปลือกแล้วนาน 3 นาที นำผึ่งลมให้แห้งผิวมะพร้าวจะขาวอยู่ได้นาน (เอกภพ, 2546)

6. การห่อหุ้มผล

นำผลมะพร้าวอ่อนที่แห้งหมาดๆ แล้วมาบรรจุลงในถุงพลาสติก มัดปากถุงให้แน่น เพื่อให้เก็บรักษาผลได้นานขึ้น ซึ่งสามารถส่งจำหน่ายภายในประเทศได้ ส่วนการส่งออกต่างประเทศนั้นจะต้องมีการห่อหุ้มผลอีกครั้งหนึ่ง คือ นำผลมาห่อด้วยฟิล์มพลาสติก ชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC Stretch film) ซึ่งเป็นฟิล์มชนิดที่ใช้ห่อหุ้มผลไม้ป้องกันการแห้งของผล และป้องกันการปนเปื้อนเชื้อราที่จะขึ้นผิวที่ปอกเปลือกออกแล้ว การทำเช่นนี้จะทำให้ผิวมะพร้าวอ่อนสวยรักษาความสดของผลมะพร้าวได้นาน และช่วยลดไอน้ำที่เกิดจากการควบแน่นระหว่างเก็บรักษา การขนส่งหรือจำหน่าย

7. การบรรจุหีบห่อ

เบญจมาศ (2550) นำผลที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งต้องมีความแข็งแรงเพื่อป้องกันการกระแทกที่จะทำให้ผลช้ำ หนึ่งกล่องบรรจุได้ 9 ผล แต่ถ้าเป็นมะพร้าวอ่อนที่ส่งไปยังประเทศสิงคโปร์ จะบรรจุลงในถุงพลาสติกใส ก่อนโดยบรรจุ 30 ผลต่อกล่อง รัดปากถุงให้แน่น แล้วบรรจุลงในกล่องโฟมอีกครั้งหนึ่ง ส่วนมะพร้าวเขียวต้องคัดเกรดตามขนาดของผล คือ 20 24 30 และ 40 ผลต่อกล่อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลตั้งแต่ 7-10 เซนติเมตร มะพร้าวเขียวสามารถบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ได้ประมาณ 40,000-50,000 ผลต่อตู้ ขณะที่มะพร้าวควั่นจัดเรียงบนตู้คอนเทนเนอร์ได้ประมาณ 27 แถว ๆ ละ 60 กล่อง บรรจุได้ประมาณ 18,000-20,000 ผล ขึ้นอยู่กับขนาดของมะพร้าวและภาชนะบรรจุ ซึ่งต้องระบุชื่อ พันธุ์มะพร้าว เกรด จำนวนผลต่อกล่อง น้ำหนักสุทธิ แหล่งผลิต ต้องระบุอุณหภูมิในการเก็บรักษา บอกรวันผลิต วันหมดอายุ

8. การเก็บรักษาและการขนส่งมะพร้าวอ่อน

มะพร้าวอ่อนที่ส่งไปยังต่างประเทศมีหลายวิธี เช่น ใส่ตู้คอนเทนเนอร์ที่ปรับอุณหภูมิได้ ขนส่งโดยรถบรรทุก ซึ่งรัฐกำหนดอัตราค่าเช่ารถ และตู้คอนเทนเนอร์สำหรับไม้ผลไม่แพงนัก หรือจะเช่าของบริษัทเอกชนก็ได้ ส่วนการขนส่งมะพร้าวอ่อนทางเครื่องบินต้นทุนสูงไม่คุ้มกับการลงทุน การขนส่งมะพร้าวอ่อนที่นิยม คือ ทางเรือ โดยการนำเอามะพร้าวที่ผ่านการบรรจุหีบห่อแล้ว มาเก็บรักษาในตู้ปรับอุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 4 สัปดาห์ อุณหภูมิต่ำกว่านี้อาจจะทำให้เกิดความเสียหายจากความเย็น (Chilling injury)

คือ เกิดเป็นจุดเล็ก ๆ สีน้ำตาลกระจายทั่วไป แล้วอาจขยายใหญ่ขึ้นจนเปลือกกลายเป็นสีน้ำตาล หากตรวจพบจะถูกตีกลับทั้งหมด และยังพบว่า ผลมะพร้าวอ่อนที่ยังติดกับทะเลสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 1 เดือน โดยที่รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง มะพร้าวเขียวเก็บที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 3 สัปดาห์ ส่วนมะพร้าวควั่นห่อหุ้มด้วยถุงพลาสติก PVC เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 3 สัปดาห์ การขนส่งมะพร้าวอ่อนทางเรือสามารถบรรทุกได้ครั้งละ 60,000-100,000 ผลต่อครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังสะดวกปลอดภัย (สุพจน์, 2543)

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ขั้นตอนการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเพื่อจำหน่ายทั้งนี้เพราะผลมะพร้าวอ่อนที่ต้องการจะต้องมีรูปทรงห้าเหลี่ยมที่สวยงาม ขนาดพอเหมาะ และจะต้องขาวสะอาดไม่มีร่องรอยบริเวณผิวของผลที่ปอก ปัจจุบันยังใช้แรงงานคนในการปอกอยู่ ซึ่งกำลังประสบปัญหาหนัก เช่น การขาดแคลนแรงงานฝีมือดี, การผลิตไม่ทันต่อความต้องการของตลาด, ความแตกต่างกันของทรงมะพร้าวในแต่ละแหล่งผลิต เป็นต้น ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนในอดีตหลายราย ดังนี้

ไชยยงค์ (2536) ได้สร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 7) ซึ่งตัวเครื่องประกอบด้วยหน่วยปอกลำตัว (ชุดใบมีด 1) และหน่วยปอกไหล่ (ชุดใบมีด 2) ทั้ง 2 หน่วยมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ชุดจับยึดลูกมะพร้าวให้แน่นและนิ่ง และชุดใบมีดซึ่งเคลื่อนที่เป็นทรงกรวยพร้อมชัก ไป-กลับด้วยอัตราชัก 4 รอบต่อการหมุนของชุดใบมีด 1 รอบ เครื่องนี้ทำงานโดยใช้แรงงานคนเพียงคนเดียวได้ ใช้เวลาในการทำงานที่หน่วยปอกลำตัวและหน่วยปอกไหล่ 54.1 และ 67.0 วินาที ตามลำดับ ลักษณะของผิวมะพร้าวที่ปอกได้มีความเรียบพอสมควร ปัญหาคือมีขุยมากในลูกที่ปอกได้ไม่สมบูรณ์ ในปี 2536 รัชนิวรรณและบุญสม สร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 8) ซึ่งตัวเครื่องประกอบด้วย ชุดใบมีดปอกข้าง และชุดใบมีดปอกบน ทั้ง 2 ชุดนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ชุดจับยึดลูกมะพร้าวให้แน่นและนิ่ง และชุดใบมีดซึ่งหมุนรอบตัวเองและหมุนไปพร้อมกับกรวย ผลการทดลองปรากฏว่า เครื่องสามารถปอกเปลือกออกได้ ประมาณ 79 % กินกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.54-0.72 กิโลวัตต์ เครื่องนี้ทำงานโดยใช้แรงงานคนเพียงคนเดียว เวลาที่ใช้ในการปอกต่อหนึ่งผลประมาณ 190 วินาที ในหนึ่งชั่วโมงจะปอกได้ประมาณ 20 ผล ปัญหาของเครื่องคือผิวที่ปอกลักษณะเป็นลูกคลื่น กว้าง 28.70 มิลลิเมตร ยาว 68.20 มิลลิเมตร ลึก 2.43 มิลลิเมตร และเป็นขุยมีความยาวเฉลี่ย 19.51 มิลลิเมตร



(ก) การปอกลำตัวผล



(ข) การปอกไหลผล

ภาพที่ 7 ลักษณะการทำงานของเครื่องปอกผลมะพร้าวอ่อน

ที่มา: ไชยรงค์ (2536)



(ก) ตัวเครื่องปอกเปลือก



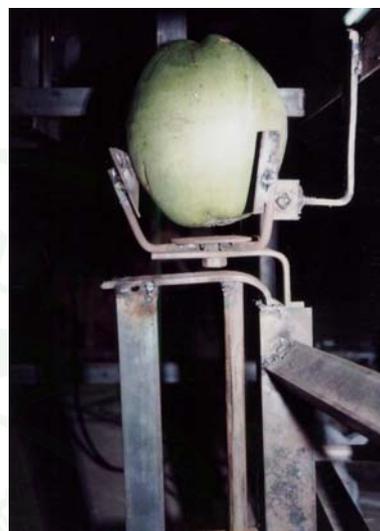
(ข) ผลมะพร้าวอ่อนที่เสียหาย

ภาพที่ 8 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ที่มา: รัชนิวรรณและบุญสม (2536)

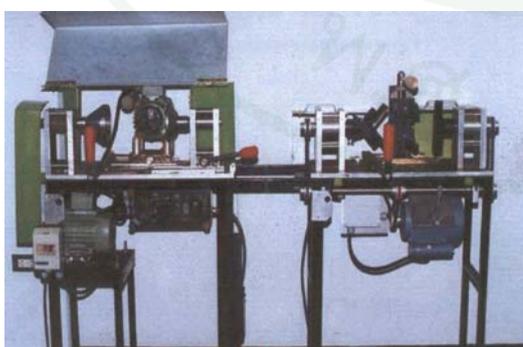
เอกชัยและสรารุช (2540) ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบ เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 9) ที่ประกอบด้วยชุดใบมีด 2 ชุด คือ ชุดใบมีดปอกให้เป็นรูปกรวย และชุดใบมีดปอกด้านข้าง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลัง และใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลัง สามารถปอกมะพร้าวอ่อนให้ได้รูปแบบที่เป็นมาตรฐานและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เฉลี่ยปอกได้ 64 วินาที/ผล คนที่ชำนาญปอกสามารถปอกมะพร้าวได้เฉลี่ย 102 วินาที/ผล โดยความเร็วรอบ

ที่เหมาะสมของเครื่องปอกคือ 420 รอบต่อนาที แต่ยังคงเกิดปัญหาตรงที่การจับผลมะพร้าวอ่อนทำให้เกิดรอยชำรุดค่อนข้างมาก



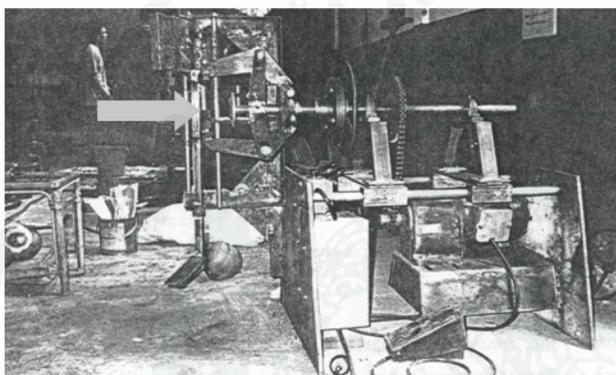
ภาพที่ 9 เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนโดย เอกชัยและสรารุช (2540)

กฤษณะและคณะ (2543) ได้ประดิษฐ์เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนซึ่งประกอบด้วย 2 เครื่อง เครื่องแรกใช้สำหรับปอกหัวท้ายลูกมะพร้าว ขณะที่เครื่องที่สองออกแบบให้ปอกด้านข้างของลูกมะพร้าว ผลการทดสอบปรากฏว่าใช้เวลาปอกเฉลี่ย 26.26 วินาที/ผล แต่ลักษณะของผลมะพร้าวที่ปอกเสร็จแล้วบางลูกจะมีขุยเกิดขึ้น เวลาที่ใช้จับลูกมะพร้าวทั้ง 2 เครื่องประมาณ 10 วินาที ดังนั้นรวมเวลาในการปอกทั้งหมด 36.26 วินาที/ผล ปัญหาคือการใช้เครื่องปอกถึง 2 เครื่องถึงจะปอกได้ผลสำเร็จ (ภาพที่ 10)

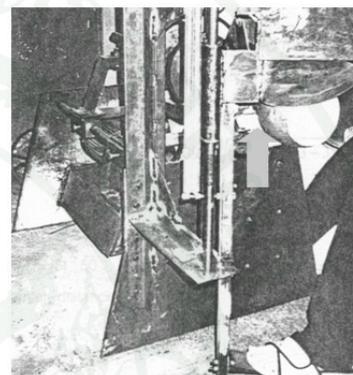


ภาพที่ 10 เครื่องปอกมะพร้าวอ่อนโดย กฤษณะและคณะ (2543)

สุวัฒน์ (2543) ได้ปรับปรุงเครื่องเฉือนเปลือกมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 11) โดยใช้มอเตอร์ขับให้ชุดจับลูกมะพร้าวหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่แทน แล้วบังคับให้ใบมีดสับขึ้นลงในแนวตั้ง ใบมีดจะทำมุมเอียงกับแนวการหมุนของลูกมะพร้าว จะได้มุมกรวยแหลม 130° ผลการทดสอบปรากฏว่าสามารถเฉือนเปลือกมะพร้าวอ่อน ใช้เวลาประมาณ 40-50 วินาที ไม่มีการประเมินประสิทธิภาพการปอกและระบุปริมาณเสี้ยนที่เหลือและเกิดปัญหาคือเครื่องไม่สามารถที่จะปอกผลมะพร้าวที่มีขนาดต่างกันได้ และเป็นการปอกเฉพาะส่วนกันผลมะพร้าวให้เป็นยอดแหลมเท่านั้น



(ก) ชุดจับผลมะพร้าว



(ข) ใบมีดสับผลมะพร้าว

ภาพที่ 11 เครื่องเฉือนเปลือกมะพร้าวอ่อนโดย สุวัฒน์ (2543)

อัครเดช (2544) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 12) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ชุดส่งกำลังใช้สายพาน B ชุดจับยึดผลมะพร้าว ชุดเลื่อนใบมีด ชุดใบมีดต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต ผลการทดสอบคือเครื่องสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้เฉลี่ย 172 ผล/ชั่วโมง แต่มีปัญหาตรงที่จะต้องนำผลมาตัดขั้วผลเอง และตัดแต่งยอดผลเนื่องจากเครื่องไม่สามารถปอกได้หมด ซึ่งปัญหานี้ได้ถูกแก้ไขโดย Jarimopas and Ruttanadat (2006) ซึ่งได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 13) ที่ประกอบด้วย 1. ชุดส่งกำลัง ได้แก่ มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 1 เฟส 50 เฮิร์ต 220 โวลท์, สายพานร่อน B, เฟลาต้นกำลัง และพูลีย์ 2. ชุดปอกผลมะพร้าว ประกอบด้วย ชุดใบมีดปอกลำตัวผล, ชุดใบมีดปอกไหล่ผล, ชุดใบมีดตัดกัน และชุดจับยึดผลมะพร้าว เครื่องสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ ≈ 21 ผล/ชม. เกิดเสี้ยนเฉลี่ย 0.19% พื้นที่เปลือกเขียวเหลืออยู่ 1.1% ผลมะพร้าวที่ถูกปอกเปลือกเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการและเกษตรกรรปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนพร้อมขายในประเทศและต่างประเทศ แต่ยังคงมีปัญหาคือความสามารถของเครื่องยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการ ซึ่งเครื่องจะเสียเวลาไปกับการติดตั้งชุดจับผลมะพร้าว ซึ่ง

ใช้เวลานาน โดยการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนทั้งหมดได้สรุปความสามารถของเครื่องและปัญหาที่เกิดขึ้นลงในตารางที่ 1

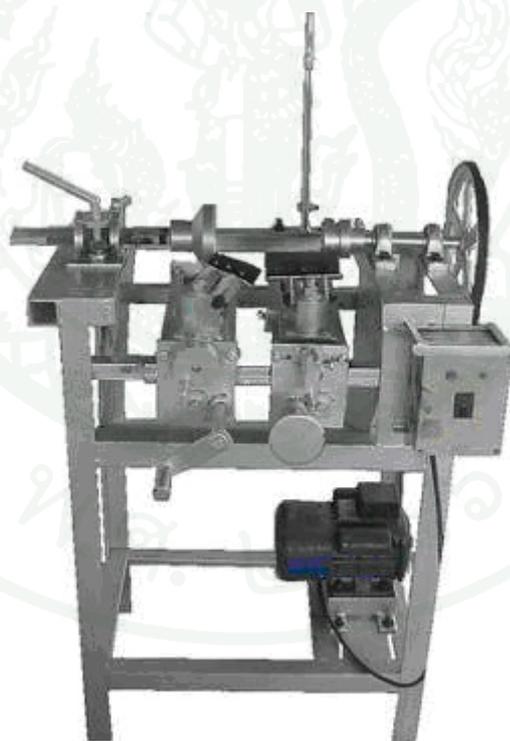


(ก) ลักษณะการทำงานของเครื่อง



(ข) ผลมะพร้าวอ่อนหลังปอก

ภาพที่ 12 เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนโดย อัครเดช (2544)



ภาพที่ 13 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนโดย Jarimopas and Ruttanadat (2006)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน	เวลาที่ใช้ปอก	ปัญหา
ไชยรงค์ (2536)	121.1 วินาที/ผล	มีขุยมากในลูกที่ปอกไม่สมบูรณ์
รัชนีวรรณและบุญสม (2536)	190 วินาที/ผล	ผิวที่ปอกลักษณะเป็นลูกคลื่นและมีขุยมาก
เอกชัยและสรารุฐ (2540)	64 วินาที/ผล	การจับผลมะพร้าวอ่อนทำให้เกิดรอยชำ และมีขุยมาก
กฤษณะและคณะ (2543)	72.52 วินาที/ผล (เวลารวม 2 เครื่อง)	มีขุยเกิดขึ้นมาก และต้องใช้เครื่องปอกเปลือก 2 เครื่อง
สุวัฒน์ (2543)	40-50 วินาที/ผล	เป็นการปอกเปลือกเฉพาะส่วนกันผล
อัครเดช (2544)	20.93 วินาที/ผล	มีส่วนของเปลือกหลงเหลือที่ขั้วผล และกันผล และต้องใช้คนปอกต่อ
Jarimopas and Ruttanadat (2006)	171.43 วินาที/ผล	ใช้เวลาในการสวมชุดจับผลนาน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เหล็กโครงสร้าง ขนาด 2 นิ้ว
2. เหล็กฉาก ขนาด 2 นิ้ว
3. เหล็กแผ่น หลายขนาด
4. มอเตอร์เบรค ขนาด 3 hp แบบ 4P 380 V
5. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 hp 380 V
6. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12/24 V ความเร็ว 110/300 rpm จำนวน 8 ตัว
7. เกียร์ทด อัตราส่วน 1 : 60
8. ชุดเฟืองโมดูล 5
9. ไบมีด
10. สายพานร่อง B ขนาด 82 นิ้ว 2 เส้น
11. พูลเลย์ ชนิด 2 ร่องคู่ แบบร่อง B ขนาด 3.5 นิ้ว และ 16 นิ้ว
12. ชุดโซ่พร้อมเฟือง 3 ชุด
13. เพลขนาด 1 นิ้ว 6 หุน 1 ท่อน และ 1 นิ้ว 2 หุน 3 ท่อน
14. กล่องควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 40x57x20 cm
15. PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Fx₀-30MT จำนวน 2 ตัว
16. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 24 V จำนวน 3 ตัว
17. Slip ring
18. ตัวจับชุดผลมะพร้าวอ่อน
19. ชุดมีดปอกลำตัวผล
20. ชุดมีดปอกไหล่ผล
21. ชุดมีดตัดขั้วผล
22. ชุดก้านต้นก้านผล
23. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
24. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม
25. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการ

ประกอบด้วยการศึกษาปัจจัยที่จำเป็นในการออกแบบ การออกแบบ การสร้าง การทดสอบ การวิเคราะห์และการประเมินผลเครื่องต้นแบบ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

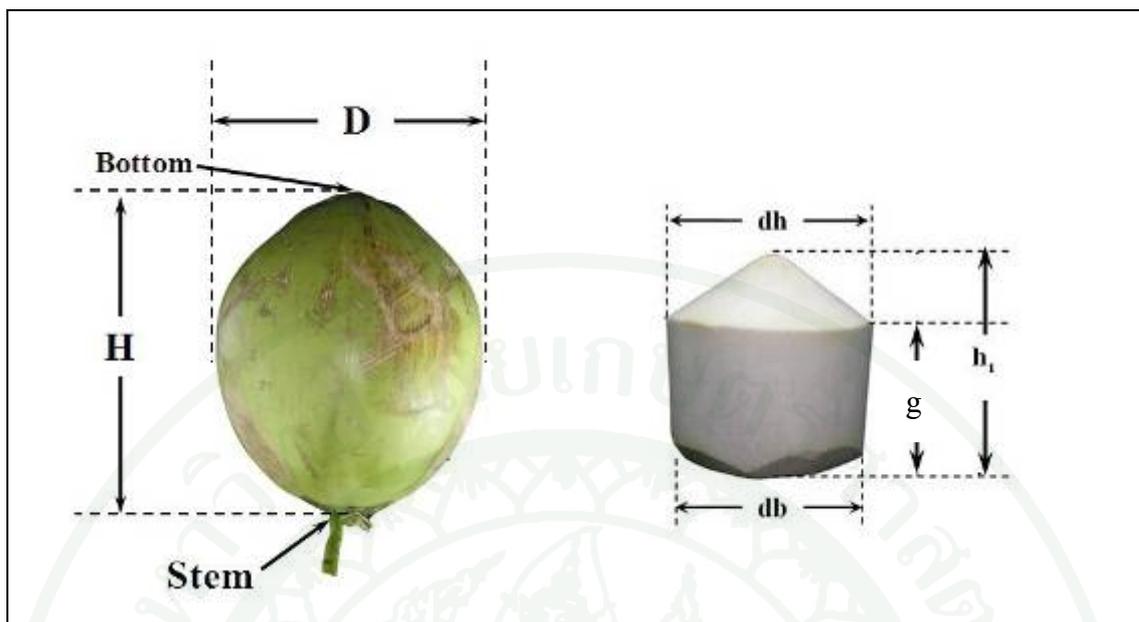
1. การหาคุณลักษณะทางกายภาพของมะพร้าวอ่อน

มะพร้าวอ่อนที่นำมาใช้ในการทดสอบ เป็นมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอม แบบก้นจีบ จากสวนมะพร้าวในอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งปลูกเป็นจำนวนมาก มะพร้าวที่นำมาทดสอบจะอยู่ในช่วงระยะหนึ่งชั้นครึ่งถึงสองชั้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมสำหรับการทำมะพร้าวปอกเปลือก และเป็นช่วงเดียวกันที่ผู้ประกอบการตัดเพื่อขายส่งทั้งในประเทศและต่างประเทศ สมบัติทางกายภาพของมะพร้าวอ่อนได้แก่

1.1 การหาขนาดเบื้องต้นของมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

การหาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น ประกอบด้วยการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด (D) ความสูง (H) โดยนำมะพร้าวไปผ่าครึ่งผลเพื่อหาตำแหน่งของกะลามะพร้าวภายในผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งมะพร้าวอ่อนที่นำมาทำการวัดค่าต่างๆ นั้นเป็นมะพร้าวที่ได้มาจากตลาดผลไม้ 3 แห่งได้แก่ ตลาดไท กรุงเทพฯ และตลาดปฐมมงคล ตลาดโอเดียน จังหวัดนครปฐม ส่วนของมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกก็มาจากแหล่งเดียวกัน โดยนำผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมาวัดขนาดความสูงของผล (h_1) ความสูงของไหลผล (g) เส้นผ่านศูนย์กลางไหลผล (dh) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล (db) (ภาพที่ 14) การผ่าครึ่งผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก เพื่อหาตำแหน่งของกะลามะพร้าว ทั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Adobe PhotoShop ช่วยในขั้นตอนของการวัดขนาดต่างๆ

ค่าที่ได้จากการวัดขนาดของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกนั้น ถูกนำไปใช้ในการออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและก้านดันก้นผลมะพร้าวอ่อนรวมถึงมูมิตในการปอกต่อไป



ภาพที่ 14 ลักษณะภายนอกของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

อุปกรณ์

1. โปรแกรม Adobe PhotoShop
2. กล้องถ่ายภาพดิจิทัลพร้อมขาตั้ง
3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
4. มะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมจาก 3 ตลาด คือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาด

โอเดียน

5. มะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจาก 3 แหล่ง คือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาด

โอเดียน

6. ไม้บรรทัด

วิธีการ

1. นำผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกในแต่ละแหล่งมาแหล่งละ 10 ผล รวม 30 ผล มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลและความสูงของผล โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

2. ใช้เลือยร่วมกับมีดขนาดใหญ่ผ่าครึ่งผลมะพร้าวอ่อนตามแนวซั้วผลกับกันผล เลือกออกมาผลละครึ่งซีก วางครึ่งซีกผลให้ระนาบที่ถูกตัดขนานกับแนวระนาบ ถ่ายภาพมะพร้าวครึ่งซีกด้วยกล้องดิจิทัล พร้อมขาตั้งกล้อง ก่อนถ่ายภาพให้หน้าไม้บรรทัดที่บอกขนาดสเกลชัดเจน วางทาบบนผลมะพร้าวอ่อน

3. ใช้โปรแกรม Adobe PhotoShop หาระยะต่างๆ ของผลมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกตามที่ต้องการ โดยใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า Measure tool (I) ซึ่งมีลักษณะคล้ายไม้บรรทัดลากหาขนาดของสเกลของไม้บรรทัดในภาพ เทียบกับขนาดจริงของไม้บรรทัด เมื่อได้อัตราส่วนแล้วก็ใช้อุปกรณ์เดียวกันนี้หาระยะต่างๆ ที่ต้องการดังมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 15)

สำหรับผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 16 ก)

H =	ความสูงของผลมะพร้าวอ่อนวัดในแนวตั้งที่ผ่านซั้วผล
h =	ความสูงของกะลามะพร้าววัดในแนวตั้งที่ผ่านซั้วผล
D =	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของผลมะพร้าวอ่อนในแนวตั้งฉากกับแนวตั้ง
d =	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของกะลามะพร้าวในแนวตั้งฉากกับแนวตั้ง
b_1 =	ระยะจากซั้วผลจนถึงผิวกะลามะพร้าวในแกนแนวตั้ง
b_2 =	ระยะจากก้นมะพร้าวถึงผิวกะลามะพร้าวในแกนแนวตั้ง
a_1 =	ระยะจากขอบผิวเปลือกด้านซ้ายของผลมะพร้าวถึงผิวกะลามะพร้าว
ตามแนวระนาบ	
a_2 =	ระยะจากขอบผิวเปลือกด้านขวาของผลมะพร้าวถึงผิวกะลามะพร้าว
ตามแนวระนาบ	

สำหรับมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก (ภาพที่ 16 ข)

h_1 =	ความสูงของมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก
h =	ความสูงของกะลามะพร้าว
d =	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของกะลามะพร้าว
g_1 =	ความสูงจากฐานผลถึงไหล่ผลด้านซ้าย
g_2 =	ความสูงจากฐานผลถึงไหล่ผลด้านขวา
dh =	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล
db =	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล

j_1 = ระยะจากยอดผลถึงกะลาตามแนวตั้ง
 j_2 = ระยะจากฐานผลถึงกะลาตามแนวตั้ง
 k_1 = ระยะจากไหล่ผลถึงกะลาตามแนวระนาบด้านซ้าย
 k_2 = ระยะจากไหล่ผลถึงกะลาตามแนวระนาบด้านขวา
 l_1 = ระยะที่แคบที่สุดในแนวระนาบระหว่างขอบเปลือกมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับกะลามะพร้าวทางด้านซ้าย

l_2 = ระยะที่แคบที่สุดในแนวระนาบระหว่างขอบเปลือกมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับกะลามะพร้าวทางด้านขวา

m_1 = ระยะห่างระหว่างยอดมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับไหล่มะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ตามแนวการปอกไหล่ ด้านซ้าย

m_2 = ระยะห่างระหว่างยอดมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับไหล่มะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ตามแนวการปอกไหล่ ด้านขวา

n_1 = ระยะห่างระหว่างไหล่มะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับฐานผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ตามแนวการปอกลำตัว ด้านซ้าย

n_2 = ระยะห่างระหว่างไหล่มะพร้าวอ่อนปอกเปลือกกับฐานผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ตามแนวการปอกลำตัว ด้านขวา

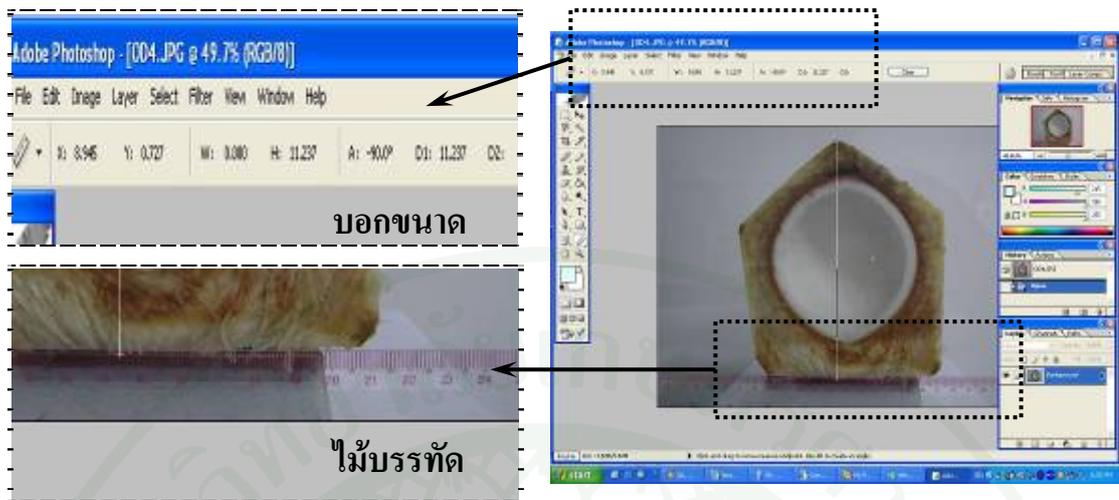
γ = มุมไหล่ผล คือมุม AEB หรือมุม ABE

β = มุมฐานผล คือมุม 180-BCD หรือ 180-EDC

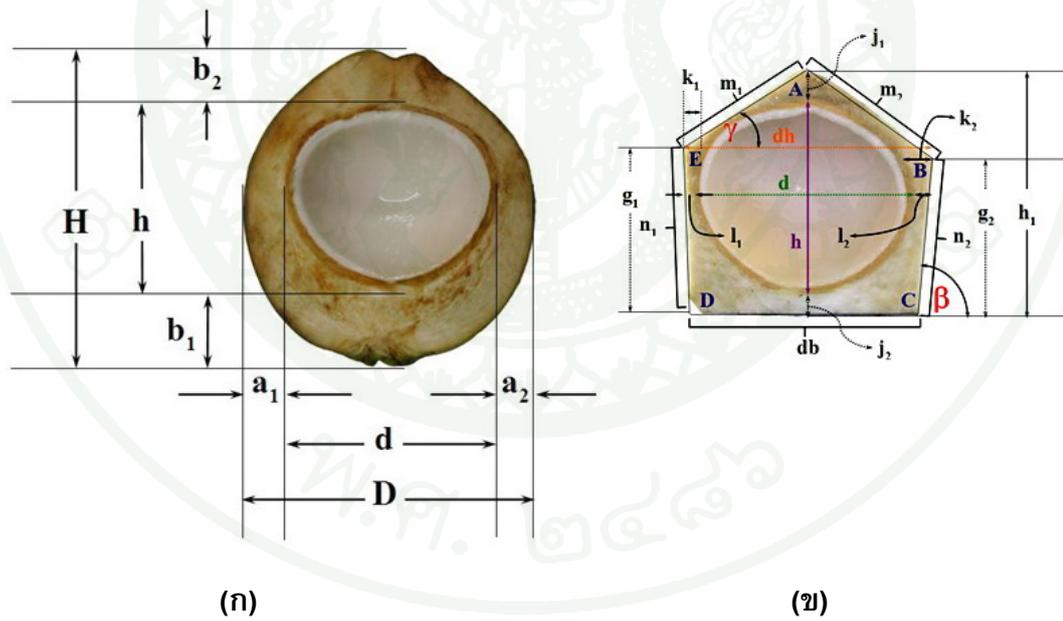
หมายเหตุ

ค่า g_1 และ g_2 นำมาเฉลี่ยได้เป็นค่าความสูงไหล่ผลคือ g และหาค่าเฉลี่ยระหว่าง k_1-k_2 , l_1-l_2 , m_1-m_2 และ n_1-n_2

4. นำค่าระยะต่างๆ ที่วัดได้มาสร้างโมเดลจำลองของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเพื่อตั้งเป็นขนาดสำหรับอ้างอิง และจะทำให้ง่ายต่อการออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน โดยใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบ



ภาพที่ 15 การใช้โปรแกรม Adobe PhotoShop ช่วยในการหาระยะ



ภาพที่ 16 ระยะต่างๆ ที่ทำการวัดขนาดของผลมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

1.2 การศึกษาค่าการกระจายตัวของขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของผลมะพร้าวอ่อน

ทำได้โดยการหาขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของผลมะพร้าวอ่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ โดยใช้มะพร้าวอ่อนจำนวน 370 ผล ซึ่งเป็นมะพร้าวอ่อนที่ได้จากสวนอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร และจากตลาดค้าส่งผลมะพร้าวอ่อนที่สำคัญในจังหวัดนครปฐม คือตลาดปฐมมงคล ทั้งนี้เพื่อแบ่งกลุ่มผลมะพร้าวอ่อนออกเป็นขนาด เล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อใช้สำหรับการออกแบบและกำหนดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของชุดมีดปอกเปลือก ในสถานีปอกต่างๆ

อุปกรณ์

1. มะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอม คละขนาด 370 ผล
2. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
3. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม

วิธีการ

1. ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อน แล้วชั่งน้ำหนักผล
2. หาค่าการกระจายตัวของผลมะพร้าวอ่อนโดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows ทำการประมวลผลการกระจายตัวเพื่อกำหนดกลุ่มในการทดสอบ

2. การออกแบบและการคำนวณแบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

การออกแบบใช้หลักการของเครื่องกลึงโลหะ คือวัสดุหมุนแล้วปรับเลื่อนใบมีดเข้าไปปอก โดยเครื่องจะถูกแบ่งออกเป็น 3 สถานีหลักๆ คือ 1) สถานีปอกลำตัวผล 2) สถานีปอกไหล่ผล และ 3) สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออก และตัดขั้วผล (ภาพที่ 17) ผลมะพร้าวอ่อนถูกออกแบบให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมเพื่อลำเลียงผลมะพร้าวอ่อนให้เคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆ ผลมะพร้าวถูกป้อนเข้าที่สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล และจะหมุนต่อไปที่สถานีปอกลำตัวผล จากนั้นไปยังสถานีปอกไหล่ผล และจะจบลงเมื่อผลมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วถูกนำ

กลับมามีผลที่สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล ซึ่งเป็นการเดินทางตามแนวเส้นรอบวงของวงกลมรอบแกนเพลาลูก

แนวความคิดในการออกแบบ

1. การออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อน โดยให้สามารถจับผลมะพร้าวอ่อนหลังจากการปอกลำตัวได้ทุกขนาด และตัวชุดจับไม่ทำให้ผลมะพร้าวอ่อนเกิดความเสียหายเนื่องจากรอยขีดข่วน โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการหาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ลักษณะของชุดจับเมื่อหุบจะมีลักษณะเป็นทรงกรวยตัด ภายในบุด้วยฟองน้ำกันกระแทก สามารถกางออกได้เป็น 3 ฝ่าเท้ากัน

2. การออกแบบชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน การขับเคลื่อนอาศัยกำลังจาก DC มอเตอร์ขนาด 24 V ขับหมุนปลอกทองเหลืองที่สวมกับเพลากลียว ซึ่งจะทำให้เพลากลียวเคลื่อนที่ขึ้น-ลง โดยที่ปลายของเพลากลียวถูกสวมด้วยกรวยติดลูกปืนให้สามารถหมุนรอบตัวเองได้ (ตามการหมุนของผลมะพร้าว) โดยมุมภายในของกรวยก็ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

3. การออกแบบสถานีปอกลำตัวผล ออกแบบให้มีการเคลื่อนที่ใน 2 ทิศทาง ส่วนแรกคือตัวโครงที่ติดตั้งชุดใบมีด (FS101) ซึ่งจะเคลื่อนที่เข้าหาและเคลื่อนที่ออกจากแกนของเพลาลูก ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของชุดมีดซึ่งเคลื่อนที่อยู่บนรางเลื่อน ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นการเคลื่อนที่ ซ้าย-ขวา ทั้งนี้ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน 2 ตัวซึ่งเป็น DC มอเตอร์ ตัวแรกควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวโครงที่ติดตั้งชุดใบมีด อีกตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดมีด มุมเอียงของใบมีดจะใช้มุม β ที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ส่วนมุมเอียงของมีด (α) จะใช้มุมเดียวกับ Jarimopas and Ruttanadat (2006) คือ 61 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้เกิดเสี้ยนน้อยที่สุด

4. การออกแบบสถานีปอกไหล่ผล ออกแบบลักษณะเดียวกันกับสถานีปอกลำตัว ต่างกันที่มุมเอียงของมีด ซึ่งจะใช้มุม γ ซึ่งได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

5. การออกแบบสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล สถานีนี้มีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวคือ การเคลื่อนที่ของตัวโครงติดตั้งใบมีด (FS103) ในลักษณะการเคลื่อนที่เข้า-ออก

ใบมีดถูกวางในแนวระนาบ โดยหันคมมีดเข้าหาแกนเพลลาหลัก ขับเคลื่อนโดย DC มอเตอร์ เพียงตัวเดียว

6. การออกแบบฐานหมุนเปลี่ยนสถานี ส่วนของฐานหมุนเปลี่ยนสถานีถูกกำหนดให้ หมุนรอบตัวเองเป็นวงกลม โดยมีเพลลาหลักเป็นศูนย์กลาง ซึ่งฐานหมุนเปลี่ยนสถานีได้ติดตั้ง เพลลาขับ จำนวน 3 แท่ง เพื่อหมุนผลมะพร้าวอ่อนที่อยู่ในชุดจับผลมะพร้าวอ่อน 3 อัน ในแต่ละ รอบของการทำงาน ตัวฐานหมุนเปลี่ยนสถานีนี้ขับเคลื่อนให้หมุนโดยใช้กำลังจากมอเตอร์เบรค (MF101) ขับผ่านเกียร์ทดขนาด 1:60 และเฟืองตรง

7. การออกแบบสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring) ออกแบบโดยใช้ท่อพีวีซี มาดัดแปลงเป็นปลอกสวม 2 ชั้น ชั้นในมีแหวนทองเหลืองจำนวน 14 วง สวมยึดแน่นติดอยู่ ระยะห่างเท่าๆ กัน ส่วนท่อพีวีซีชั้นนอกจะเจาะรูตามระยะห่างของแหวนทองเหลืองของพีวีซี ชั้นใน เพื่อสอดแปรงถ่านให้สัมผัสกับแหวนทองเหลืองบนท่อพีวีซีชั้นในทำให้กระแสไฟฟ้า สามารถส่งผ่านถึงกันได้ โดยที่พีวีซีวงในนั้นจะถูกยึดติดและหมุนไปพร้อมๆ กับฐานหมุนเปลี่ยน สถานี ส่วนท่อพีวีซีวงนอกจะถูกยึดติดกับโครงเครื่อง

8. การออกแบบการควบคุม เครื่องจะถูกควบคุมด้วย PLC 2 ตัว รุ่น MITSUBISHI Fx₀-30MT ซึ่งตัวแรกจะควบคุมในส่วนของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนสถานีปอกต่างๆ อีกตัวจะควบคุม ในส่วนของอุปกรณ์ที่ติดอยู่บนก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละชุด

3. โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

คำอธิบายสัญลักษณ์ ต่างๆ

ส่วนของโครงสร้างและอุปกรณ์

S100	=	สถานีปอกลำตัวผล
S200	=	สถานีปอกไหล่ผล
S300	=	สถานีป้อนเข้า-ถ่ายออกและตัดขั้วผล
F100	=	ตัวโครง
F200	=	ฐานหมุนเปลี่ยนสถานี
F301	=	ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No. 1
F302	=	ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No. 2

- F303 = ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No. 3
 F401 = ชุดก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1
 F402 = ชุดก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2
 F403 = ชุดก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3
 F500 = ชุดสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring)
 FS101 = โครงของชุดมีดปอกลำตัวผล
 FS102 = โครงของชุดมีดปอกไหล่ผล
 FS103 = โครงของมีดตัดขั้วผล

ส่วนของมอเตอร์

- MF101 = มอเตอร์เบรค 3 แรงม้า
 MF102 = มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 3 แรงม้า
 MF401 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No. 1
 MF402 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No. 2
 MF403 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของก้านดันทันกันผลมะพร้าวอ่อน No. 3
 MS101 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมการเคลื่อนที่โครงของชุดมีดปอกลำตัวผล (เข้า-ออก)
 MS102 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมการเคลื่อนที่ของมีดปอกลำตัวผล (ซ้าย-ขวา)
 MS201 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมการเคลื่อนที่โครงของชุดมีดปอกไหล่ผล (เข้า-ออก)
 MS202 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมการเคลื่อนที่ของมีดปอกไหล่ผล (ซ้าย-ขวา)

MS301 = มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมการเคลื่อนที่โครงของชุดมีดตัดข้าวผล
(เข้า-ออก)

ส่วนของ Limit switch

LS101 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าของโครงมีดปกกล้าตัว
ผล

LS102 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ออกของโครงมีดปกกล้าตัว
ผล

LS103 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าปกของมีดปกกล้าตัว
ผล (ซ้าย)

LS104 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ออกของมีดปกกล้าตัวผล
(ขวา)

LS201 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าของโครงมีดปกไหล่ผล

LS202 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ออกของโครงมีดปกไหล่
ผล

LS203 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าปกของมีดปกไหล่ผล
(ซ้าย)

LS204 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ออกของมีดปกไหล่ผล
(ขวา)

LS301 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าของโครงมีดตัดข้าวผล

LS302 = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ออกของโครงมีดตัดข้าวผล

LF101 = Limit switch เพื่อควบคุมการหมุนของฐานหมุนเปลี่ยนสถานี

LF401a = Limit switch เพื่อควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่ขึ้นของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 1

LF401b = Limit switch เพื่อควบคุมระยะการเคลื่อนที่ลงของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 1

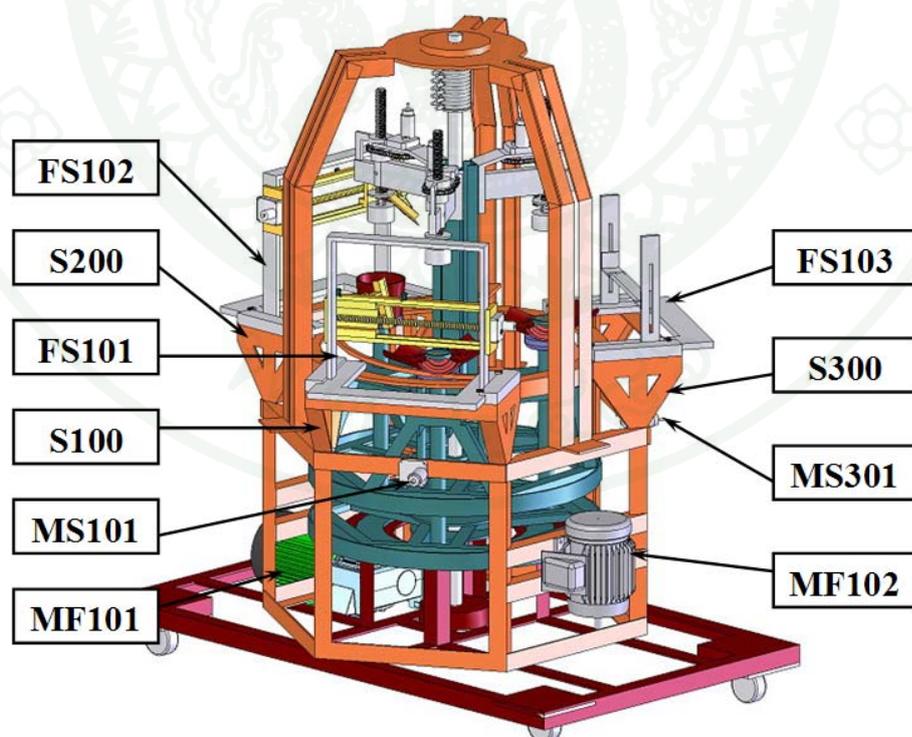
LF402a = Limit switch เพื่อควบคุมระยะการเคลื่อนที่ขึ้นของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 2

LF402b = Limit switch เพื่อควบคุมระยะการเคลื่อนที่ลงของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 2

LF403a = Limit switch เพื่อควบคุมระยะการเคลื่อนที่ขึ้นของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 3

LF403b = Limit switch เพื่อควบคุมระยะการเคลื่อนที่ลงของก้านดันกันผล
มะพร้าวอ่อน No. 3

3.1 โครงสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 17 แบบจำลองเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

โครงสร้าง

ตัวโครง (ภาพที่ 18) เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ ทำจากเหล็กฉากมาตรฐานขนาด 2 นิ้ว ประกอบเป็นโครงสร้างรูปทรงหกเหลี่ยม มีรัศมีวงกลมภายใน 45 เซนติเมตร และมีความสูงจากฐาน 80 เซนติเมตร สำหรับเป็นที่ติดตั้ง มอเตอร์ MF101, MF102, MS101, MS201 และ MS301 ซึ่งโครงสร้างนี้จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน สำหรับ 3 สถานี คือ สถานีปอกลำตัวผล (S100) สถานีปอกไหล่ผล (S200) และสถานีป้อนเข้า-ถ่ายออกและตัดหัวผล (S300) แต่ละส่วนสร้างเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร ยื่นออกมา ซึ่งมีไว้สำหรับติดตั้ง โครงสถานีปอก ทั้ง 2 สถานี และอีก 1 สถานี สำหรับตัดหัวผลมะพร้าวอ่อน (FS101, FS102 และ FS103) และยังมีเสาจำนวน 3 เสา ยื่นขึ้นมาเพื่อติดตั้งตุ้กดึงสำหรับสวมกับเพลาลูก ซึ่งเพลาลูกที่รับกำลังมาจากมอเตอร์ MF102 และถ่ายทอดกำลังต่อไปยังเพลาลูกที่มีชุดจับผลมะพร้าวอ่อนสวมอยู่ปลายด้านบนทั้ง 3 เพลาลูกด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ซึ่งตุ้กดึงรับเพลาลูกนี้อยู่สูงจากฐาน 160 เซนติเมตร



ภาพที่ 18 แบบจำลองตัวโครงเครื่อง

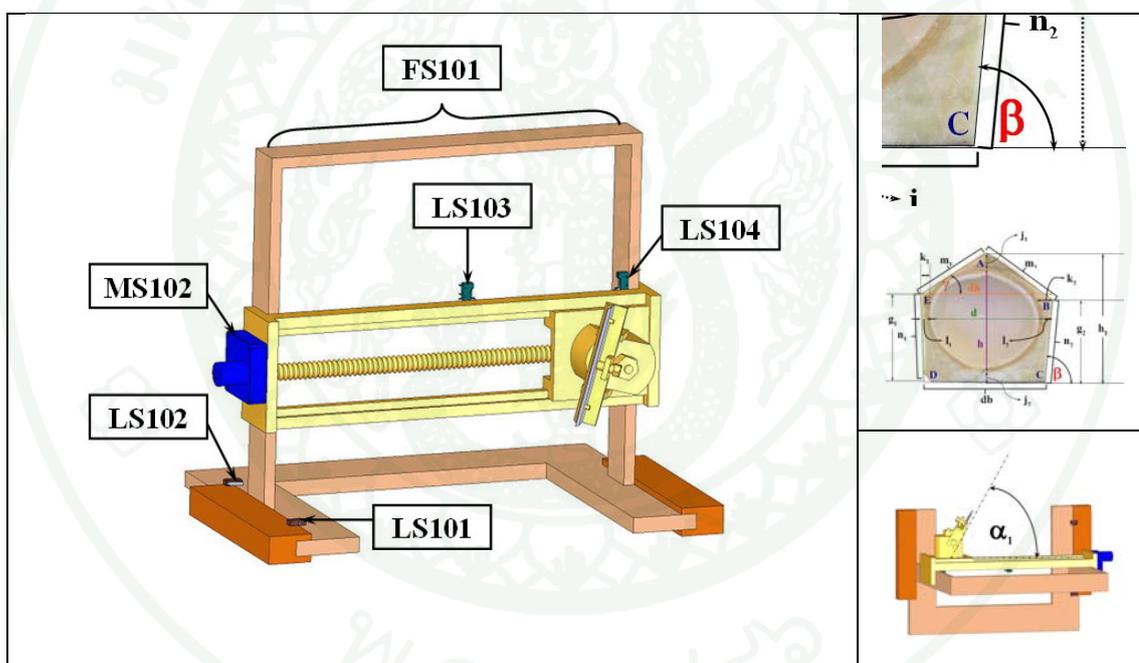
ในช่วงการเปลี่ยนสถานีปอกจากปอกลำตัวผลไปสถานีปอกไหล่ผลมีสะพานลูกเบี้ยว ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนโค้งไล่ระดับความสูงจากระดับระนาบฐานของสถานีปอกและยกสูงขึ้นไป 5 เซนติเมตร โดยเริ่มจากสถานีปอกลำตัวผลและไปสิ้นสุดที่ปลายของสถานีปอกไหล่ผลเพื่อ

บังคับให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่อยู่ในช่วงสะพานลูกเบี้ยวนี้หุบเข้าหากัน โดยใช้เทคนิคทางกล คือสะพานลูกเบี้ยวดันให้ลูกปืนที่อยู่ด้านล่างของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนแต่ละชุด (F301, F302 และ F303) ดันให้ฝาของชุดจับทั้ง 3 ฝาหุบเข้าหากัน และคลายออกเมื่อฐานหมุนเปลี่ยนสถานะ หมุนให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนชุดนั้นหลุดพ้นจากสะพานลูกเบี้ยว

ในส่วนของพื้นรองรับด้านล่างทำจากเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว กว้าง 100 เซนติเมตร และ ยาว 170 เซนติเมตร

ส่วนประกอบ

แบ่งออกเป็น 9 ส่วนดังมีรายละเอียดดังนี้คือ

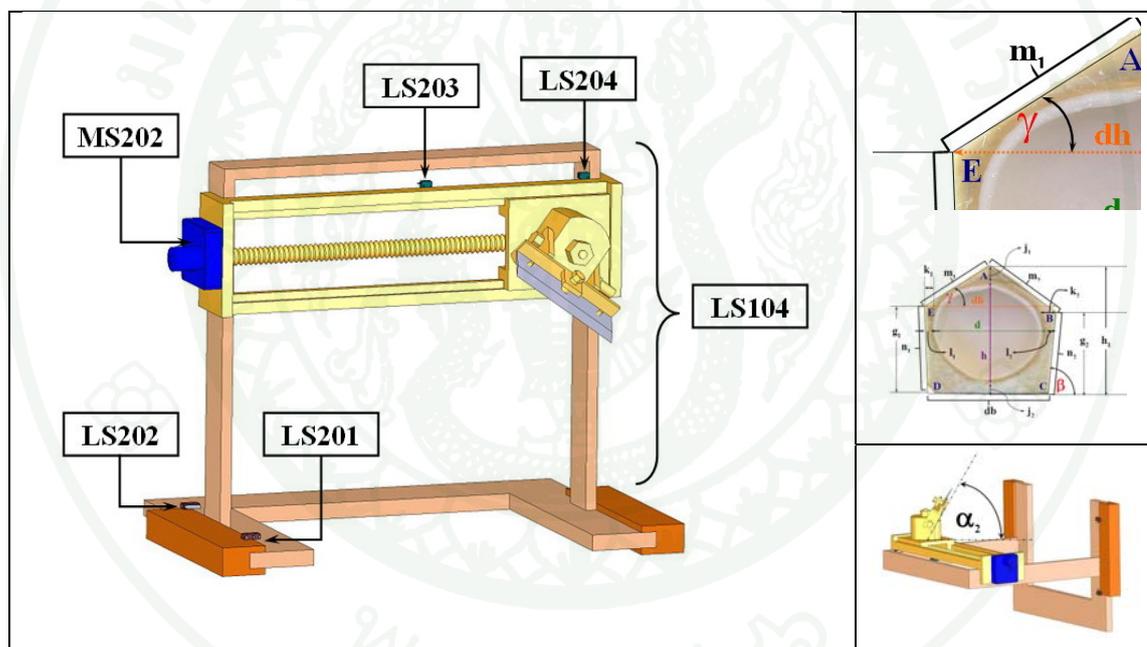


ภาพที่ 19 แบบจำลองสถานีปอกลำตัวผล และการตั้งค่ามุมมิตด้วยมุม β และ α_1

สถานีปอกลำตัวผล (ภาพที่ 19)

ทำหน้าที่ปอกผลมะพร้าวอ่อนในส่วนลำตัวผล สถานีประกอบด้วยโครงของชุดมิตปอก ลำตัวผล (FS101) ซึ่งติดตั้งอยู่กับรางเลื่อนที่อยู่บนฐานสถานีปอกลำตัวผล ที่รางเลื่อนนี้มี Limit switch 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมระยะการเคลื่อนที่เข้าและออกของโครงชุดมิตปอกลำตัวผลคือ LS101 และ LS102 ตามลำดับ ที่โครงของชุดมิตปอกลำตัวผลมีรางเลื่อนติดตั้งอยู่ชุดหนึ่ง ซึ่ง

มีชุดใบมีดปกเกล้าตัววางทำมุม β และ α_1 ซึ่งเป็นมุมเอียงและมุมเงยของใบมีดปกเกล้าตัวตามลำดับ ตัวชุดมีดนี้เคลื่อนที่ในทิศทางซ้าย-ขวา และจะมี Limit switch 2 ตัวควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่คือ LS103 ควบคุมการเคลื่อนที่เข้าปกเกล้าซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของรางเลื่อน อีกตัวคือ LS104 ถูกติดตั้งบริเวณจุดเริ่มต้นก่อนเข้าปกเกล้าของชุดมีดปกเกล้าตัว บริเวณด้านขวา การเคลื่อนที่ของโครงของชุดมีดปกเกล้าตัวผล และการเคลื่อนที่ของชุดมีดบนรางเลื่อน ขับเคลื่อนโดยรับกำลังจาก DC มอเตอร์ ขนาด 12/24 V ความเร็วรอบ 110/300 รอบต่อนาที สำหรับขับเคลื่อนโครงของชุดมีดปกเกล้าตัวเข้า-ออกคือมอเตอร์ MS101 ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวโครงของเครื่องปกเกล้า และสำหรับขับเคลื่อนชุดมีดปกเกล้าตัวซ้าย-ขวาคือ MS102 โดยส่งกำลังผ่านเฟืองเกียร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 หุน หมุนให้อุปกรณ์ปกเกล้าตั้งกล่าวเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ต้องการ ในส่วนของใบมีดที่ใช้ปกเกล้าตัวทำจากเหล็กกล้าขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร และยาว 13 เซนติเมตร คมมีดเป็นคมแบบลับด้านเดียว

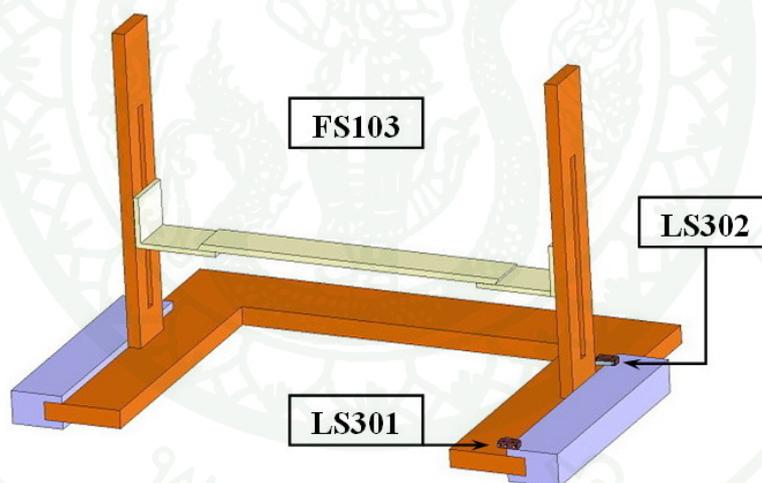


ภาพที่ 20 แบบจำลองสถานีปกเกล้าผล และการตั้งค่ามุมมีดด้วยมุม γ และ α_2

สถานีปกเกล้าผล (ภาพที่ 20)

มีหน้าที่ปกเกล้าผลมะพร้าวอ่อนในส่วนก้นผลมะพร้าวอ่อนให้ได้ยอดแหลม ประกอบด้วยโครงของชุดมีดปกเกล้าผล (FS102) ซึ่งติดตั้งอยู่กับรางเลื่อนที่อยู่บนฐานสถานีปกเกล้าผล รางเลื่อนนี้มี Limit switch 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมระยะเวลาเคลื่อนที่เข้าและออกของโครงชุดมีดปกเกล้าผล คล้ายกันกับสถานีปกเกล้าตัวผลคือ LS201 และ LS202 ตามลำดับ ที่โครงของชุด

มีดปอกไหล้ผลมีรางเลื่อนติดตั้งอยู่ชุดหนึ่งเช่นเดียวกับสถานีปอกลำตัวผล แต่จะอยู่สูงกว่า ซึ่งมีชุดใบมีดปอกไหล้ว่างทำมุม γ และ α_2 ซึ่งเป็นมุมเอียงและมุมเงยของใบมีดปอกไหล้ผลตามลำดับ ตัวชุดมีดนี้เคลื่อนที่ในทิศทางซ้าย-ขวา ซึ่งมี Limit switch 2 ตัวควบคุมระยะการเคลื่อนที่คือ LS203 ควบคุมการเคลื่อนที่เข้าปอกซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของรางเลื่อน อีกตัวคือ LS204 ถูกติดตั้งบริเวณจุดเริ่มต้นก่อนเข้าปอกของชุดมีดปอกไหล้ผล บริเวณด้านขวา การเคลื่อนที่ของโครงของชุดมีดปอกไหล้ผล และการเคลื่อนที่ของชุดมีดปอกไหล้บนรางเลื่อนขับเคลื่อนโดยรับกำลังจาก DC มอเตอร์ ขนาด 12/24 V ความเร็วรอบ 110/300 รอบต่อนาที เช่นเดียวกับสถานีปอกลำตัวผล สำหรับขับเคลื่อนโครงของชุดมีดปอกไหล้เข้า-ออกคือ มอเตอร์ MS201 ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวโครงของเครื่องปอกเปลือกและสำหรับขับเคลื่อนชุดมีดปอกไหล้ผลซ้าย-ขวาคือ MS202 โดยส่งกำลังผ่านเฟืองเกลิยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 หุน หมุนให้อุปกรณ์ปอกดังกล่าวเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ต้องการ ในส่วนของใบมีดที่ใช้ปอกไหล้ทำจากเหล็กกล้าขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร และยาว 13 เซนติเมตร คมมีดเป็นคมแบบลับด้านเดียว เหมือนกับใบมีดปอกลำตัวผล

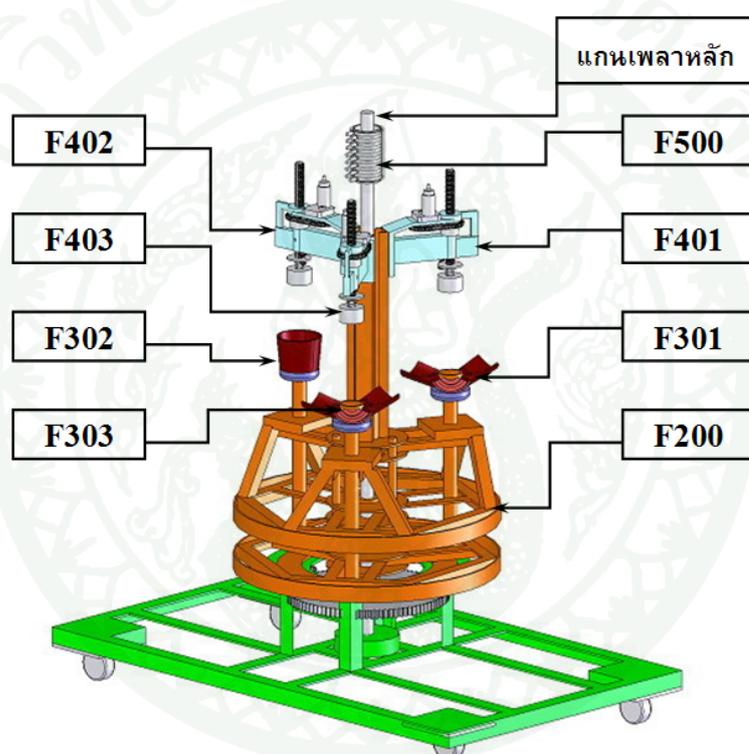


ภาพที่ 21 แบบจำลองสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล

สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล (ภาพที่ 21)

ทำหน้าที่ตัดขั้วผลมะพร้าวอ่อน และเป็นสถานีที่ใช้สำหรับป้อนผลมะพร้าวอ่อนเข้าปอก และนำผลมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปอกเปลือกออกจากเครื่อง ซึ่งทั้งสามขั้นตอนจะรวมอยู่ในสถานีเดียวกัน โดยที่สถานีนี้จะมีลักษณะคล้ายกับสถานีปอกลำตัวผล และไหล้ผล แต่จะไม่มีรางเลื่อน ซ้าย-ขวา ติดตั้งบนโครงของชุดมีดตัดขั้วผล (FS103) แต่จะมีใบมีดตัดขั้วติดตั้งแทนที่ ซึ่ง

ดัดแปลงมาจากมิตที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมีขนาด 5 x 30 cm นำมาตัดด้ามออก โดยมีดจะวางหันเข้าหาชุดจับผลมะพร้าวอ่อน และมี Limit switch 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมระยะการเคลื่อนที่เข้าและออกของโครงชุดมิตตัดขั้วผล คือ LS301 และ LS302 ตามลำดับ การเคลื่อนที่ของโครงของชุดมิตตัดขั้วผล ขับเคลื่อนโดยได้รับกำลังจาก DC มอเตอร์ ขนาด 12/24 V ความเร็วรอบ 110/300 รอบต่อนาที เช่นกัน สำหรับการขับเคลื่อนโครงของชุดมิตตัดขั้วผล เข้า-ออกใช้มอเตอร์ MS301 โดยส่งกำลังผ่านเฟืองเกลิยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 หุน หมุนให้มิตตัดขั้วเคลื่อนที่ ไปมิตสแตนเลสมีขนาดยาว 30 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร

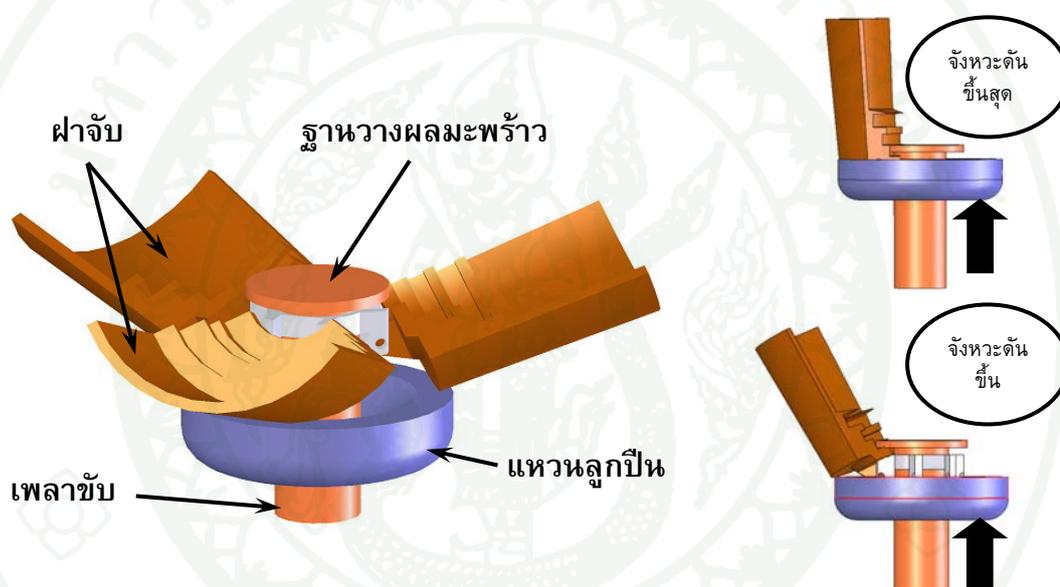


ภาพที่ 22 แบบจำลองฐานหมุนเปลี่ยนสถานี

ฐานหมุนเปลี่ยนสถานี (ภาพที่ 22)

มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง 55 เซนติเมตร แบ่งพื้นที่หน้าตัดเป็นสามส่วนเท่าๆกัน ในแต่ละส่วนจะมีเพลาชับติดตั้งอยู่ รวม 3 แท่ง ซึ่งปลายเพลาแต่ละแท่งจะมีชุดจับผลมะพร้าวอ่อน (F301, F302 และ F303) สวมอยู่ ทำหน้าที่ขับให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เพื่อทำการปอกและตัดขั้วผลมะพร้าวอ่อน โดยเพลาชับมีขนาด 1 ½ นิ้ว ถูกถ่ายทอดกำลังมาจากเพลาลูก ซึ่งรับกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า (MF102) ฐาน

หมุนจะหมุนโดยใช้เฟืองในการถ่ายทอดกำลัง เป็นตัวขับเคลื่อนอยู่ด้านล่างที่ส่งกำลังจากมอเตอร์เบรค (MF101) ซึ่งจะหมุนแยกต่างหากกับเพลาลูกและเพลาชับ โดยฐานหมุนเปลี่ยนสถานะจะหมุนที่ความเร็ว 8.8 รอบต่อนาที ส่วนด้านบนของฐานหมุนเปลี่ยนสถานะนี้มีชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน (F401, F402 และ F403) ติดตั้งให้กรวยดันกันผลมะพร้าวอ่อนอยู่ในตำแหน่งแนวแกนเดียวกันกับชุดจับผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละชุด และจะหมุนเปลี่ยนสถานะไปพร้อมๆ กัน ในส่วนของการทำงานของมอเตอร์ MF101 จะเริ่มทำงานเมื่อผู้ควบคุมเครื่องกดสวิทช์เดินเครื่อง และจะหยุดทำงานเมื่อฐานหมุนเปลี่ยนสถานะหมุนไปสัมผัสกับ Limit switch LF101 ส่วนมอเตอร์ MF102 จะเริ่มทำงานพร้อมกับ MF101 แต่จะหยุดการทำงานเมื่อ Limit switch LS203 ซึ่งอยู่ที่รางเลื่อนบนโครงของชุดมีดปอกไหล่ ถูกสัมผัส

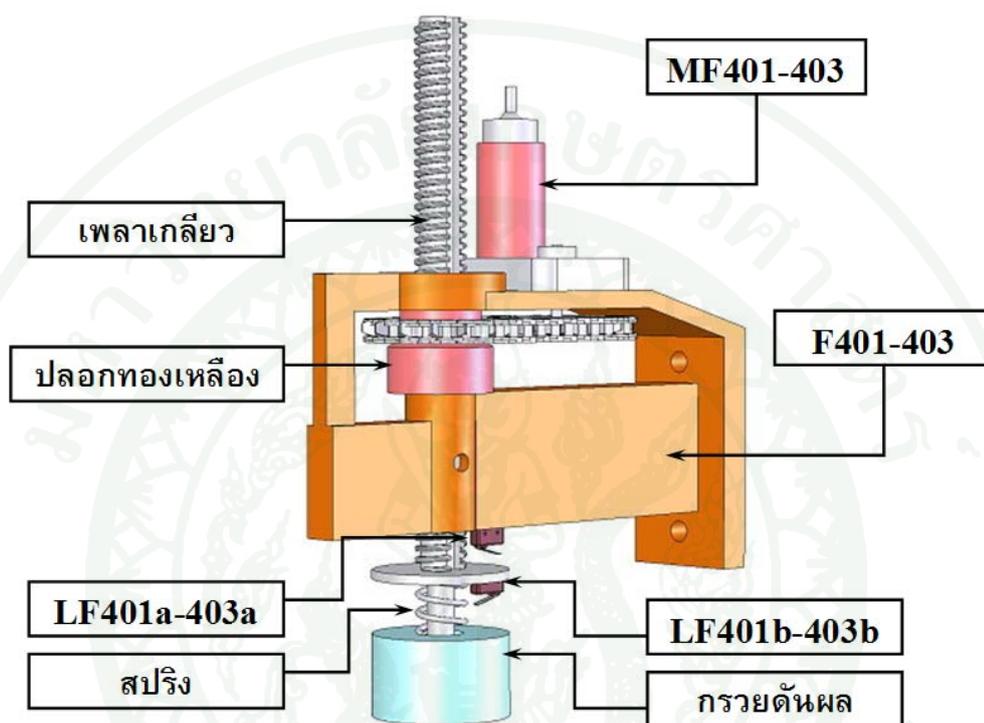


ภาพที่ 23 แบบจำลองชุดจับผลมะพร้าวอ่อน และจิงหะการดันขึ้นของแหวนลูกปืน

ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 23)

มีจำนวน 3 ชุด ทำจากเหล็กกล้าทำให้ได้รูปทรงของผลมะพร้าวหลังปอกลำตัวผล ติดตั้งอยู่บนปลายของเพลาชับบนฐานหมุนเปลี่ยนสถานะโดยแต่ละชุดจะวางตำแหน่งให้มีระยะห่างเท่ากัน แต่ละชุดประกอบด้วยแผ่นจานรองรับผลมะพร้าวอ่อนและแผ่นฝาจับยึดผลมะพร้าวจำนวน 3 แผ่น ที่สามารถหุบเข้าและกางออกได้ โดยเมื่อหุบเข้าหากันภายในจะมีลักษณะเป็นรูปกรวย โดยทำมุม ขนาดเท่ากับมุม β องศา กับแนวระนาบเครื่อง โดยมีแหวนลูกปืนทำหน้าที่บังคับการหุบเข้าและกางออกของแผ่นจับยึดผลมะพร้าวอ่อนดังกล่าว และที่ผิวด้านในของแผ่นจับยึดผลมะพร้าวอ่อนถูกฉีกไว้ด้วยแผ่นยางที่ยืดหยุ่นได้ เพื่อลดการกระแทก

ในช่วงการเปลี่ยนสถานีปอกจากการปอกลำตัวผลไปสถานีปอกไหล่ผล การขึ้นลงของแหวนลูกปืนเพื่อบังคับการหุบและการกางออกของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนจะสอดคล้องกับสะพานลูกเบี้ยว ที่ถูกสร้างขึ้นเป็นส่วนโค้งไล่ระดับความสูง ซึ่งสูง 5 เซนติเมตร โดยสะพานลูกเบี้ยวจะเริ่มต้นที่สถานีปอกลำตัวผล และจะไปสิ้นสุดที่ปลายสถานีปอกไหล่ผล

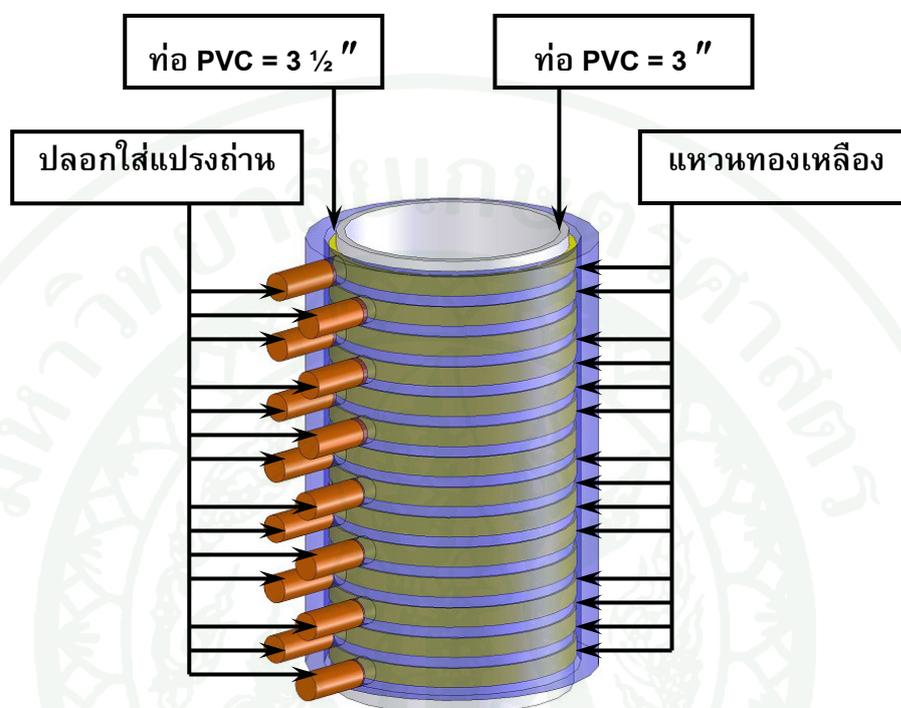


ภาพที่ 24 แบบจำลองชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน

ชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 24)

มีทั้งหมด 3 ชุดที่เหมือนกัน โดยแต่ละชุดจะวางในตำแหน่งแนวเดียวกับชุดจับผลมะพร้าวอ่อน และหันออกจากแกนกลางของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แต่ละชุดอาศัยการทำงานของมอเตอร์ 1 ตัว คือ MF401 สำหรับชุดก้านดันผล F401, MF402 สำหรับชุดก้านดันผล F402 และ MF403 สำหรับชุดก้านดันผล F403 ซึ่งมอเตอร์เป็นแบบ DC มอเตอร์ ขนาด 12/24 V ความเร็ว 110/300 รอบต่อนาที ทำหน้าที่หมุนปลอกซึ่งสวมอยู่กับเพลากลีวย เพื่อให้กรวยดันกันผลมะพร้าวอ่อนที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายเพลากลีวยเคลื่อนที่ขึ้น-ลง กรวยดันกันผลมะพร้าวอ่อนมีลักษณะภายนอกเป็นทรงกระบอก ภายในกลึงเป็นทรงกรวยเพื่อรองรับกันมะพร้าวหรือยอดของผลที่ทำการปอกไหล่แล้วซึ่งมุมของกรวยจะสอดคล้องกับมุม γ ที่ได้จากศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก นอกจากนี้ยังมีสปริงกด เพื่อการตั้งค่าความแข็งแรงในการดันกันผล การทำงานของมอเตอร์ในแต่ละชุด จะถูกควบคุมระยะทางการ

เคลื่อนที่ขึ้นลงโดย Limit switch 6 ตัว คือ LF401b, LF402b และ LF403b เพื่อควบคุมการหยุดของชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนช่วงจังหวะขาลง และ Limit switch LF401a, LF402a และ LF403a เพื่อควบคุมการหยุดของชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนช่วงจังหวะขาขึ้น



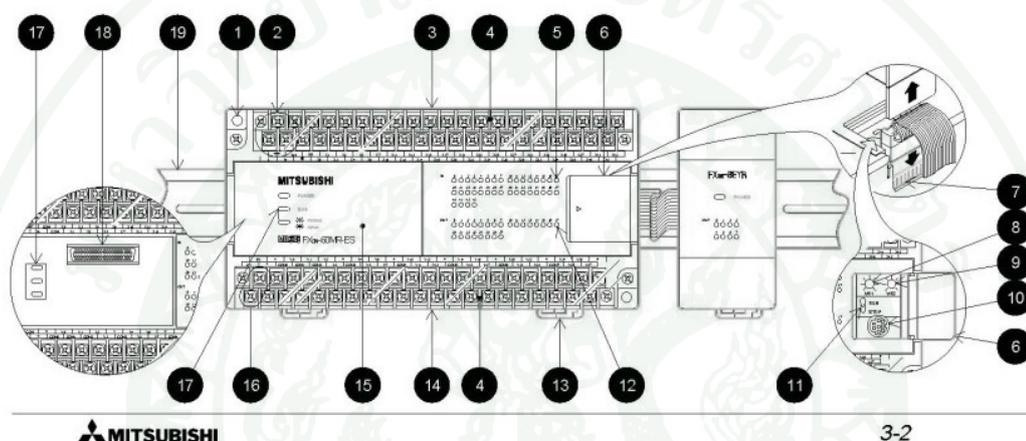
ภาพที่ 25 แบบจำลองชุดสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring)

ชุดสะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring) (ภาพที่ 25)

ทำจากท่อ PVC 2 อัน ขนาด 3 นิ้วและ 3 1/2 นิ้วสวมเข้าด้วยกัน ครอบก้านในจะยึดติดกับฐานหมุนเปลี่ยนสถานี ส่วนครอบก้านนอกจะยึดติดกับโครงเครื่อง ครอบก้านในจะมีแหวนทองเหลืองสวมเป็นระยะเท่าๆ กันจำนวน 14 วง ต่อสายไฟแยกออกมาวงละเส้น ส่วนครอบก้านนอกจะเป็นรูตามระยะของวงแหวนทองเหลืองแล้วทำปลอกเล็กๆเพื่อใส่แท่งแปรงถ่าน เพื่อให้แปรงถ่านสัมผัสกับวงแหวนทองเหลืองด้านในเพื่อเป็นสะพานไฟส่งกระแสไฟฟ้าผ่านระบบไปยังมอเตอร์ และ Limit switch ต่างๆ บนชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งจะช่วยให้ไม่เกิดการพันกันของสายไฟเมื่อชุดฐานหมุนเปลี่ยนสถานีหมุน

ชุดส่งกำลัง

แบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ เพื่อขั้วฐานหมุนเปลี่ยนสถานี และเพื่อขั้วผลมะพร้าวอ่อน โดยมอเตอร์ที่ใช้ในการขั้วฐานหมุนเปลี่ยนสถานีจะใช้มอเตอร์เบรค (MF101) เป็นตัวส่งกำลัง ส่วนมอเตอร์ที่ใช้ในการขั้วเพลาลูกและถ่ายทอดต่อไปยังเพลาชั้วจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (MF102) โดยฐานหมุนจะใช้ระบบเฟืองเป็นตัวส่งถ่ายกำลัง ซึ่งทั้งหมดจะควบคุมโดยใช้ อุปกรณ์ Programmable Logic Controller (PLC) 2 ตัว ซึ่งอยู่ภายในกล่องควบคุม



No.	Description	No.	Description
1	Direct mounting holes	11	Run/Stop switch
2	AC power terminals	12	Output indicators
3	Input terminals	13	DIN rail clip
4	I/O terminal covers	14	Output terminals
5	Input indicators	15	Top panel cover (removable)(*)
6	I/O Expansion bus (*) and Programming port cover	16	24V DC service supply
7	I/O Expansion connector (*)	17	Status indicators, POWER, RUN, PROG.E, CPU.E
8 9	Analog potentiometer(s) (One on FX0)	18	Memory cassette port for FX memory cassettes (*)
10	Programming port		

ภาพที่ 26 แสดงส่วนประกอบของ PLC

ระบบควบคุม PLC (ภาพที่ 26)

ชุด PLC แบ่งออกเป็น 2 ชุดด้วยกัน แยกกันควบคุมการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แต่จะทำงานสอดคล้องกัน เพื่อให้สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ต่อเนื่อง โดยทั้ง 2 ตัวเป็นยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น Fx₀-30MT

ซึ่งสามารถแบ่งอุปกรณ์ คือมอเตอร์และ Limit switch ที่ทำงานกับ PLC นั้นๆได้ดังนี้

PLC ตัวที่ 1

- มอเตอร์

MF101, MF102, MS101, MS102, MS201, MS202, MS301

- Limit switch

LS101, LS102, LS103, LS104, LS201, LS202, LS203, LS204, LS301, LS302,
LF101

PLC ตัวที่ 2

- มอเตอร์

MF401, MF402, MF403

- Limit switch

LF401a, LF401b, LF402a, LF402b, LF403a, LF403b

การทำงานของอุปกรณ์ PLC 1 และ PLC 2 ควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.2 การทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

มีขั้นตอนดังนี้

- นำผลมะพร้าวอ่อนที่ตัดหางหนูเรียบร้อยแล้ววางลงบนแผ่นจานรองรับผลมะพร้าวอ่อน ที่อยู่ตรงกลางชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) ซึ่งอยู่ในขณะฝากางออก ในสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล โดยวางให้ขั้วผลมะพร้าวอ่อนอยู่ด้านล่าง และกันผลมะพร้าวอ่อนอยู่ด้านบน จากนั้นก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F401) จะเลื่อนลงมากดดันกันผลมะพร้าวอ่อนเอาไว้ โดยผู้ควบคุมเครื่องกดเปิดสวิตช์ให้มอเตอร์ MF401 หมุนให้เพลากลีวยปรับระดับลงมาจนรอยดันกันผลมะพร้าวอ่อนเริ่มสัมผัสกับกันผลมะพร้าวอ่อนและเริ่มกดสปริงที่ปลายเพลากลีวยจนกระทั่งสัมผัสกับ Limit switch LF401b จึงกดปิดสวิตช์ให้มอเตอร์ MF401 หยุดทำงาน
- ผู้ควบคุมเครื่องกดสวิตช์ควบคุมสี่เหลี่ยม (สวิตช์เริ่มต้น) เพื่อให้มอเตอร์ MF101 และ MF102 ทำงานโดยที่ MF101 จะทำหน้าที่หมุนฐานหมุนเปลี่ยนสถานี (F200) ให้หมุนที่ความเร็วรอบ 8.8 รอบต่อนาที ส่วน MF102 ทำหน้าที่หมุนเพลาลูกและถ่ายทอดต่อไปยังชุดจับผลมะพร้าวอ่อนทั้ง 3 ชุดให้หมุนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที นอกจากนี้การกดสวิตช์สี่เหลี่ยมยังส่งผลให้ มอเตอร์ MF402 ทำงานหมุนปรับให้ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2 (F302) เคลื่อนที่ขึ้นเพื่อเตรียมเข้าสู่สถานีปอกไหล่ผล (S200) และ MF402 จะหยุดเมื่อ Limit switch LF402a ถูกสัมผัส และเมื่อฐานหมุนเปลี่ยนสถานี หมุนเปลี่ยนสถานีจากสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล (S300) ไปยังสถานีปอกลำตัวผล (S100) ณ ตำแหน่งนั้นมอเตอร์ MF101 จะหยุดการทำงานเนื่องจากการที่ Limit switch LF101 ถูกสัมผัส โดยแถบที่ทำขึ้นเพื่อให้สะกิดกับ LF101 ซึ่งรอบฐานหมุนเปลี่ยนสถานีจะมีทั้งหมด 3 แถบ ห่างเท่าๆ กัน และผลของการสัมผัสนี้ยังส่งผลให้มอเตอร์ MS101, MS201 หมุนปรับให้ โครงของชุดมีดปอกลำตัวและโครงของชุดมีดปอกไหล่ เคลื่อนที่เข้า ส่วนมอเตอร์ MS301 ของโครงของชุดมีดตัดขั้วผลจะทำงานหลังจากกดสวิตช์เริ่มต้นผ่านไปแล้ว 5 วินาที

เมื่อโครงของชุดมีดทั้ง 3 ชุดเคลื่อนที่เข้า ในส่วนของสถานีปอกลำตัวนั้น มอเตอร์ MS101 จะหยุดหมุนเมื่อ LS101 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS102 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกลำตัวเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ปอกเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมาสัมผัสกับ LS103 ทำให้มอเตอร์ MS102 หยุดและหมุนกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS104 พร้อมกันนี้เมื่อ LS103 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS101 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอกลำตัวผลเข้า ตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS102 ส่วนของสถานีปอกไหล่ นั้นมอเตอร์ MS201 จะหยุดหมุน

เมื่อ LS201 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS202 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกไพล์ผลเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ปอกเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมาสัมผัสกับ LS203 ทำให้มอเตอร์ MS202 หยุดและหมุนกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS204 พร้อมกันนี้เมื่อ LS203 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS201 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอกไพล์ผลเข้าตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS202 นอกจากนี้เมื่อ LS203 ถูกสัมผัสยังส่งผลให้ มอเตอร์ MF402 หมุนปรับก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2 (F402) เคลื่อนที่ลงมาและจะหยุดเมื่อ LF402b ถูกสัมผัส และการสัมผัส LS203 ยังส่งผลต่อก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F403) ซึ่ง ณ ขณะนั้นอยู่ตรงตำแหน่งสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล คือทำให้มอเตอร์ MF403 หมุนปรับก้านดันกันผลให้เคลื่อนที่ขึ้นและหยุดหมุนเมื่อไปสัมผัสกับ LF403a โปรแกรมทำการนับเวลา 15 วินาที มอเตอร์ MF403 จึงหมุนปรับระดับก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนลงมาอีกครั้ง และจะหยุดเมื่อ LF403b ถูกสัมผัส สิ่งที่สำคัญที่สุดคือผลจากการสัมผัสของ LS203 ยังส่งผลให้มอเตอร์ MF102 หยุดการทำงานอีกด้วย ซึ่งทำให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนทุกชุดหยุดหมุน ในส่วนของสถานีป้อนผล ถ่ายออกและตัดขั้วผล มอเตอร์ MS301 จะหยุดเมื่อ โครงของชุดมีดตัดขั้วเคลื่อนที่เข้าไปสัมผัสกับ LS301 และจะหมุนกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นทันที คือมาสัมผัสกับ LS302

ถึงตอนนี้ (ฐานหมุนเปลี่ยนสถานีหมุนมา 1/3 รอบ) ผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกป้อนมาผลแรกกับชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) ถูกปอกลำตัวเรียบร้อยแล้ว ผลที่สองถูกวางลงบนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F303) ในช่วงที่ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3 เคลื่อนที่ขึ้น และ MF102 หยุดหมุน (ภาพที่ 27)

3. ผู้ควบคุมเครื่องกดสวิทช์สี่เหลี่ยมอีกครั้ง มอเตอร์ MF101 และ MF102 ทำงานอีกครั้ง จนฐานหมุนเปลี่ยนสถานีไปสัมผัสกับ LF101 อีกครั้งด้วยแถบสะกิดที่ 2 ทำให้มอเตอร์ MF101 หยุดการทำงาน การกดสวิทช์สี่เหลี่ยมครั้งที่ 2 นี้ยังส่งผลให้ มอเตอร์ MF401 ทำงาน หมุนปรับให้ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) เคลื่อนที่ขึ้นเพื่อเตรียมเข้าสู่สถานีปอกไพล์ผล (S200) และ MF401 จะหยุดเมื่อ Limit switch LF401a ถูกสัมผัส และเมื่อฐานหมุนเปลี่ยนสถานี หมุนเปลี่ยนสถานีจากสถานีปอกลำตัวผล (S100) ไปยังสถานีปอกไพล์ผล (S200) ถึงตรงนี้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) หุบเข้าหากันเนื่องจากหมุนอยู่บนสะพานลูกเบี้ยว และจะเกิดขึ้นทุกชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่เคลื่อนที่มาถึงสถานีปอกไพล์ผล และผลของการที่ LF101 ถูกสัมผัสยังส่งผลให้มอเตอร์ MS101, MS201 หมุนปรับให้ โครงของชุดมีดปอกลำตัว และโครงของชุดมีดปอกไพล์ เคลื่อนที่เข้า ส่วนมอเตอร์ MS301 ของโครงของชุดมีดตัดขั้วผลจะทำงานหลังจากกดสวิทช์เริ่มต้นผ่านไปแล้ว 5 วินาที

เหมือนเดิมคือในส่วนของสถานีปอกลำตัวนั้นมอเตอร์ MS101 จะหยุดหมุนเมื่อ LS101 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS102 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกลำตัวเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ปอกมาเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมาสัมผัสกับ LS103 ทำให้มอเตอร์ MS102 หยุดและหมุนกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS104 พร้อมกันนี้เมื่อ LS103 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS101 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอกลำตัวผลเข้าตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS102 ส่วนของสถานีปอกไหล่ที่มอเตอร์ MS201 จะหยุดหมุนเมื่อ LS201 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS202 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกไหล่ผลเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ปอกมาเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมาสัมผัสกับ LS203 ทำให้มอเตอร์ MS202 หยุดและหมุนกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS204 พร้อมกันนี้เมื่อ LS203 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS201 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอกไหล่ผลเข้าตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS202 ที่แตกต่างจากการที่ LS203 ถูกสัมผัสในครั้งแรกคือ ในการสัมผัส LS203 ในครั้งที่ 2 นี้ส่งผลให้ มอเตอร์ MF401 หมุนปรับก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F401) เคลื่อนที่ลงมาและจะหยุดเมื่อ LF401b ถูกสัมผัส และการสัมผัส LS203 ยังส่งผลต่อก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2 (F402) ซึ่ง ณ ขณะนั้นอยู่ตรงตำแหน่งสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล คือทำให้มอเตอร์ MF402 หมุนปรับก้านดันกันผลให้เคลื่อนที่ขึ้นและหยุดหมุนเมื่อไปสัมผัสกับ LF402a โปรแกรมทำการนับเวลา 15 วินาที มอเตอร์ MF402 จึงหมุนปรับระดับก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนลงมาอีกครั้ง และจะหยุดเมื่อ LF402b ถูกสัมผัส และเหมือนเดิมสิ่งที่สำคัญที่สุดคือผลจากการสัมผัสของ LS203 ยังส่งผลให้มอเตอร์ MF102 หยุดการทำงานอีกด้วย ซึ่งทำให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนทุกชุดหยุดหมุน ในส่วนของสถานีป้อนผล ถ่ายออกและตัดขั้วผล มอเตอร์ MS301 จะหยุดเมื่อ โครงของชุดมีดตัดขั้วเคลื่อนที่เข้าไปสัมผัสกับ LS301 และจะหมุนกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นทันที คือมาสัมผัสกับ LS302

ถึงตอนนี้ (ฐานหมุนเปลี่ยนสถานีหมุนมา 2/3 รอบ) ผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกป้อนมาผลแรกกับชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) ถูกปอกลำตัวและปอกไหล่เรียบร้อยแล้ว ผลที่ 2 ซึ่งวางมาบนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F303) ถูกปอกลำตัวผลเรียบร้อยแล้ว ส่วนผลที่ 3 ถูกวางลงบนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.2 (F302) ในช่วงที่ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2 เคลื่อนที่ขึ้น และ MF102 หยุดหมุน (ภาพที่ 28)

4. ผู้ควบคุมเครื่องกดสวิทช์สี่เหลี่ยมอีกครั้ง เป็นครั้งที่ 3 ทำให้มอเตอร์ MF101 และ MF102 ทำงานอีกครั้ง จนฐานหมุนเปลี่ยนสถานีไปสัมผัสกับ LF101 อีกครั้งด้วยแถบสะกิดที่ 3 ทำให้มอเตอร์ MF101 หยุดการทำงาน การกดสวิทช์สี่เหลี่ยมครั้งที่ 3 นี้ยังส่งผลให้ มอเตอร์ MF403 ทำงานหมุนปรับให้ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F303) เคลื่อนที่ขึ้นเพื่อเตรียมเข้าสู่สถานีปอกไหล่ผล (S200) และ MF403 จะหยุดเมื่อ Limit switch LF403a ถูกสัมผัส และเมื่อ

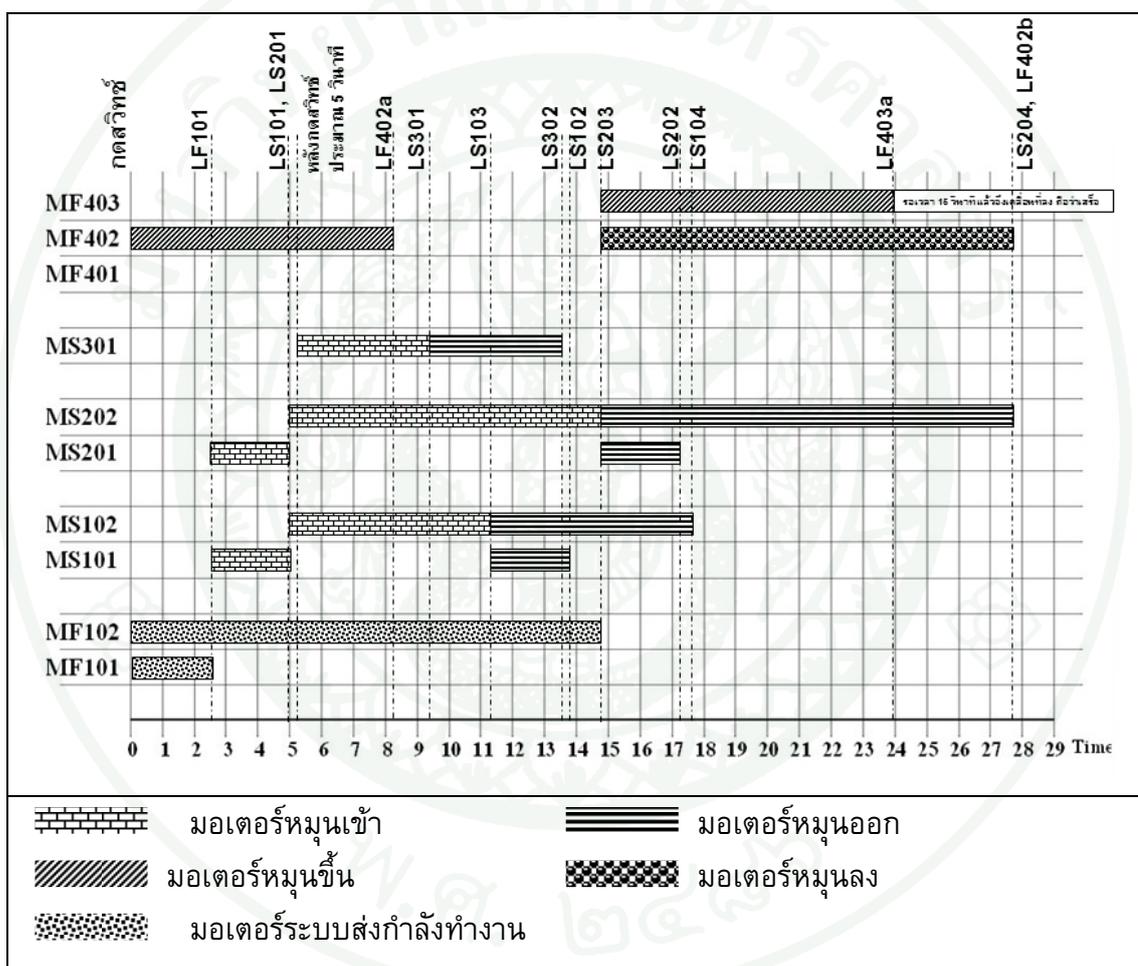
ฐานหมุนเปลี่ยนสถานี หมุนเปลี่ยนสถานีจากสถานีปอกไหล่ผล (S200) ไปยังสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล (S300) ถึงตรงนี้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) ก็กางออกอีกครั้ง เนื่องจากหยุดออกจากสะพานลูกเบี้ยวแล้วและจะเกิดขึ้นกับทุกชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่เคลื่อนที่ มาถึงสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล และผลของการที่ LF101 ถูกสัมผัสยังส่งผลให้ มอเตอร์ MS101, MS201 หมุนปรับให้ โครงของชุดมีดปอกลำตัวและโครงของชุดมีดปอกไหล่ เคลื่อนที่เข้า ส่วนมอเตอร์ MS301 ของโครงของชุดมีดตัดขั้วผลจะทำงานหลังจากกดสวิทช์ เริ่มต้นผ่านไปแล้ว 5 วินาที ซึ่งเหมือนกับทุกๆ ครั้ง

อีกครั้งในส่วนของสถานีปอกลำตัวนั้นมอเตอร์ MS101 จะหยุดหมุนเมื่อ LS101 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS102 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกลำตัวเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ ปอกมาเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมาสัมผัสกับ LS103 ทำให้มอเตอร์ MS102 หยุดและหมุน กลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS104 พร้อมกันนี้เมื่อ LS103 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS101 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอกลำตัวผลเข้าตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS102 ส่วนของ สถานีปอกไหล่นั้นมอเตอร์ MS201 จะหยุดหมุนเมื่อ LS201 ถูกสัมผัสส่งผลให้ มอเตอร์ MS202 หมุนเลื่อนให้ชุดมีดปอกไหล่ผลเข้าปอก ชุดมีดจะเคลื่อนที่ปอกมาเป็นแนวเส้นตรง จนกระทั่งมา สัมผัสกับ LS203 ทำให้มอเตอร์ MS202 หยุดและหมุนกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น คือไปสัมผัสกับ LS204 พร้อมกันนี้เมื่อ LS203 ถูกสัมผัส ทำให้มอเตอร์ MS201 หมุนปรับโครงของชุดมีดปอก ไหล่ผลเข้าตำแหน่งเริ่มต้นคือสัมผัสกับ LS202 ในการหมุนครั้งที่ 3 นี้มีส่วนที่แตกต่างจากครั้ง แรกและครั้งที่ 2 คือเมื่อ LS203 ถูกสัมผัสในครั้งที่ 3 นี้ส่งผลให้ มอเตอร์ MF403 หมุนปรับก้าน ดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F403) เคลื่อนที่ลงมาและจะหยุดเมื่อ LF403b ถูกสัมผัส และการ สัมผัส LS203 ยังส่งผลต่อก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F401) ซึ่ง ณ ขณะนั้นอยู่ตรง ตำแหน่งสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล คือทำให้มอเตอร์ MF401 หมุนปรับก้านดันกัน ผลให้เคลื่อนที่ขึ้นและหยุดหมุนเมื่อไปสัมผัสกับ LF401a โปรแกรมทำการนับเวลา 15 วินาที มอเตอร์ MF401 จึงหมุนปรับระดับก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนลงมาอีกครั้ง และจะหยุดเมื่อ LF401b ถูกสัมผัส และเหมือนเดิมสิ่งที่สำคัญที่สุดคือผลจากการสัมผัสของ LS203 ยังส่งผลให้ มอเตอร์ MF102 หยุดการทำงานอีกด้วย ซึ่งทำให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนทุกชุดหยุดหมุน ในส่วน ของสถานีป้อนผล ถ่ายออกและตัดขั้วผล มอเตอร์ MS301 จะหยุดเมื่อ โครงของชุดมีดตัดขั้ว เคลื่อนที่เข้าตัดขั้วผล โดยเคลื่อนที่ผ่านแกนกลางของผลไปสัมผัสกับ LS301 และจะหมุนกลับสู่ ตำแหน่งเริ่มต้นทันที คือมาสัมผัสกับ LS302 ซึ่งส่งผลให้ขั้วผลมะพร้าวถูกตัดเรียบร้อยแล้ว

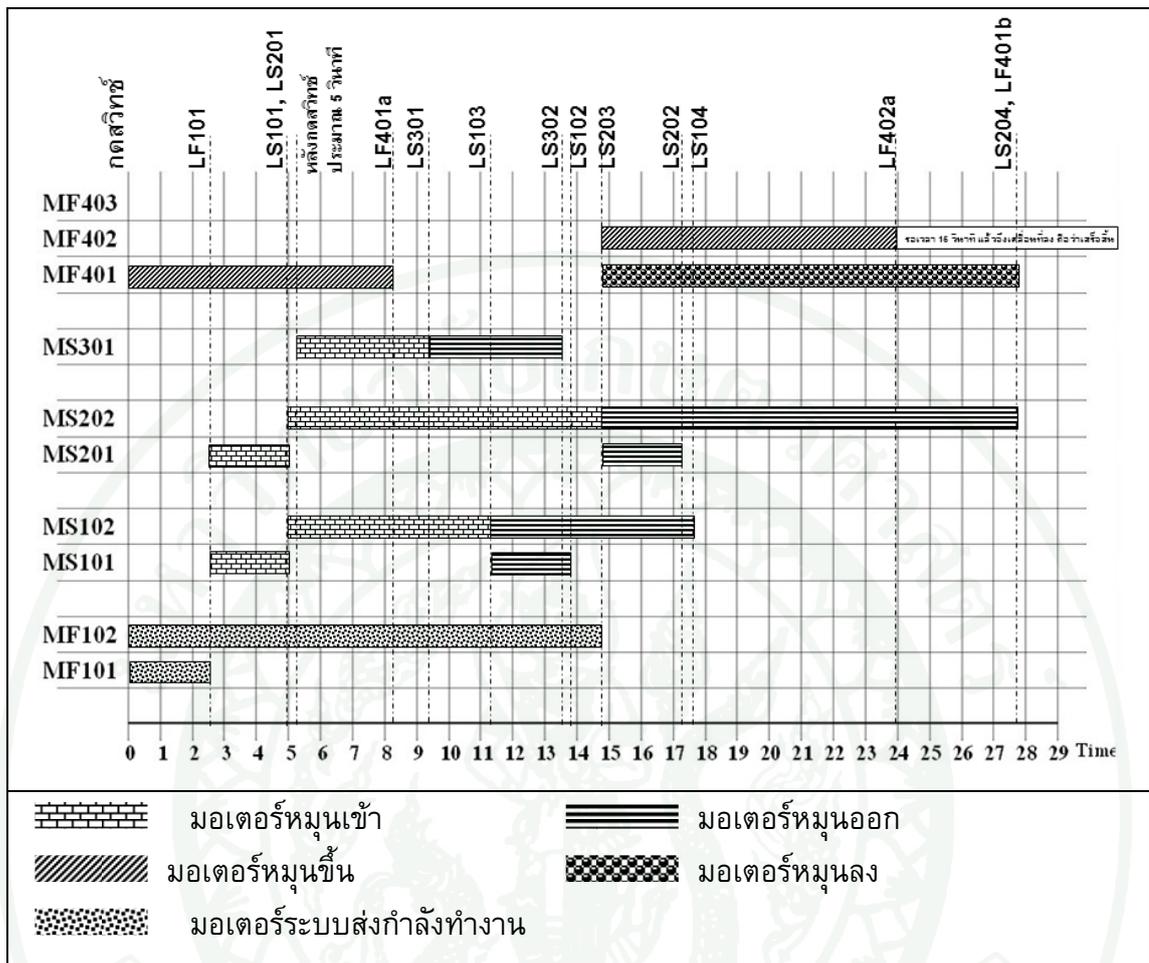
ถึงตอนนี้ (ฐานหมุนเปลี่ยนสถานีหมุนมา 1 รอบ) ผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกป้อนมา ผลแรกกับชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.1 (F301) ถูกปอกลำตัวและปอกไหล่และตัดขั้วผล เรียบร้อยแล้ว ผลที่ 2 ซึ่งวางมาบนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.3 (F303) ถูกปอกลำตัวผลและ

ปอกไหล่ผลเรียบร้อยแล้ว ส่วนผลที่ 3 ถูกวางลงบนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน No.2 (F302) ก็ถูกปอกลำตัวผลเรียบร้อยแล้ว ทำให้ในขณะนี้ ผลมะพร้าวผลที่ 4 ถูกวางมากับชุดจับผลมะพร้าว No.1 (F301) ซึ่งหมุนครบรอบและพร้อมรับผลใหม่ซึ่งถูกป้อนผลมะพร้าวอ่อนลงมาในช่วงที่ก้านต้นก้านผลมะพร้าวอ่อน No.1 เคลื่อนที่ขึ้น และ MF102 หยุดหมุน (ภาพที่ 29)

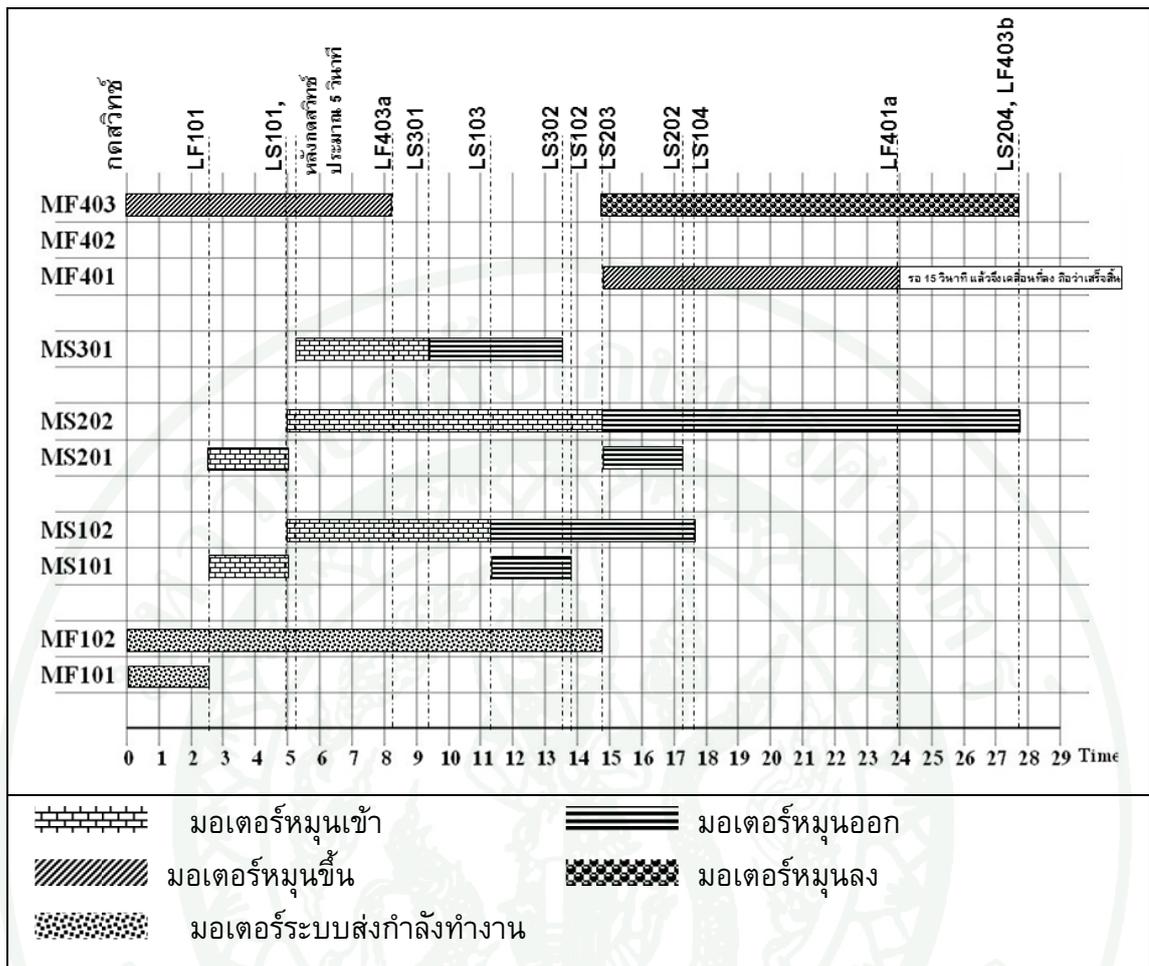
5. การทำงานของเครื่องปอกผลมะพร้าวอ่อนจะทำงานไปเรื่อยๆ ซึ่งหลังจากนี้ในทุกๆ การหมุน 1 รอบจะทำให้ได้ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก 3 ผล



ภาพที่ 27 Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการกดสวิทช์เริ่มการทำงานของเครื่องครั้งแรก



ภาพที่ 28 Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการกตสวิตช์เริ่มการทำงานของเครื่องครั้งที่ 2



ภาพที่ 29 Flow chart การทำงานของมอเตอร์ต่างๆ ในช่วงการกวดสวิตช์เริ่มการทำงานของเครื่องครั้งที่ 3

3.3 การใช้โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้มาประเมินคุณภาพผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ (ภาพที่ 30) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยบัณฑิตและคณะ (2546) ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญ 3 อย่างด้วยกันคือ เครื่องคอมพิวเตอร์, สแกนเนอร์ และตัวโปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ ซึ่งเขียนโดยภาษา Visual Basic 6

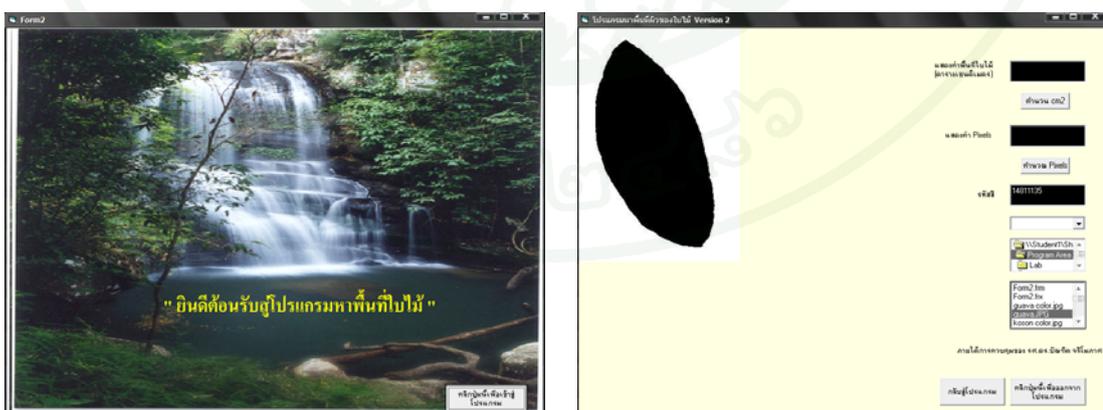
วิธีการ

1. ติดตั้งอุปกรณ์คือคอมพิวเตอร์กับสแกนเนอร์เข้าด้วยกันโดยจะต้อง Scan ภาพในลักษณะของภาพ Black&White เนื่องจากโปรแกรมจะทำการคำนวณโดยนับพื้นที่เฉพาะพื้นที่ที่

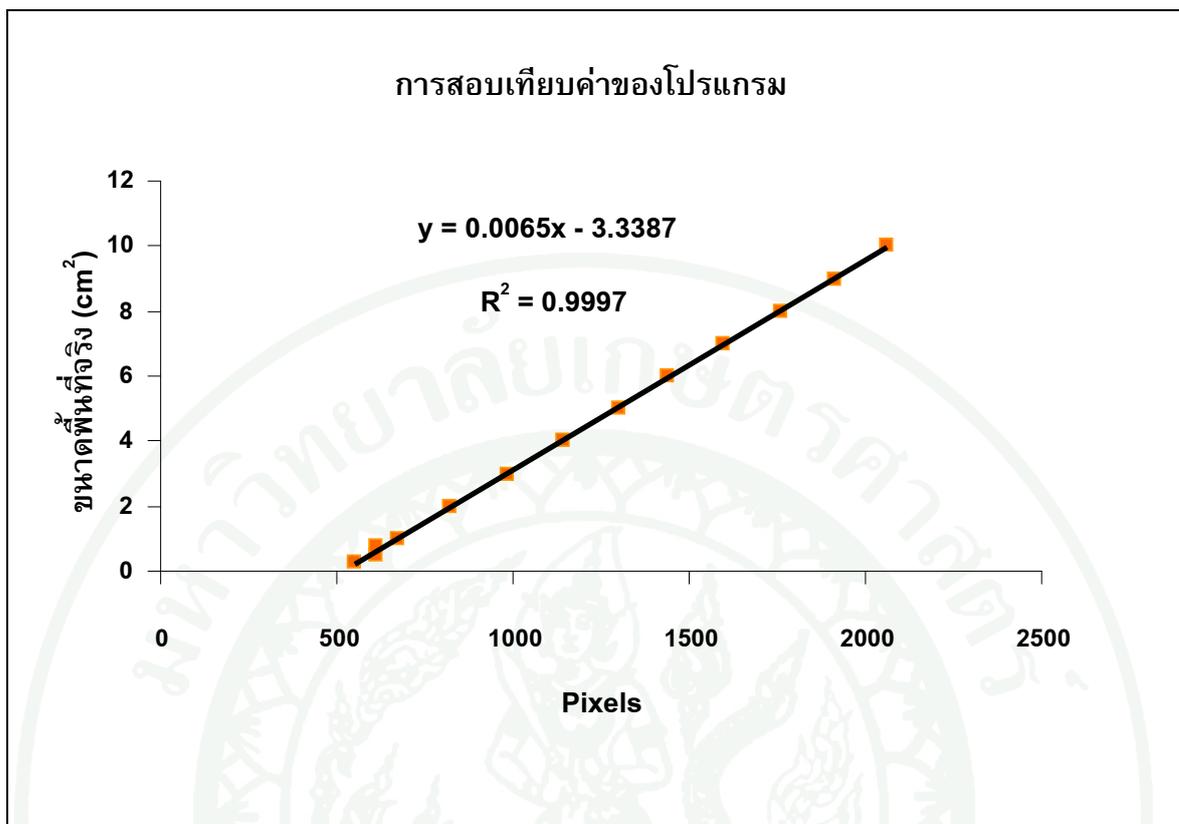
เป็นสีดำเท่านั้น เมื่อโปรแกรมนับได้พื้นที่สีดำเท่าไร (หน่วย Twip) ก็จะนำไปคำนวณต่อ เพื่อให้หน่วยที่ออกมาเป็นเซนติเมตร โดยขั้นตอนเริ่มจากการนำแผ่นใสที่ได้ลอกลายพื้นที่ เปลือกสีเขียวหรือเส้นที่ต้องการลงไปเรียบร้อยแล้ววางลงบน Scanner และทำการ Scan โดยลดขนาดพื้นที่ให้เป็นพื้นที่ขนาด 15% ของพื้นที่จริง เพื่อให้ภาพสแกนมีขนาดพอดีกับพื้นที่ของ หน้าจอรับภาพของโปรแกรม ซึ่งจะต้องลดขนาดเท่ากับการสอบเทียบพื้นที่ข้างต้น บันทึกภาพ เป็นนามสกุล .bmp สัญญาณภาพจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์โดย Port USB

2. สำหรับการใช้โปรแกรมการหาพื้นที่ใบไม้ นั้นมีขั้นตอนการปฏิบัติการดังนี้คือ เมื่อเปิดโปรแกรมจะปรากฏ Form 1. ขึ้นอยู่บนหน้าจอจากนั้นก็ให้คลิกเข้าสู่โปรแกรม เมื่อคลิกแล้ว โปรแกรมจะปรากฏ Form 2. ขึ้นมาหน้าจอ ซึ่งจะประกอบด้วยกรอบแสดงผลจำนวน 5 กรอบ กรอบที่ 1 จะให้เลือก Drive ที่เก็บไฟล์รูปภาพ กรอบที่ 2 จะแสดงไฟล์รูปภาพที่อยู่ใน Drive นั้นๆ ซึ่งจะเลือกรูปภาพที่ต้องการหาพื้นที่ไว้ในกรอบนี้ กรอบที่ 3 จะเป็นกรอบที่แสดงรหัสสีที่ เมาส์จรดอยู่ กรอบที่ 4 จะแสดงจำนวนที่ได้จากการนับพื้นที่สีดำ (หน่วย Twip) กรอบที่ 5 แสดงค่าพื้นที่ภาพที่ทำการหาพื้นที่ (cm) ตามที่ต้องการ

3. ขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่งคือการสอบเทียบค่า และทำการแก้ไขค่าในโปรแกรม เพื่อให้การหาค่าได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด โดยการนำภาพที่ทราบพื้นที่จริงแล้วมาทำการ Scan และลดขนาดลงเป็นพื้นที่ 15% ของพื้นที่จริง จากนั้นให้โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ทำการหาค่า โดยจำ ตัวเลขค่า Pixels ที่แสดงในกรอบแสดงผลในแต่ละภาพ นำค่าพื้นที่จริงของภาพแต่ละภาพ และค่า Pixels ของแต่ละผลมาทำการกราฟเส้นตรง หาสมการความสัมพันธ์ แล้วนำสมการนี้ไปแทนค่า ในโปรแกรมต่อไป (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 30 โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ บัณฑิตและคณะ (2546)



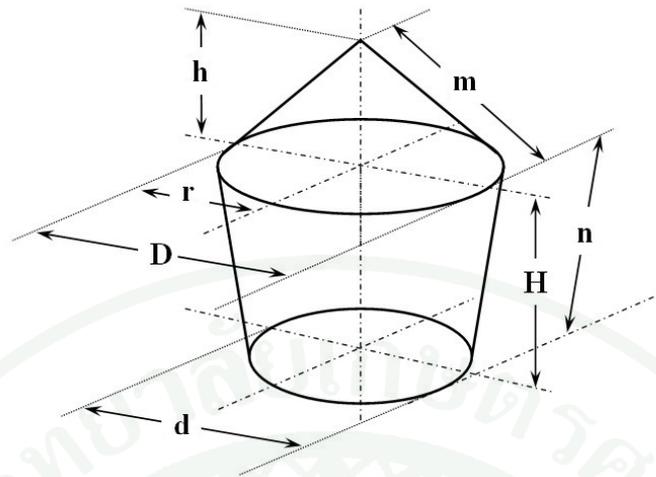
ภาพที่ 31 กราฟแสดงการสอบเทียบค่าโปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้

3.4 คำจำกัดความของพื้นที่

พื้นที่ที่ต้องการทราบค่าสำหรับการประเมินผลการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ นั้น มีอยู่หลายส่วนด้วยกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกรวม (Total Trimmed and Untrimmed Fruit Surface Area, TTUA)

คือพื้นที่ทั้งหมดของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนของพื้นที่ตั้งแต่ไหล่ผลถึงยอดผล ส่วนที่ 2 คือพื้นที่ในส่วนลำตัวผล และส่วนสุดท้ายคือส่วนของพื้นที่ฐานผล (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 แสดงพื้นที่ส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าวอ่อน

โดยใช้สมการในการหาพื้นที่ดังนี้

พื้นที่ส่วนไหล่ผลถึงยอดแหลม

$$A_1 = \frac{\pi}{2} m D \quad (\text{Gieck, 1994}) \quad \dots(1)$$

$$m = \sqrt{r^2 + h^2} \quad \dots(2)$$

พื้นที่ในส่วนลำตัวผล

$$A_2 = \frac{\pi}{2} n (D + d) \quad (\text{Gieck, 1994}) \quad \dots(3)$$

$$n = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + H^2} \quad \dots(4)$$

พื้นที่ส่วนฐานผล

$$A_3 = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (\text{Gieck, 1994}) \quad \dots(5)$$

ดังนั้น

$$\text{Total Trimmed and untrimmed fruit surface area} = A_1 + A_2 + A_3 \quad \dots(6)$$

พื้นที่เกิดเสี้ยน (Fibrous Area, FA)

คือพื้นที่หลังจากการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแล้วมีเส้นใยมะพร้าวเกิดขึ้นบริเวณผิวเมื่อใช้มือลูบสามารถสัมผัสได้ถึงอาการสากมือ ซึ่งบริเวณที่มีเส้นใยมะพร้าวโผล่ออกมายาวกว่า 2 mm ถือว่าบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ที่เกิดเสี้ยน

พื้นที่กะลามะพร้าว (Trimmed Shell Area, SA) (ภาพที่ 33 ข)

คือพื้นที่ที่ผลมะพร้าวเมื่อผ่านเครื่องปอกเปลือกแล้ว เกิดความเสียหายกับกะลามะพร้าวจนเห็นเนื้อในส่วนของกะลามะพร้าว หรืออาจจะทะลุจนถึงชั้นเนื้อมะพร้าว

พื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือบริเวณยอดผล (Crest Green Area, CGA) (ภาพที่ 33 ก)

คือพื้นที่เครื่องปอกเปลือกไม่สามารถปอกได้หมดจนทำให้มีเปลือกสีเขียวหลงเหลืออยู่บริเวณยอดของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

พื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือบริเวณไหล่ผล (Shoulder Green Area, SGA) (ภาพที่ 33 ค)

คือพื้นที่เครื่องปอกเปลือกไม่สามารถปอกได้หมดจนทำให้มีเปลือกสีเขียวหลงเหลืออยู่บริเวณไหล่ของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

พื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือบริเวณฐานผล (Base Green Area, BGA)

คือพื้นที่เครื่องปอกเปลือกไม่สามารถปอกได้หมดจนทำให้มีเปลือกสีเขียวหลงเหลืออยู่บริเวณฐานของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

พื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือทั้งหมด (Total Green Area, TGA)

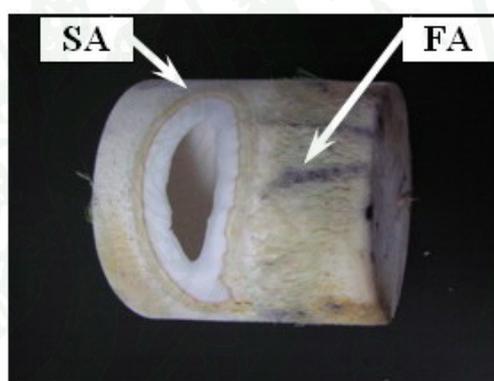
คือพื้นที่เครื่องปอกเปลือกไม่สามารถปอกได้หมดจนทำให้มีเปลือกสีเขียวหลงเหลืออยู่ในทุกส่วนของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดเหล่านี้ใช้โปรแกรมหาพื้นที่ไปไม่ช่วยในการเก็บข้อมูล

นั่นคือ

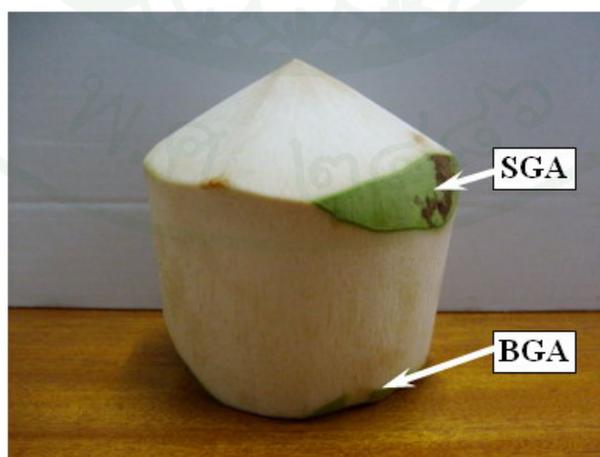
$$TGA = CGA + SGA + BGA \quad \dots(7)$$



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 33 พื้นที่ต่างๆ บนผิวมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

เมื่อคิดเปรียบเทียบพื้นที่ต่างๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้ว่า

$$\% \text{ พื้นที่เปลือกปอกไม่หมด (Untrimmed Green Area)} = \frac{TGA}{TTUA} \times 100 \quad \dots(8)$$

$$\% \text{ พื้นที่เกิดเสี้ยน (Fibrous Area)} = \frac{FA}{TTUA} \times 100 \quad \dots(9)$$

4. วัสดุ

มะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอม แบบทรงกันจีบ จากเกษตรกรในอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

5. การทดสอบ

1. การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติเบื้องต้น

การทดสอบนี้เพื่อต้องการทราบการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ ในส่วนของระบบการทำงานทั้งหมดและการทำงานของแต่ละสถานีปอกกรรมถึงการทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนฐานหมุนเปลี่ยนสถานี นั่นคือชุดจับผลมะพร้าวอ่อน และก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละชุด ซึ่งจะแบ่งออกเป็น การทดสอบย่อยๆ ดังนี้

1.1 การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง คือ การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ โดยทำการป้อนผลมะพร้าวอ่อนเข้าสถานีป้อนเข้า ถ่ายออก และตัดขั้วผล แล้วทำการปอกไปในแต่ละสถานีโดยไม่มีการป้อนผลมะพร้าวเข้าเครื่องจนกว่าจะทำการปอกผลที่ป้อนไปก่อนหน้านี้สำเร็จรวมทั้งการตัดขั้วผล ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 การทดสอบย่อยคือ

- 1.1.1. ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.1
- 1.1.2. ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.2
- 1.1.3. ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน No.3

ซึ่งการทดสอบแยกย่อยออกเป็นแต่ละชุดจับผลมะพร้าวอ่อนนี้ก็เพื่อให้สามารถทราบได้ว่าชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและก้านต้นกันผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละคู่มีความแตกต่างกันหรือไม่กับคู่อื่นๆ ที่เหลืออีก 2 คู่

1.2 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

การทดสอบแบบต่อเนื่อง คือการทดสอบโดยการป้อนผลมะพร้าวอ่อนเข้าเครื่องปอกในทุกๆ การหมุนเปลี่ยนสถานีของฐานหมุนเปลี่ยนสถานีปอก คือ เมื่อหมุนครบ 1 รอบจะสามารถปอกผลมะพร้าวอ่อนได้ 3 ผล ซึ่งแบ่งเป็น 2 การทดสอบย่อยคือ

1.2.1 การทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 1 ใช้ผลมะพร้าว 30 ผล

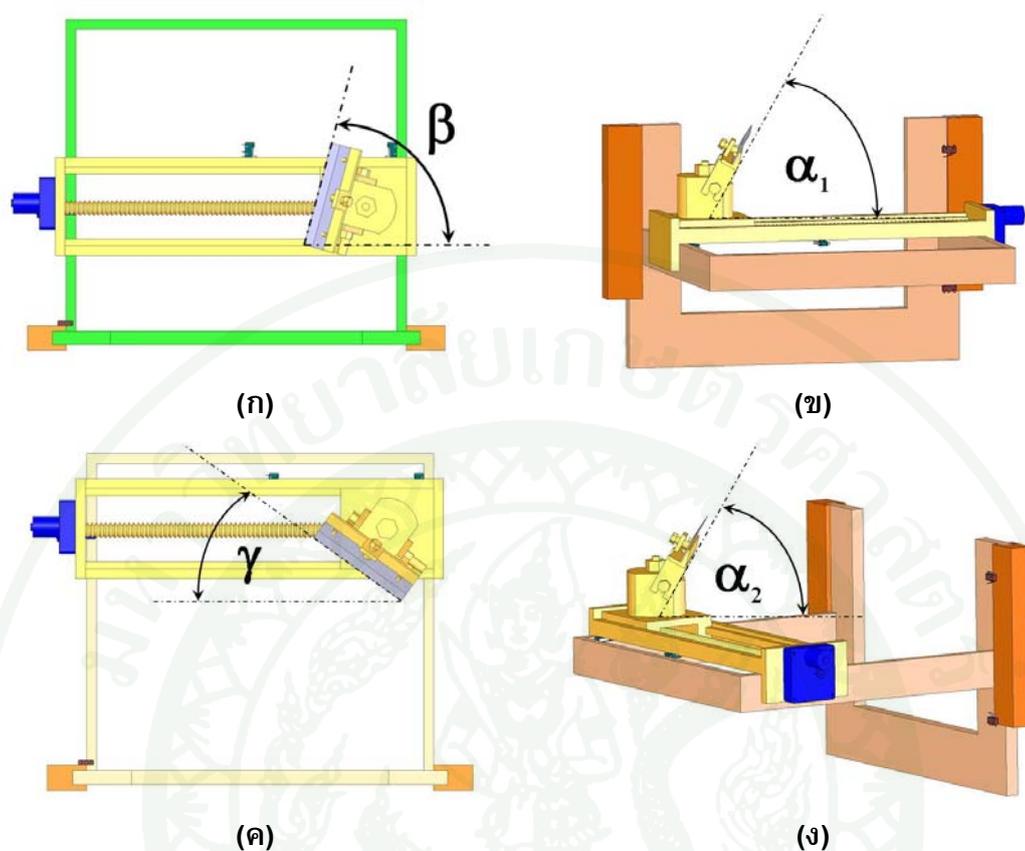
1.2.2 การทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 2 ใช้ผลมะพร้าว 40 ผล

ทั้งนี้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องและการทดสอบแบบต่อเนื่องจะมีการติดตั้งชุดใบมีดในแต่ละสถานีดังนี้ เพื่อให้ได้ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกตามค่าเฉลี่ยที่หาได้จากการหาสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกขั้นต้น ดังมีรายละเอียดดังนี้

สถานีปอกลำตัวผลจะติดตั้งมีด โดยที่มีดจะเอียงทำมุม β ดังภาพที่ 34 (ก) โดยขอบมีดด้านล่างเมื่อติดตั้งแล้วจะอยู่สูงเหนือฐานรองรับในชุดจับผลมะพร้าวอ่อนประมาณ 1.5 cm ส่วนมุมเงยของใบมีดในการปอกลำตัวผล (α_1) จะมีขนาด 61° ซึ่งเท่ากับที่ Jarimopas และ Ruttanadat (2006) กล่าวไว้ (ภาพที่ 34 ข)

สถานีปอกไหล่ผลมะพร้าวอ่อนนั้นจะติดตั้งให้มีดเอียงทำมุม γ ดังภาพที่ 34 (ค) โดยกลางมีดจะติดตั้งให้อยู่สูงเหนือฐานรองรับผลมะพร้าวอ่อนประมาณ 22 cm ส่วนมุมเงยของใบมีดในการปอกไหล่ผล (α_2) จะมีขนาด 61° ซึ่งเท่ากับการปอกลำตัวผล (ภาพที่ 34 ง)

ในส่วนของสถานีป้อนเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผลนั้น ใบมีดตัดขั้วผลได้ติดตั้งให้มีขนาดความสูงเหนือจากฐานรองรับผลมะพร้าวอ่อนเท่ากับระยะ b_1 ลบกับ j_2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก



ภาพที่ 34 มุมมิตที่ติดตั้งบนสถานีปอกต่างๆ

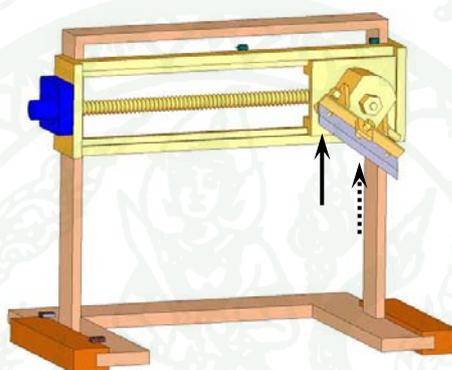
2. การทดสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

การทดสอบนี้เพื่อหาค่าความเหมาะสมในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ความสามารถของเครื่องที่ดีที่สุด รวมถึงจะต้องปอกผลมะพร้าวอ่อนให้ได้ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่มีประสิทธิภาพให้มากที่สุดด้วย โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นดังนี้

2.1 การทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch

ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าการติดตั้ง Limit switch ส่งผลต่อความเร็วของการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ในส่วนของสถานีปอกลำตัวผลและสถานีปอกไหล่ผล ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเจาะจงไปที่ Limit switch หลักๆ คือ LS103, LS104, LS203 และ LS204 โดยที่ในส่วนสถานีปอกลำตัวผล LS103 นั้นไม่สามารถปรับให้เข้าใกล้กับ LS104 ได้เนื่องจาก

เป็นระยะที่กำหนดโดยทรงของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก จึงได้ปรับ LS104 เข้าหา LS103 อีกประมาณ 1 cm ทั้งนี้เมื่อมีดเข้าปอกจะเหลือระยะระหว่างขอบมีดกับผลมะพร้าวอ่อนผลที่มีขนาดใหญ่สุดประมาณ 1 cm สำหรับสถานีปอกไหล่ผล LS203 สามารถปรับให้เข้าหา LS204 ถึง 4 cm ทั้งนี้เนื่องจากการปรับให้จุดยอดของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเมื่อปอกไหล่เสร็จคมขอบมีดปอกเป็นบริเวณปลายของมีด แทนที่จะเป็นกลางของใบมีดเหมือนแบบเดิม และยังสามารถปรับให้ LS204 เข้ามาอีกประมาณ 1 cm ซึ่งก็ทำให้เมื่อเข้าปอกคมมีดห่างจากผลมะพร้าวอ่อนผลใหญ่สุดประมาณ 1 cm เหมือนในสถานีปอกลำตัวผล



ภาพที่ 35 การปรับตำแหน่งของคมมีดที่ใช้ปอก

2.2 การทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด

สำหรับการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ควบคุมชุดมีดคือ MS102 และ MS202 ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าปอกของชุดมีดปอกลำตัวและชุดมีดปอกไหล่ผล ในการทำการทดสอบก่อนหน้านี้ มอเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะใช้ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าปอก 12 V แต่ในขณะที่เคลื่อนที่ออกจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ 24 V จึงทำการปรับเปลี่ยนให้ในขณะที่เคลื่อนที่เข้าปอกใช้กระแสไฟฟ้าที่ 24 V เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ออกของชุดมีดต่างๆ

2.3 การทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผลกับผลมะพร้าว 3 ขนาด

- ผลมะพร้าวขนาดเล็ก (15-16 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 15 cm.
- ผลมะพร้าวขนาดเล็ก (15-16 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 16 cm.
- ผลมะพร้าวขนาดกลาง (17-18 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 17 cm.
- ผลมะพร้าวขนาดกลาง (17-18 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 18 cm.

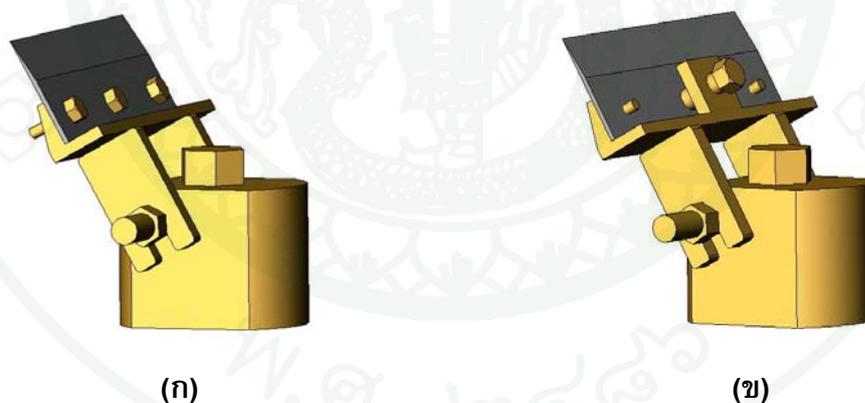
- e. ผลมะพร้าวขนาดใหญ่ (19-20 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 19 cm.
- f. ผลมะพร้าวขนาดใหญ่ (19-20 cm.) ระดับความสูงใบมีดปอกไหล่ที่ 20 cm.

การทดสอบเพื่อหาระยะที่เหมาะสมสำหรับการปอกผลมะพร้าวอ่อนแต่ละขนาดนั้น เพื่อต้องการทราบค่าความแตกต่างในแต่ละระยะการตั้งระดับความสูงของชุดมีดปอกไหล่ผล ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตสามารถปอกผลมะพร้าวอ่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด

- a. ชุดใบมีดแบบชั้นน็อต 3 ตัว (แบบเก่า)
- b. ชุดใบมีดแบบชั้นน็อตตัวเดียว (แบบใหม่)

เวลาในการเปลี่ยนใบมีดนั้นถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะเวลาที่กล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการผลิตผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ชุดใบมีดแบบเก่าใช้น็อตถึง 3 ตัวในการยึดมีด แต่แบบใหม่นั้นจะมีการชั้นน็อตเพียงตัวเดียว (ภาพที่ 36) จึงต้องการทราบว่า การเปลี่ยนการติดตั้งใบมีดแบบใหม่จะช่วยลดเวลาในการดำเนินงานลงได้มากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 36 ชุดใบมีดแบบเก่า (ก) และแบบใหม่ (ข)

2.5 การทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง

เป็นการดำเนินงานทดสอบเพื่อต้องการทราบถึงความสามารถการทำงานของเครื่องในสภาวะการทำงานจริงของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

อุปกรณ์

1. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ
2. ชุดจับผลมะพร้าว
3. ผลมะพร้าว
 - ทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องการทดสอบย่อยละ 20 ผล รวม 60 ผล
 - ทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 1 จำนวน 30 ผล
 - ทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 2 จำนวน 40 ผล
 - ทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยน Limit switch จำนวน 20 ผล
 - ทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด จำนวน 20 ผล
 - ทดสอบระดับใบมีดปอกไหลผล จำนวนระดับละ 25 ผล รวม 150 ผล
 - ทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีดแบบละ 36 ผล รวม 72 ผล
 - ทดสอบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง จำนวน 200 ผล
4. เครื่องชั่งแบบตัวเลข ยี่ห้อ Sartorius รุ่น PT6 รับน้ำหนักได้ไม่เกิน 6 กิโลกรัม
5. เครื่องScanner ยี่ห้อ canon
6. โปรแกรมหาพื้นที่ผิว
7. ปากกา Permanent
8. มีด
9. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
10. แผ่นใส
11. นาฬิกาจับเวลา
12. สารขัดขาว (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

วิธีการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

1. แบ่งผลมะพร้าวออกเป็น 3 กลุ่มโดยจะแยกทดสอบครั้งละ 20 ผล กับชุดจับผลมะพร้าวแต่ละตัว โดยทำการวัดขนาดและน้ำหนักผลมะพร้าวก่อนการทดสอบ
2. ป้อนผลมะพร้าวเข้าเครื่องในสถานีป้อน โดยวางด้านขั้วผลลงบนฐานรับของชุดจับผลมะพร้าว พร้อมทั้งกดปุ่มปรับเลื่อนก้านดันกันผลลงมากดผลมะพร้าว

3. กดปุ่มเดินเครื่อง ผลมะพร้าวจะหมุนรอบตัวเองที่ความเร็ว 300 รอบ/นาที และเคลื่อนที่เข้าสถานีปอกลำตัว เมื่อถึงชุดมีดปอกลำตัวก็เคลื่อนที่เข้าปอก เสร็จแล้วจึงถอยกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อเสร็จทุกสถานีเครื่องจะหยุดหมุน โดยที่ยังไม่ป้อนผลมะพร้าวอ่อนผลต่อไปเข้าเครื่อง ซึ่งโดยปกติจะทำการป้อนผลมะพร้าวเข้าเครื่องในจังหวะนี้

4. กดปุ่มเดินเครื่องเพื่อให้ผลมะพร้าวเคลื่อนที่เข้าสู่สถานีปอกไหล เมื่อถึงชุดใบมีดเข้าปอก ซึ่งขณะนี้ชุดจับผลมะพร้าวได้หุบเข้าเพื่อจับผลและก้านต้นผลเคลื่อนที่ขึ้นเรียบร้อยแล้ว เมื่อปอกเสร็จ ชุดใบมีดเคลื่อนที่ออกในขณะที่ก้านต้นผลเคลื่อนที่ลงต้นยอดมะพร้าว (ซึ่งถ้าป้อนผลมะพร้าวต่อเนื่องก็จะทำป้อนในจังหวะนี้อีกครั้ง)

5. กดปุ่มเดินเครื่องเพื่อเคลื่อนผลมะพร้าวเข้าสถานีตัดก้านผล ใบมีดตัดก้านก็จะเคลื่อนที่เข้าตัดและถอยออก เมื่อได้เวลาที่โปรแกรมไว้ก้านต้นผลจะเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อนำผลมะพร้าวห้าเหลี่ยมออกพร้อมทั้งป้อนผลต่อไปเข้าเครื่อง ซึ่งขณะนี้ชุดจับผลมะพร้าวได้กางออกตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่ออกจากสถานีปอกไหลแล้ว เมื่อครบกำหนดเวลา ก้านต้นผลจะเคลื่อนที่ลงมา กดผลมะพร้าวที่เพิ่งป้อนเข้าไปใหม่ (ซึ่งในแต่ละสถานีจะหน้าที่ของตัวเองเหมือนเดิมทุกครั้ง)

6. นำผลมะพร้าวที่ปอกแล้วแช่ลงในสารขัดขาว ที่ผสมในน้ำเข้มข้น 2-3%

7. ชั่งน้ำหนักหลังปอก รวมทั้งวัดขนาดส่วนต่างๆของผลมะพร้าวห้าเหลี่ยม

8. หาพื้นที่เสี้ยน พื้นที่ปอกโดนกะลา พื้นที่เปลือกสีเขียว

9. ในแต่ละสถานีจับเวลาที่ใช้โดยเริ่มจับตั้งแต่กดปุ่มเดินเครื่อง จนกระทั่งแต่ละสถานีหยุดทำงาน ซึ่ง T1 คือเวลาในสถานีปอกลำตัว T2 คือเวลาในสถานีปอกไหล และ T3 คือเวลาในสถานีป้อนและตัดก้าน

วิธีการทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 1

1. ใช้ผลมะพร้าวจำนวน 30 ผล วัดขนาดและน้ำหนักผลมะพร้าวก่อนการทดสอบ

2. ป้อนผลมะพร้าวเข้าเครื่องในสถานีป้อน โดยวางด้านหัวผลลงบนฐานรับของชุดจับผลมะพร้าว พร้อมทั้งกดปุ่มปรับเลื่อนก้านต้นก้านผลลงมากดผลมะพร้าว

3. กดปุ่มเดินเครื่อง โคนผลมะพร้าวจะหมุนรอบตัวเองที่ความเร็ว 300 รอบ/นาที และเคลื่อนที่เข้าสถานีปอกลำตัว เมื่อถึงชุดมีดปอกลำตัวก็เคลื่อนที่เข้าปอก เสร็จแล้วจึงถอยกลับ

เข้าตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อเสร็จทุกสถานีเครื่องจะหยุดหมุน ทำการป้อนผลมะพร้าวอ่อนผลต่อไป
เข้าเครื่องในสถานีป้อนผล

4. กดปุ่มเดินเครื่องเพื่อให้ผลมะพร้าวเคลื่อนที่เข้าสู่สถานีปอกไหลล์ (ผลที่เพิ่งป้อนใน
สถานีป้อนจะเคลื่อนเข้าสู่สถานีปอกลำตัว) เมื่อถึงตำแหน่งที่ตั้งไว้ ชุดใบมีดเข้าปอก ซึ่งขณะนี้ชุด
จับผลมะพร้าวได้หุบเข้าเพื่อจับผลและก้านต้นผลเคลื่อนที่ขึ้นเรียบร้อยแล้ว เมื่อปอกเสร็จ ชุด
ใบมีดเคลื่อนที่ออกในขณะที่ก้านต้นผลเคลื่อนที่ลงต้นยอดมะพร้าว ทำการป้อนผลมะพร้าวเข้า
เครื่องปอกอีกครั้ง

5. กดปุ่มเดินเครื่องเพื่อเคลื่อนผลมะพร้าวเข้าสู่สถานีตัดก้นผล (ผลมะพร้าวสถานีปอก
ลำตัวก็เคลื่อนเข้าสู่สถานีปอกไหลล์พร้อมกับผลมะพร้าวสถานีป้อนผลเคลื่อนที่เข้าสู่สถานีปอก
ลำตัว) ใบมีดตัดก้นก็จะเคลื่อนที่เข้าตัดและถอยออก เมื่อได้เวลาที่โปรแกรมไว้ก้านต้นผลจะ
เคลื่อนที่ขึ้นเพื่อนำผลมะพร้าวห้าเหลี่ยมออกพร้อมทั้งป้อนผลต่อไปเข้าเครื่อง ซึ่งขณะนี้ชุดจับ
ผลมะพร้าวได้กางออกตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่ออกจากสถานีปอกไหลล์แล้ว เมื่อครบกำหนดเวลา ก้าน
ต้นผลจะเคลื่อนที่ลงมากดผลมะพร้าวที่เพิ่งป้อนเข้าไปใหม่ (ซึ่งในแต่ละสถานีจะหน้าที่ของ
ตัวเองเหมือนเดิมทุกครั้ง)

6. นำผลมะพร้าวที่ปอกแล้วแช่ลงในสารขัดขาว ที่ผสมในน้ำเข้มข้น 2-3%

7. ชั่งน้ำหนักหลังปอก รวมทั้งวัดขนาดส่วนต่างๆของผลมะพร้าวห้าเหลี่ยม

8. หาพื้นที่เสี้ยน พื้นที่ปอกโดนกะลา พื้นที่เปลือกสีเขียว

9. ในแต่ละสถานีจับเวลาที่ใช้โดยเริ่มจับตั้งแต่กดปุ่มเดินเครื่อง จนกระทั่งแต่ละสถานี
หยุดทำงาน ซึ่ง T1 คือเวลาในสถานีปอกลำตัว T2 คือเวลาในสถานีปอกไหลล์ และ T3 คือเวลา
ในสถานีป้อนและตัดก้น

วิธีการทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 2, วิธีการทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยน Limit switch, การ
ทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด, การทดสอบระดับใบมีดปอกไหลล์ผลกับ
ผลมะพร้าวอ่อน 3 ขนาด

ทำการทดสอบเหมือนกับการทดสอบแบบต่อเนื่องครั้งที่ 1 แต่จะใช้ผลมะพร้าวอ่อนที่
จำนวนต่างกัน สำหรับการทดสอบระดับใบมีดปอกไหลล์ผลกับผลมะพร้าวอ่อน 3 ขนาด นั้นมี
รายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้คือ ใช้ผลมะพร้าวจำนวน 150 ผล โดยแบ่งมะพร้าวออกเป็น 3 กลุ่ม
กลุ่มละ 50 ผล ตามขนาดของผลมะพร้าว กลุ่มขนาดเล็กกระยะความสูง 15-16 cm กลุ่มขนาด

กลางระยะความสูง 17-18 cm กลุ่มขนาดใหญ่ระยะความสูง 19-20 cm แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 25 ผล ทดสอบที่ระยะความสูงของใบมีดปกกล้วยผล (วัดที่ขอบปลายมีดจุดที่สูงที่สุด) ทดสอบกับผลเล็ก ที่ระดับ 15 และ 16 cm ทดสอบกับผลกลาง ที่ระดับ 17 และ 18 cm และทดสอบกับผลใหญ่ ที่ระดับ 19 และ 20 cm

การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีดและการทดสอบแบบต่อเนื่อง เหมือนการทำงานจริง

สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีดปกกล้วยนั้น จะทำการทดสอบ เหมือนกันกับการทดสอบอื่นๆ ข้างต้นแต่จะมีข้อแตกต่างกันตรงที่ในการทดสอบเปลี่ยนใบมีด นั้นจะทำการเปลี่ยนใบมีดทุกๆ การปกมะพร้าวอ่อน 12 ผล รวมเปลี่ยนใบมีดแต่ละแบบ 3 ครั้ง ส่วนในการทดสอบเหมือนสภาพการทำงานจริงนั้น จะทำการเปลี่ยนใบมีดทุกๆ การปกครบ 50 ผล รวมแล้วทำการเปลี่ยนทั้งหมด 3 ครั้งเช่นเดียวกัน

6. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ครอบคลุมการหาต้นทุนค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และ จุดคุ้มทุน

ต้นทุน (Cost) หมายถึง จำนวนเงินหรือสิ่งแลกเปลี่ยนอย่างอื่น เพื่อให้ได้มาซึ่ง ทรัพย์สินหรือบริการใด ๆ โดยต้นทุนจะมีความหมายใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายในการทำงาน โดยจะ แบ่งต้นทุนออกเป็นดังนี้

- ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) คือต้นทุนที่ไม่แปรไปตามระดับกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ต้นทุนของเครื่องจักรที่ซื้อมา, ค่าเช่าที่ดิน, ค่าอาคารโรงเรือน และค่าติดตั้ง เป็นต้น
- ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) คือ ต้นทุนที่แปรตามระดับกิจกรรม เช่น ค่าวัสดุ, ค่าแรงงาน, ค่าพลังงาน (น้ำมัน, ไฟฟ้า) ต้นทุนผันแปรนี้จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวน หน่วยกิจ

ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องจ่ายจริง แต่ต้องเสียไป เนื่องจากการใช้ทรัพยากร

จุดคุ้มทุน (Breakeven Point) หมายถึง จำนวนหน่วยการผลิตหรือบริการของโครงการที่ทำให้เกิดรายรับของโครงการเท่ากับต้นทุนของโครงการ จำนวนหน่วยที่เป็นจุดคุ้มทุนนี้โครงการจะยังไม่มีกำไรหรือกำไรเป็นศูนย์

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \text{ค่าใช้จ่ายคงที่} / (\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน})$$

ระยะเวลาคืนทุน คือ การหาคำตอบว่าเมื่อใดหรือนานเท่าไรที่กิจการจะคุ้มทุนหรือจะเริ่มมีผลกำไรขึ้นมา

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ราคาซื้อเครื่อง} / \text{ผลประโยชน์สุทธิ}$$

โดยที่ ผลประโยชน์สุทธิ คือ (ผลประโยชน์ที่ได้รับ - ต้นทุนรวม)

ผลประโยชน์ที่ได้รับ คือ อัตราจ้างในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน คูณกับชั่วโมงทำงานต่อปี

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation หรือ Capital Recovery) คือ มูลค่าของทรัพย์สินที่ลดลงตามเวลาและการใช้งาน การเสื่อมราคาจะเป็นไปตลอดเวลาจนทรัพย์สินหมดอายุ โดยทั่วไปค่าเสื่อมราคาในระยะเริ่มต้นจะสูงกว่าในระยะปลายของอายุ เมื่อหมดอายุทรัพย์สินจะมีมูลค่าขายทิ้ง หรือมูลค่าขายต่อก็แล้วแต่สภาพของซาก

วิธีคำนวณค่าเสื่อมราคา คือ การคำนวณเพื่อจัดสรรการกระจายของต้นทุนของทรัพย์สินหนึ่ง หรือต้นทุนทั้งหมดของธุรกิจในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ช่วงเสื่อมราคา การคำนวณในกรณีนี้ใช้ วิธีเส้นตรง (Straight Line Depreciation)

$$DP = (P - S) / L$$

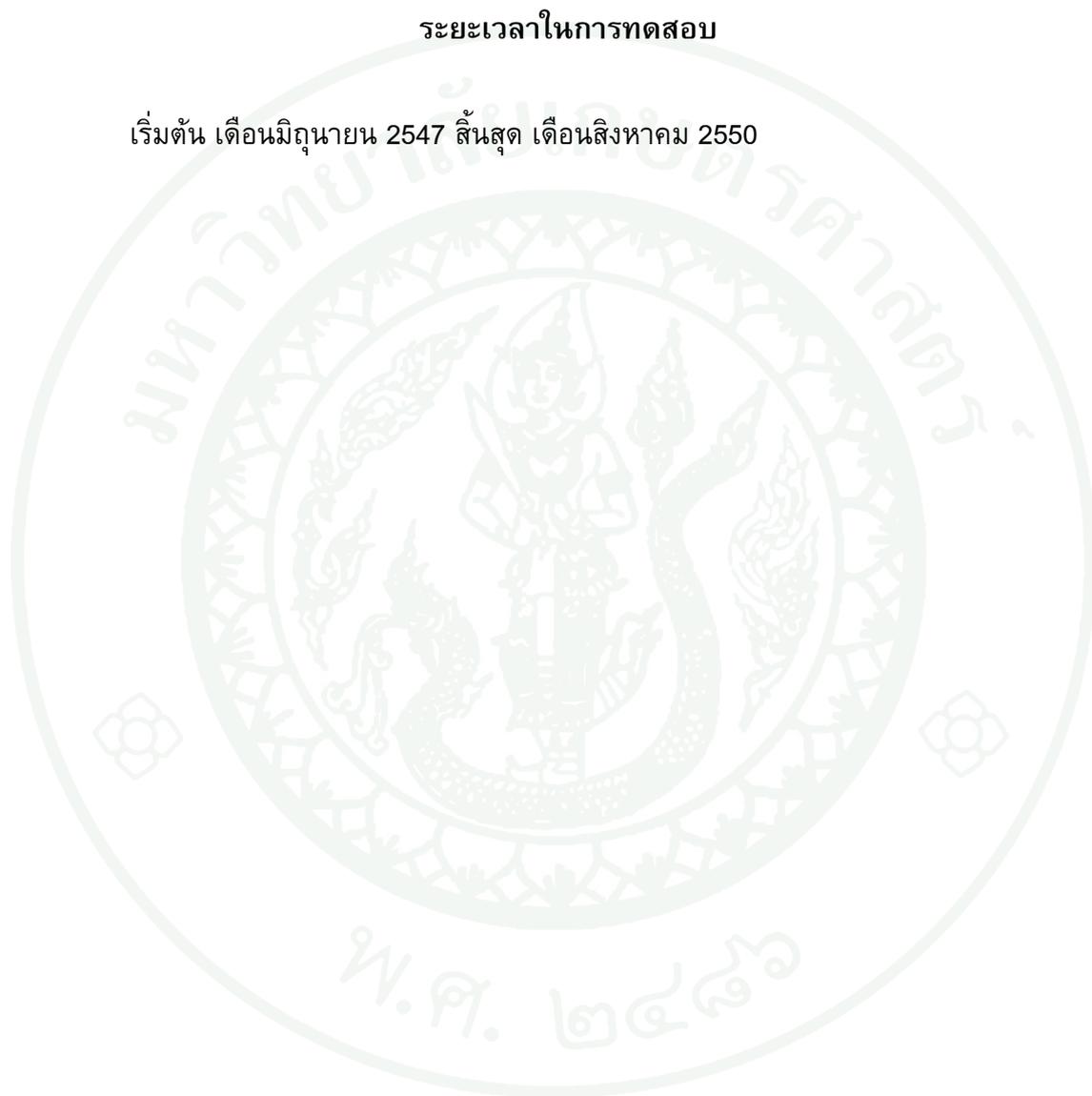
โดยที่	DP	=	ค่าเสื่อมราคา (บาท)
	P	=	ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท)
	S	=	ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)
	L	=	อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการทดสอบ

เริ่มต้น เดือนมิถุนายน 2547 สิ้นสุด เดือนสิงหาคม 2550



ผลและวิจารณ์

ผล

1. การหาคุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าว

1.1 การหาขนาดเบื้องต้นของผลมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมาออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อนและมุมในการปอกผลมะพร้าวอ่อนในสถานีปอกต่างๆ (ตารางที่ 2 และตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนจาก 3 แหล่งคือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาดโอเดียน

H (cm)	h (cm)	D (cm)	d (cm)	a ₁ (cm)	a ₂ (cm)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)
17.97	10.28	16.02	10.86	2.63	2.60	4.54	3.27
±0.53	±0.42	±0.56	±0.60	±0.30	±0.29	±0.52	±0.25

จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 นำค่าขนาดต่างๆ ของผลมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก มาวัดเป็นผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมาตรฐานโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อน โดยที่ผลมะพร้าวอ่อนมีความสูงเฉลี่ย (H) 17.97 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย (D) 16.02 cm กะลามีขนาดความสูงเฉลี่ย (h) 10.28 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (d) 10.86 cm ส่วนผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกนั้น ค่าเฉลี่ยจาก 3 ตลาดขายผลไม้ที่สำคัญพบว่า ความสูงผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมีขนาด (h₁) 13.59 cm ความสูงของไหล่ผล (g) มีขนาด 8.97 cm ความกว้างของไหล่ผลมีขนาด (dh) 12.62 cm ความกว้างของฐานผล (db) คือ 10.83 cm มุมยอดผล (γ) 35.57 องศา และมุมฐานผล (β) 84.44 องศา แต่สำหรับการผลิตแล้วจะใช้ $\gamma = 35$ องศาและ $\beta = 85$ องศา ซึ่งมุม β นี้เป็นมุมที่สำคัญมากในการออกแบบตัวจับผลมะพร้าวอ่อน และจากการหาค่าความสัมพันธ์ของมุมของฐานผลนี้ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่ามุมฐานที่ปอกจากทั้ง 3 ตลาด สำหรับการออกแบบตัวจับผลมะพร้าวอ่อนนั้นได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่น 1/3 ของกรวยตัด 3 แผ่น ซึ่งสามารถหุบและบานออกเพื่อจับผลมะพร้าวอ่อนได้ โดยอาศัยกลไกของ

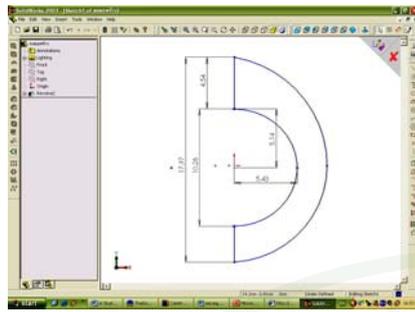
เครื่องเพื่อให้หุบและบานออกเพื่อจับและปล่อยผลมะพร้าวอ่อน ตามขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจาก 3 แหล่งคือ ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาดโอเดียน

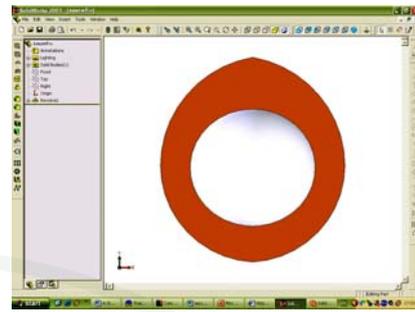
สัญลักษณ์	ขนาด	สัญลักษณ์	ขนาด
h_1	13.59 ± 0.66 cm	j_2	1.24 ± 0.45 cm
g	8.97 ± 0.48 cm	k	1.40 ± 0.35 cm
dh	12.62 ± 0.90 cm	l	0.52 ± 0.38 cm
db	10.83 ± 0.92 cm	m	8.43 ± 0.68 cm
h	10.63 ± 0.69 cm	n	8.37 ± 1.0 cm
d	11.19 ± 0.77 cm	γ	$35.57 \pm 1.93^\circ$
j_1	1.82 ± 0.29 cm	β	$84.44 \pm 1.11^\circ$

จากภาพที่ 37 จะเห็นได้ว่าเมื่อได้ค่าข้อมูลต่างๆ จากการศึกษสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำค่าเหล่านั้นมาวาดภาพในโปรแกรม SolidWork จะทำให้สามารถเห็นถึงความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นระหว่างผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก โดยมีรายละเอียดตามลำดับภาพดังนี้ (ก) ทำการวาดผลมะพร้าวอ่อน โดยที่ความสูงของผลมะพร้าวเท่ากับค่า H มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดคือ D โดยการวาดภาพนั้นกำหนดให้ผลมะพร้าวมีลักษณะคล้ายกับรูปไข่ นอกจากนี้ค่า h และ d มาวัดเป็นส่วนของกะลามะพร้าวซึ่งมีรูปทรงกลมแป้น จึงได้เป็นผลมะพร้าวอ่อนจำลองตามภาพที่ 37 (ข)

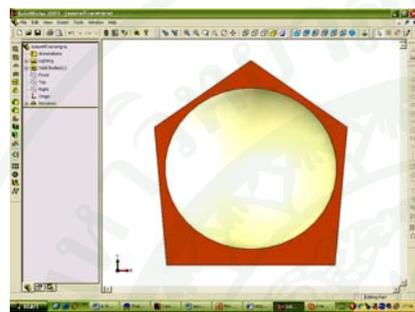
ในส่วนของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกนั้นก็ทำเช่นเดียวกันโดยนำข้อมูลที่ได้ทั้งค่า h_1 , g , dh , db , j_1 , j_2 , k , l , m , n , γ และ β วาดเป็นผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจำลองตามภาพที่ 37 (ค) จากนั้นก็นำผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมาวางซ้อนให้กะลามะพร้าวของผลมะพร้าวทั้ง 2 ชนิดซ้อนกัน ซึ่งจะได้ดังภาพที่ 37 (ง) โดยจะสังเกตเห็นว่ายอดของผลมะพร้าวอ่อนจะอยู่บริเวณก้นผลมะพร้าวอ่อน



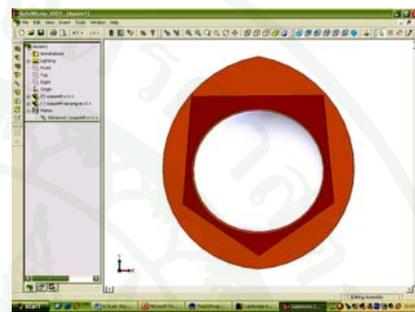
(ก)



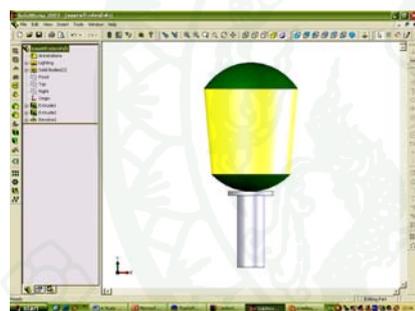
(ข)



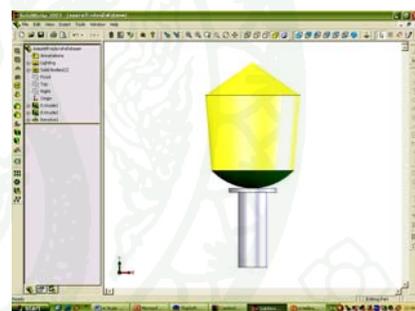
(ค)



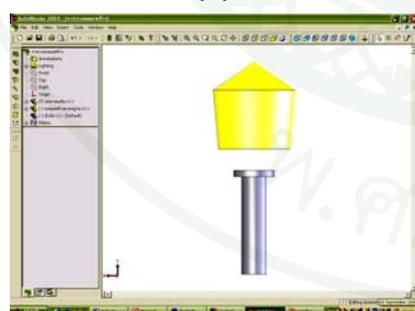
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



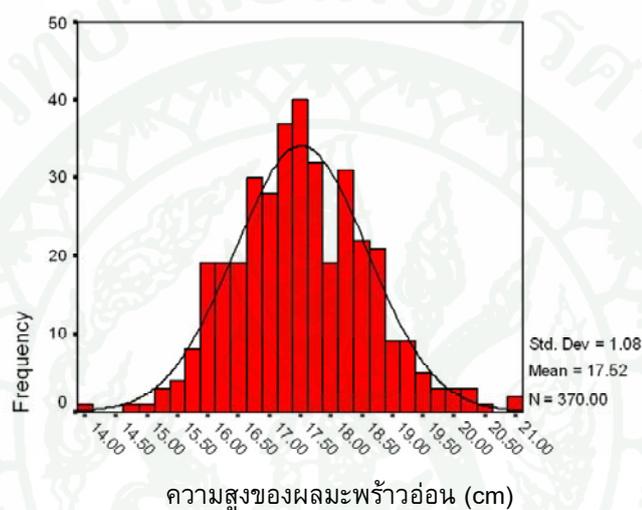
(ซ)

ภาพที่ 37 การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบ

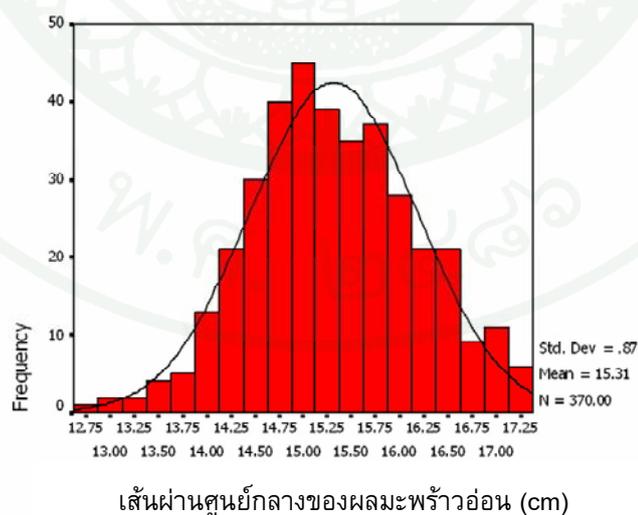
ส่วนภาพที่ 37 (จ, ฉ และซ) นั้นเป็นการจำลองการปกคลุมมะพร้าวในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ได้ผลมะพร้าวอ่อนเปลือกตามรูปทรงที่ตลาดต้องการ ภาพ (จ) คือการปกเกล้าตัวผล

ภาพ (จ) คือการปกเกล้าผล และสุดท้ายภาพ (ข) คือการตัดขั้วผล ซึ่งจะเห็นช่องว่างที่เกิดขึ้น บริเวณฐานผลมะพร้าวอ่อนปกเกล้ากับฐานรองรับในชุดจับผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งคือระยะที่ต้องตั้งมีดตัดขั้วผล นั่นคือระยะ $b_1 - j_2 = 4.54 - 1.24$ เท่ากับ 3.3 cm และภาพที่ 37 (ข) คือผลมะพร้าวอ่อนปกเกล้าจำลองที่ได้ตามความต้องการของผู้บริโภค

1.2 การศึกษาการกระจายตัวของผลมะพร้าวอ่อน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 38 การกระจายตัวของผลมะพร้าวอ่อน

ภาพที่ 38 (ก) และตารางที่ 4 แสดงการกระจายของความสูงของผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งจะเห็นว่ามี การกระจายตัวดี มาก จากผลมะพร้าวทั้งหมด 370 ผล ปรากฏว่าค่าเฉลี่ย (Mean) ความสูงของผลมะพร้าวอยู่ที่ 17.52 ± 1.08 cm และมีค่า Median = 17.47 cm ซึ่งถือว่าค่า Mean กับค่า Median ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าการกระจายของความสูงของผลมะพร้าวอ่อนนั้นเป็นแบบปกติค่อนข้างสมมาตร (กัลยา, 2549)

ภาพที่ 38 (ข) และตารางที่ 4 แสดงการกระจายของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งจะเห็นว่ามี การกระจายตัวดี มาก จากผลมะพร้าวทั้งหมด 370 ผล ปรากฏว่าค่าเฉลี่ย (Mean) เส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อนอยู่ที่ 15.31 ± 0.87 cm และมีค่า Median = 15.21 cm ซึ่งถือว่าค่า Mean กับค่า Median ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าการกระจายของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อน นั้นค่อนข้างสมมาตรกัน

ตารางที่ 4 การกระจายตัวของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวอ่อน

		ความสูงผล	เส้นผ่านศูนย์กลางผล
จำนวนตัวอย่าง		370 ผล	370 ผล
Mean		17.52 cm	15.31 cm
Median		17.47 cm	15.21 cm
Percentiles	1	15.13 cm	13.15 cm
	5	15.87 cm	13.96 cm
	25	16.80 cm	14.70 cm
	50	17.47 cm	15.21 cm
	75	18.26 cm	15.90 cm
	95	19.35 cm	16.80 cm
	99	20.30 cm	17.24 cm

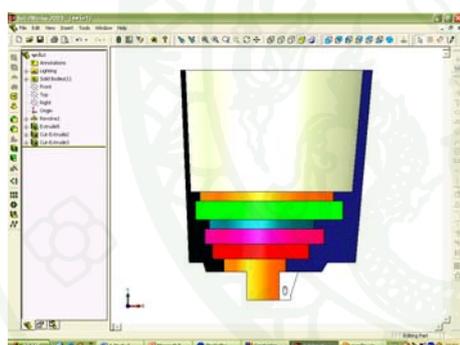
2. การออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

2.1 ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน

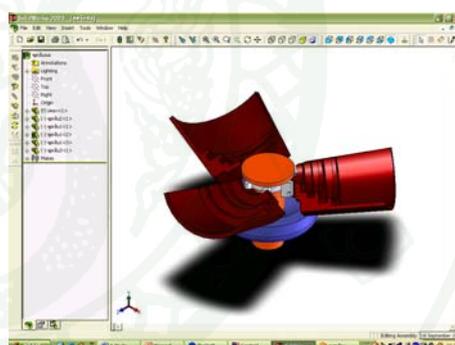
ออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อนโดยใช้ข้อมูลและภาพที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม SolidWorks ดังภาพที่ 39 (ก และข) ซึ่งภายในเมื่อประกบกันทั้ง 3 ฝา มีลักษณะเป็นกรวยทำมุม 85 องศา เป็นมุมเดียวกันกับมุม β

ภาพที่ 39 (ค และง) แสดงให้เห็นถึงการจำลองการจับผลมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปอกลำตัวเรียบร้อยแล้ว โดยที่ส่วนบริเวณใกล้กับหัวผลจะโดนจับอย่างแน่นโดยฝาจับที่มีลักษณะเป็นขอบยื่นออกมา ส่วนบริเวณส่วนโค้งผิวเกลี้ยงนั้นจะถูกบดด้วยฟองน้ำเพื่อป้องกันการชำรุดของผลมะพร้าวอ่อน

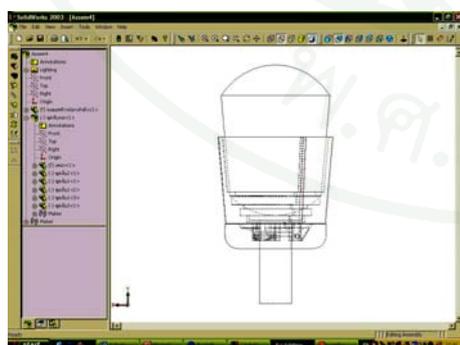
ภาพที่ 40 ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่ได้ผลิตขึ้นจริงตามแบบที่ได้ทำการออกไว้



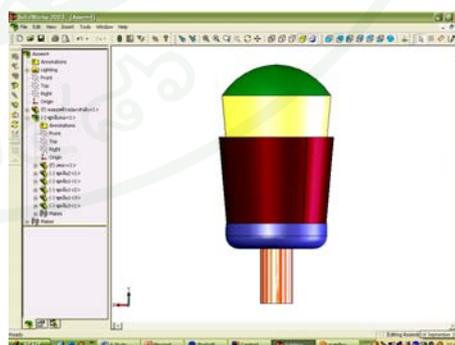
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 39 การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบชุดจับผลมะพร้าวอ่อน



ภาพที่ 40 ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ

2.2 ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน

จากข้อมูลที่ได้จากการหาค่าสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก นำค่ามุม γ มาออกแบบกรวยดันกันผลมะพร้าวอ่อน โดยที่กรวยมีมุมยอดเท่ากับ 110 องศา แล้วทำการสร้าง ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนได้ตามภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนต้นแบบ

2.3 สถานีปอกผลมะพร้าวอ่อนแต่ละสถานี

ในส่วนของสถานีปอกต่างๆนั้น (ภาพที่ 42, 43 และ 44) ข้อมูลที่ได้นำมา ออกแบบคือ ขนาดของผลมะพร้าวอ่อนทั้งความสูงผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล รวมไปถึงขนาดของกะลาภายในซึ่งจะต้องออกแบบระยะเวลาปอกให้สามารถปอกเหลือเปลือกสีเขียวน้อยที่สุด และจะต้องระวังเรื่องเสียง รวมถึงเรื่องของการปอกโดนกะลา ในส่วนของมุมมีดทั้งมุม β และมุม γ ก็ได้นำมาเป็นมุมเอียงของใบมีดปอกทั้งปอกลำตัวผลและปอกไหล่ผล ตามลำดับ



ภาพที่ 42 สถานีปอกลำตัวผล



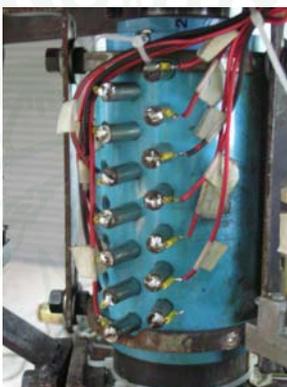
ภาพที่ 43 สถานีปอกไหล่ผล



ภาพที่ 44 สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล

2.4 สะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring)

การออกแบบ Slip ring (ภาพที่ 45) นี้สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือความต้องการในการรับส่งกระแสและสัญญาณของมอเตอร์และ Limit switch ที่ติดตั้งบนชุดก้านดินกันผลมะพร้าวอ่อนทั้ง 3 ชุด ซึ่งเมื่อคำนวณและจำเป็นจะต้องใช้ทั้งหมด 14 เส้นทาง นั่นคือ มอเตอร์ 3 ตัวใช้ 6 เส้นทาง Limit switch ทั้งหมด 6 ตัว จำเป็นต้องใช้ 8 เส้นทาง ดังนั้นจึงใช้แหวนทองเหลืองจำนวน 14 วง



ภาพที่ 45 สะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน



ภาพที่ 46 กล่องควบคุม

2.5 กล่องควบคุม

ภายในกล่องควบคุมจะบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไว้เป็นจำนวนมาก อุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดคือ PLC 2 ตัว ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX₀-30MT นอกจากนี้ภายนอกกล่องยังมี

ไฟแสดงผลการทำงานของมอเตอร์และ Limit switch ต่างๆ ไว้เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตและการปฏิบัติงาน ดังภาพที่ 46 ในส่วนของการคำนวณระบบส่งกำลังนั้นจะอยู่ในภาคผนวก ก

การทดสอบ

การทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติเบื้องต้น

การทำงานทดสอบในช่วงแรกนั้นจะเข้าไปพร้อมกับการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ โดยสามารถแยกแยะปัญหาที่เกิดขึ้นออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. โครงสร้าง

ปัญหา

ส่วนของสะพานลูกเบี้ยว ที่ก่อนหน้านั้นตัวของสะพานลูกเบี้ยวมีตำแหน่งเริ่มต้นบริเวณก่อนเข้าสู่สถานีปอกไหลผลจึงทำให้มีความชันที่มาก จนทำให้ฐานหมุนเปลี่ยนสถานะเกิดการตัดอย่างแรง

การแก้ไข

ต่อทางลาดของสะพานลูกเบี้ยวให้มาเริ่มต้นตรงบริเวณสถานีปอกลำตัวผล ดังนั้นทำให้ความชันของสะพานลูกเบี้ยวลดลง (ภาพที่ 47)



ปัญหา



การแก้ไข

ภาพที่ 47 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสะพานลูกเบี้ยว

ปัญหา

นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาขึ้นในระหว่างที่ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนขึ้นไปบนสะพานลูกเบี้ยว จะสังเกตเห็นได้ว่ายังคงมีแรงดัดที่เกิดขึ้นบริเวณเพลากลาง ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการยกตัวของชุดฐานหมุนเปลี่ยนสถานีขึ้นทั้งชุด

การแก้ไข

สร้างชุดก้ามปูเข้าสอดใต้ลูกปืนของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละชุด และจะหมุนไปพร้อมๆ กัน ซึ่งก้ามปูนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ขึ้นลงบนสะพานลูกเบี้ยวที่อยู่บริเวณสถานีปอกไหลผล (ภาพที่ 48)



ภาพที่ 48 ก้ามปูดันลูกปืนชุดจับผลมะพร้าวอ่อน

2. ชุดจับผลมะพร้าวอ่อน

ปัญหา

บริเวณฐานรองรับของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่ได้ทำการขึ้นขบยื่นขึ้นมาเพื่อจับผลมะพร้าวให้ได้ดีขึ้น ปรากฏว่าขบที่กล่าวมานี้มีความบางมากไป จึงทำให้เวลาหมุนตัวขบเข้าบาดเปลือกบริเวณหัวผลมะพร้าว ทำให้ไม่สามารถจับให้ผลมะพร้าวหมุนได้

การแก้ไข

เพิ่มขอบให้มีความหนามากขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มคัลลิปที่มีลักษณะคล้ายปลายมีดโผล่ขึ้นมาจากฐานรองรับในชุดจับผลมะพร้าวอ่อนเพื่อให้สามารถจิกนำผลมะพร้าวอ่อนให้หมุนได้ ไม่ให้เกิดการหมุนฟรี (ภาพที่ 49)



ปัญหา



ปัญหา



การแก้ไข

ภาพที่ 49 การแก้ไขชุดจับผลมะพร้าวอ่อน

ปัญหา

ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนไม่สามารถหุบได้สนิท (ภาพที่ 50 ก) ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการสร้างเครื่องในครั้งแรก ได้ใช้การส่งกำลังผ่านระบบโซ่ ซึ่งข้อเสียของโซ่คือเมื่อใช้งานไปนานๆ จะเกิดการหย่อน ทำให้ตัวชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่ติดตั้งมาบนชุดฐานหมุนเปลี่ยนสถานะ

ไม่สามารถหยุดลงได้ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งส่งผลให้การเข้าปอกของมีดปอกลำตัว ซึ่งเคลื่อนที่ตามระยะที่ได้ติดตั้ง Limit switch ไว้ การทำงานที่ไม่สอดคล้องกันนี้ทำให้เกิดการปอกที่ผิดพลาด คือมีขนาดไม่ถูกต้องตามต้องการ เมื่อผลเคลื่อนที่ต่อไปยังสถานีปอกไหล่ผล ทำให้ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนซึ่งออกแบบมาให้รับกับผลมะพร้าวอ่อนตามรูปทรงที่ได้ทำการออกแบบมาข้างต้น ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนจึงไม่สามารถจับผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกลำตัวแล้วได้พอดี

การแก้ไข

เปลี่ยนระบบการส่งกำลังใหม่ โดยการใช้เฟืองเข้ามาช่วยซึ่งทำให้การปอกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 50 ข และ ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 50 ปัญหาและการแก้ไขปัญหาของกรณีชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหุบไม่สนิท

3. สถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผล

ปัญหา

ในสถานีนี้ปัญหาได้เกิดขึ้น 2 ข้อ คือในส่วนของใบมีดตัดขั้วซึ่งไม่สามารถตัดได้หมด เพราะส่วนของเปลือกบริเวณแกนขั้วจะมีความอ่อนมากทำให้หลุดได้ง่ายก่อนที่ใบมีดจะเข้าตัดได้ถึงจุดศูนย์กลางผล อีกส่วนคือการเคลื่อนที่เข้าปอกของโครงชุดมีดตัดกัน ในกรณีเริ่มทำงาน หากโครงชุดมีดตัดขั้วไม่เข้าที่คือบริเวณที่ติดตั้ง Limit switch LS302 เมื่อกดสวิทช์เริ่มทำงานจะทำให้ตัวชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหมุนเข้าชนกับตัวโครงชุดมีดตัดขั้ว ซึ่งเป็นอันตราย

การแก้ไข

ในกรณีของการตัดขั้วไม่หมดนั้น (ภาพที่ 51 ก) ได้ทำการเปลี่ยนใบมีดตัดขั้วและลับให้มีความคมอยู่ตลอดเวลา ก็จะทำให้สามารถตัดขั้วได้ขาด (ภาพที่ 51 ข และ ค)

ส่วนของกรณีชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหมุนตีกับตัวโครงของชุดมีดตัดขั้วนั้น (ภาพที่ 52) ได้ทำการแก้ไขโดยการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมคือ หากขณะกดสวิทช์เริ่มการทำงานแต่ Limit switch LS302 ไม่ได้แสดงค่าว่าถูกสัมผัสอยู่จะไม่สามารถกดสวิทช์ให้เครื่องปอกเปลือกทำงานได้



(ก)



(ข)



(ค)

(ก) ลักษณะขั้วที่ตัดไม่หมด

(ข) ใบมีดแบบเก่าจะคั่นข้างหนา (2 มิลลิเมตร)

(ค) ใบมีดแบบใหม่จะบางกว่า (1 มิลลิเมตร)

ภาพที่ 51 ปัญหาของการตัดขั้วผล



ภาพที่ 52 สภาพของชุดจับผลมะพร้าวอ่อนที่หมุนชนกับตัวโครงตัดขั้วผล

4. ก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน

ปัญหา

เกิดขึ้นกับส่วนของกรวยดันกันผลมะพร้าวอ่อน ตรงบริเวณแผ่นยางที่รองรับยอด คือ จะเกิดการเสียดสีขึ้นจนทำให้แผ่นยางสึกหรอ (ภาพที่ 53)

การแก้ไข

เปลี่ยนแผ่นยางให้มีความแข็งแรงคงทน เพื่อลดการสึกหรอ

ปัญหา

เกิดการสั่นขึ้นบริเวณมอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งการสั่นทำให้เกิดผลกระทบกับการเพิ่มขึ้นของเสียง (ภาพที่ 54 ก)

การแก้ไข

นำแผ่นเหล็กมาเชื่อมระหว่างชุดก้านดันกันผลกับแกนยึดบนชุดฐานหมุนเปลี่ยนสถานะ ทั้งนี้สามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนได้อย่างมาก (ภาพที่ 54 ข)



ภาพที่ 53 สภาพของแผ่นยางรองรับยอดภายในกรวยก้านดันกันผล



(ก) ไม่มีแผ่นเหล็กเชื่อมต่อ



(ข) ใส่แผ่นเหล็กเชื่อมต่อระหว่างแผ่นรอง DC มอเตอร์กับเหล็กยึดชุดก้านดันกันผล

ภาพที่ 54 ปัญหาและการแก้ไขของชุดก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อน

5. สะพานไฟป้องกันสายไฟพันกัน (Slip ring)

ปัญหา

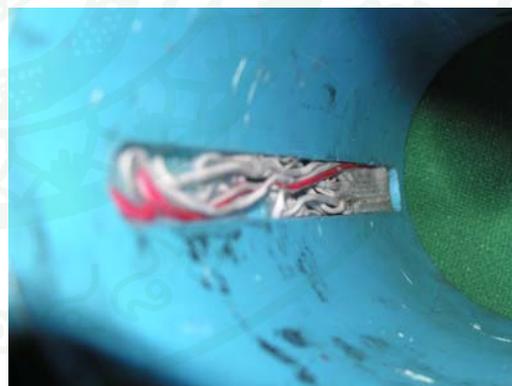
Slip ring ชุดแรกนั้นตัวแหวนทำจากเหล็กธรรมดา เมื่อใช้ไปสักระยะทำให้เกิดสนิมขึ้น (ภาพที่ 55 ก) จึงไม่สามารถส่งผ่านกระแสไฟฟ้าได้ รวมทั้งสายไฟที่มีประสบการณ์การเก็บที่ไม่ดีพอเลยทำให้เกิดปัญหาการเสียดสีกันจนขาด (ภาพที่ 55 ข) อีกอย่างคือแหวนของ Slip ring ชุดแรกมีมากเกินไปจนความจำเป็นคือ 17 วง ทำให้ขนาดของวงแหวนมีขนาดเล็ก เมื่อเกิดการเสียดสีกันกับแปรงถ่าน ทำให้แปรงถ่านไม่เรียบเสมอกัน เพราะอาจตกขอบของวงแหวนซึ่งเป็นปัญหาทำให้ไม่สามารถส่งกระแสไฟฟ้าผ่านไป

การแก้ไข

เปลี่ยนวัสดุทำวงแหวนมาเป็นทองเหลืองซึ่งไม่เกิดสนิม รวมถึงการลดจำนวนของแหวนมาใช้เท่าที่จำเป็นคือ 14 วง (ภาพที่ 56) จึงทำให้ขนาดของหน้ากว้างเพิ่มมากขึ้น แปรงถ่านจึงไม่ตกขอบ ในส่วนของสายไฟมีการเก็บอย่างดีโดยปิดหุ้มด้วยท่อ PVC อีกชั้นเพื่อไม่ให้มีสิ่งอื่นสิ่งใดเข้ารบกวนได้

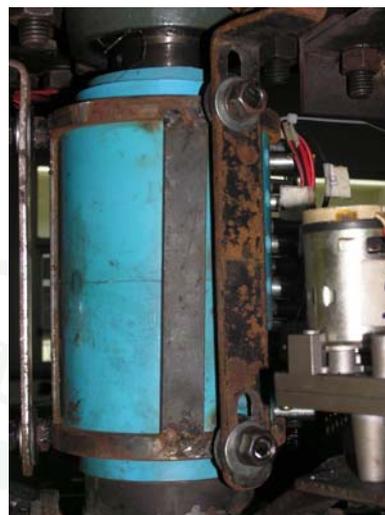


(ก)



(ข)

ภาพที่ 55 ปัญหาของ Slip ring



ภาพที่ 56 การแก้ไขปัญหของ Slip ring

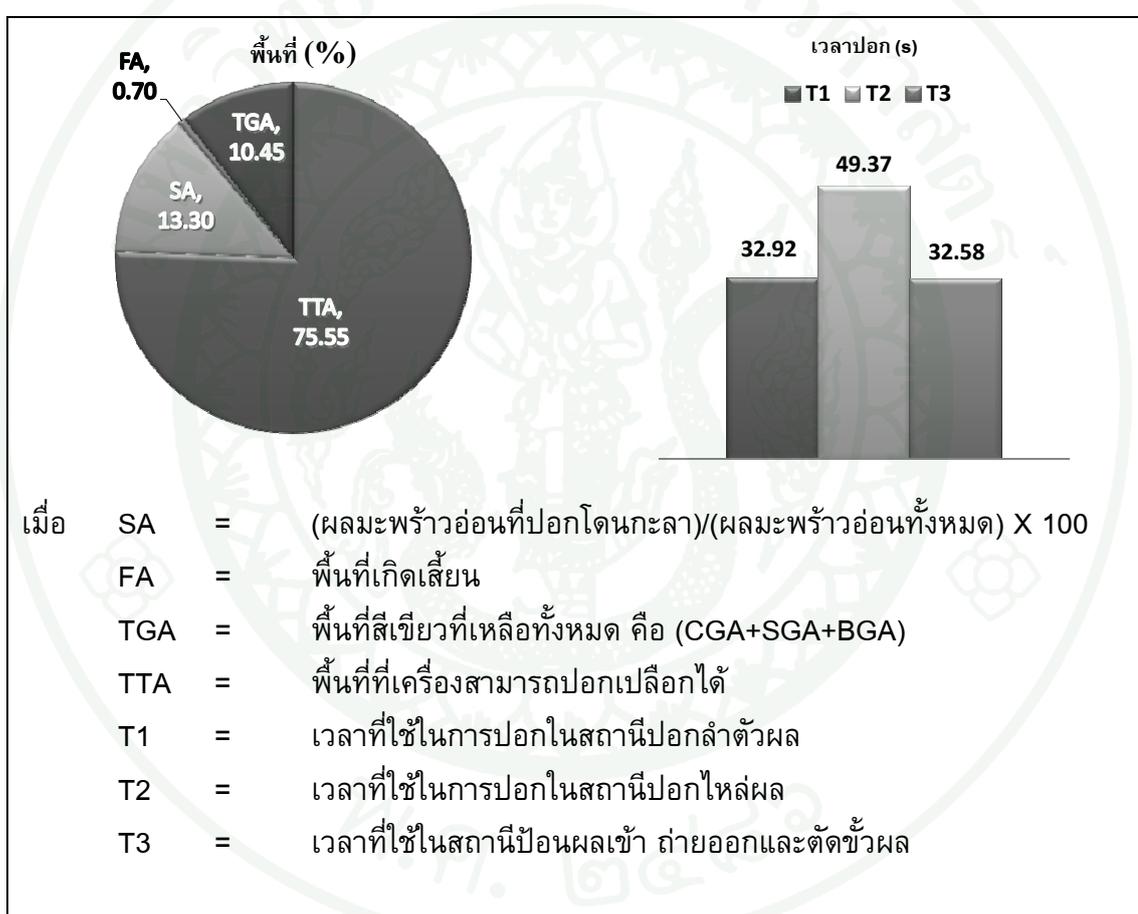
การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูง ยอด h ₁ (cm)	ความสูง ไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.41 ±0.75	14.77 ±0.67	1586 ±160	12.63 ±0.34	8.60 ±0.31	12.05 ±0.30	11.09 ±0.24	941 ±48.69

จากตารางที่ 5 และ ภาพที่ 57 การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 60 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.41 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.77 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1586 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเฉลี่ย 941.74 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 12.63 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 8.60 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.05 cm และ 11.09 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 3.78 cm² คิดเป็นร้อยละ 0.7 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 57.34 cm² คิดเป็น 10.45% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 2.19 cm² คิดเป็น 0.4% ไหล่ผล 42.05 cm²

คิดเป็น 7.68% ฐานผล 13.11 cm² คิดเป็น 2.37% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิทั้งหมด 8 ผล คิดเป็น 13.3% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานี ปอกลำตัวเฉลี่ย 32.92 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 49.37 วินาที และสถานีตัดกันผล 32.58 วินาที รวมเฉลี่ย 114.87 วินาที ซึ่งคิดเป็น ประมาณ 31 ผล/ชั่วโมง แต่ถ้าคิดเป็นการปอกแบบต่อเนื่อง โดยจะใช้เวลาที่มากที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 73 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 16.66 และปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ ของทุกตัวแปร ระหว่างชุดจับผลและกำหนดกันผล มะพร้าวอ่อนแต่ละคู่ ทั้ง 3 คู่

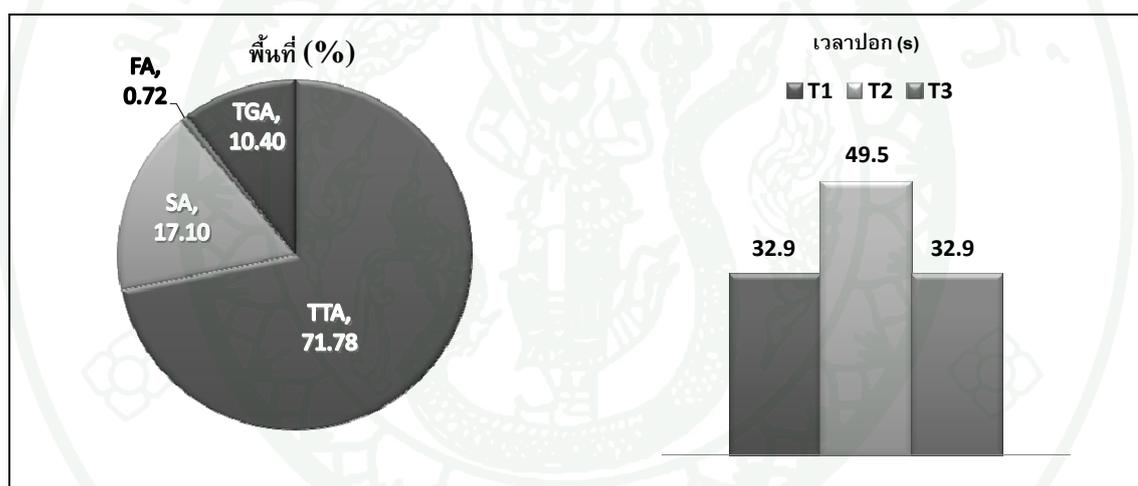


ภาพที่ 57 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 6 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h ₁ (cm)	ความสูงไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.07	14.53	1506	12.42	8.43	12.03	10.88	941
±1.00	±0.66	±208	±0.67	±0.61	±0.41	±0.47	±82.78



ภาพที่ 58 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง

การทดสอบแบบต่อเนื่อง (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 58) โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 70 ผล แบ่งเป็น 2 ครั้งคือ 30 ผล และ 40 ผล การแบ่งผลมะพร้าวอ่อนออกเป็นสองชุดนั้น เนื่องจากเกิดความเสียหายขึ้นกับเครื่องในระหว่างการทดสอบ จึงต้องหยุดเพื่อซ่อมแซมหลายวัน ผลปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.07 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.53 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1506 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 941 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 12.42 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 8.43 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.03 cm และ 10.88 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 3.82 cm² คิดเป็นร้อยละ 0.72 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 54.94 cm² คิดเป็น 10.4% ซึ่ง

แยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 0.42 cm^2 คิดเป็น 0.1% ใหลผล 27.38 cm^2 คิดเป็น 5.23% ฐานผล 26.75 cm^2 คิดเป็น 4.97% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามทั้งหมด 12 ผล คิดเป็น 17.1% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 32.93 วินาที สถานีปอกใหลผล 49.53 วินาที และสถานีตัดกันผล 32.90 วินาที รวมเฉลี่ย 115.36 วินาที ซึ่งคิดเป็น ประมาณ 31 ผล/ชั่วโมง แต่ถ้าคิดเป็นการปอกแบบต่อเนื่องโดยจะใช้เวลาที่มากที่สุดในสถานีปอกใหลผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 72 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 4.28

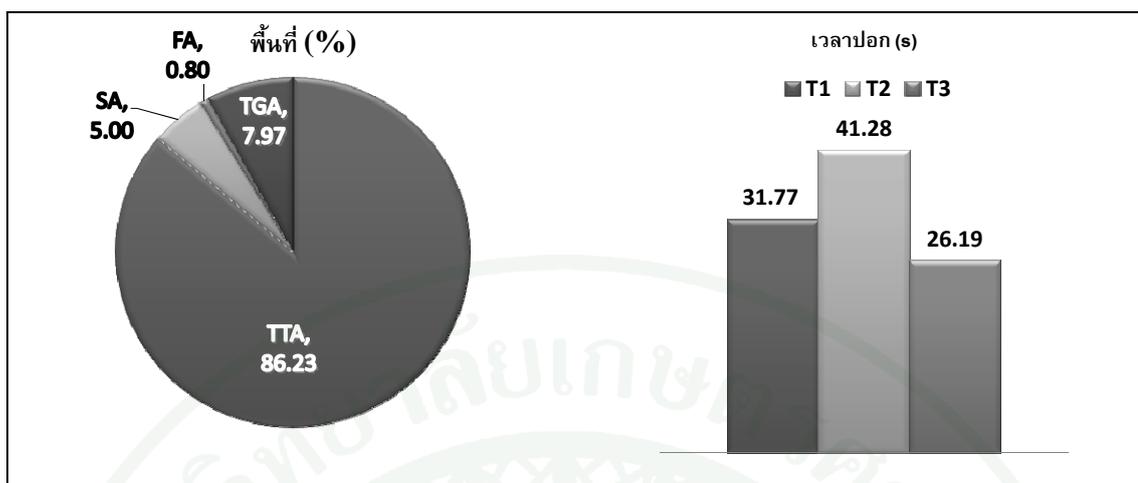
สำหรับการปอกแบบต่อเนื่องนั้น ผลรวมของเวลาในการทำงานคือ T1, T2 และ T3 นั้นจะเป็นเวลาที่ใช้ในการปอกผลเพียงผลแรกเท่านั้น ส่วนผลมะพร้าวอ่อนผลต่อๆ ไปนั้นจะเป็นเวลา T2 เป็นหลัก ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้มากที่สุดในช่วงตอนการปอกผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนนั้นจะเป็นฟังก์ชันของการทำงานที่สั่งการไว้ในคำสั่งที่อยู่ในการออกแบบ PLC

การทดสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

การทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch

ตารางที่ 7 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูง ยอด h ₁ (cm)	ความสูง ใหลผล g (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ใหลผล dh (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.23	14.72	1614	12.96	8.95	12.02	10.95	991
±0.75	±0.57	±134	±0.67	±0.43	±0.43	±0.43	±58.59



ภาพที่ 59 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch

จากตารางที่ 7 และภาพที่ 59 การทดสอบปรับเปลี่ยน Limit switch โดยใช้ผลมะพร้าว จำนวน 20 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.23 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.72 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1614 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 991 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 12.96 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 8.95 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.02 cm และ 10.95 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 4.65 cm^2 คิดเป็นร้อยละ 0.8 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 46.48 cm^2 คิดเป็น 7.97% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 0.49 cm^2 คิดเป็น 0.09% ไหล่ผล 22.48 cm^2 คิดเป็น 4.01% ฐานผล 23.52 cm^2 คิดเป็น 3.87% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิทั้งหมด 1 ผล คิดเป็น 5% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 31.77 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 41.28 วินาที และสถานีตัดกันผล 26.19 วินาที รวมเฉลี่ย 99.24 วินาที ซึ่งคิดเป็น ประมาณ 36 ผล/ชั่วโมง แต่ถ้าคิดเป็นการปอกแบบต่อเนื่องโดยจะใช้เวลาที่มากที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 87 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 5

ในส่วนของการทดสอบปรับเปลี่ยนระยะของ Limit switch นั้น ก็เพื่อเป็นการลดเวลาในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งจะทำให้ความสามารถของเครื่องเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนระยะการติดตั้ง Limit switch LS103 LS104 LS203 และ LS204 นั้นทำให้สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้เร็วขึ้นกว่าการทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติเบื้องต้นแบบต่อเนื่องถึง 14% โดยที่ชุดมิดปอกไหล่ผลสามารถลดเวลาในการปอก

ได้มากกว่าที่ชุดมีดปอกลำตัวผล นั้นเป็นเพราะระยะห่างระหว่าง Limit switch LS103 กับ LS104 มีค่าลดลงน้อยกว่า Limit switch LS203 กับ LS204 ซึ่งผลจากการปรับเปลี่ยนระยะของ Limit switch LS203 นั้นทำให้เวลา T3 มีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก LS203 นั้นเป็น Limit switch ที่ควบคุมการทำงานของเพลาชับ และก้านดันกันผลมะพร้าวอ่อนที่อยู่ในสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดขั้วผลในขณะนั้น ตามคำสั่งของ PLC และจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกโดนกะลา และเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกสีเขียวมีค่าลดลง 5% และ 8% ตามลำดับ ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ เช่น เปอร์เซ็นต์พื้นที่สีเขียว เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปลือกเขียวที่ยอด เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปลือกเขียวไหลผล มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

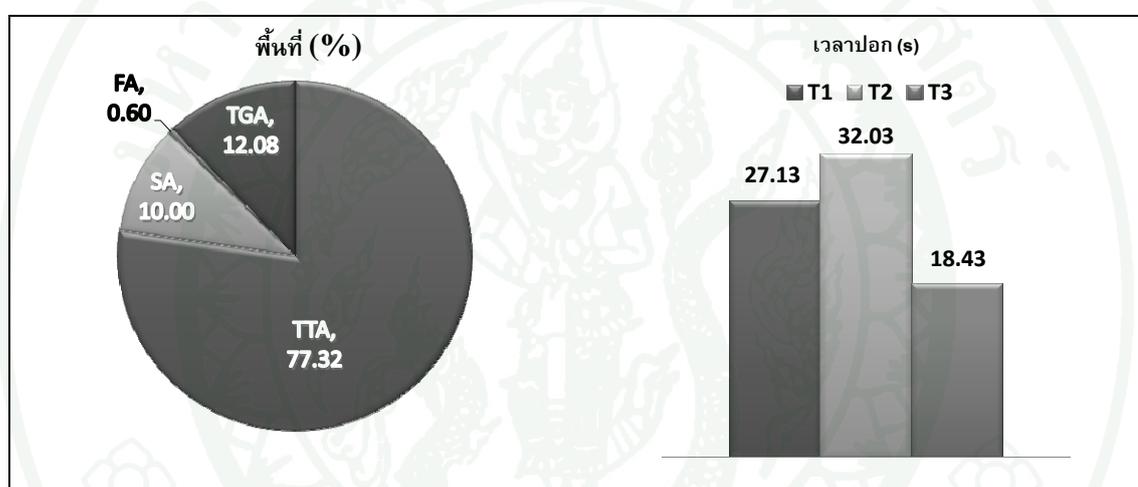
การที่เวลาที่ใช้ในการปอกไหลผลมะพร้าวอ่อนมากกว่าเวลาที่ใช้ในการปอกลำตัวผลนั้น เนื่องจากระยะทางในการเคลื่อนที่ของชุดมีดทั้ง 2 แตกต่างกัน โดยที่ระยะทางของชุดมีดปอกไหลผลมะพร้าวอ่อนนั้นจะมีระยะ 5.5 cm ในขณะที่ระยะการเดินทางของชุดมีดปอกลำตัวผลจะมีระยะเพียง 2.5 cm

การทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมีด

จากตารางที่ 8 และภาพที่ 60 การทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ จาก 110 รอบต่อนาที เป็น 300 รอบต่อนาที โดยปรับที่หม้อแปลงไฟฟ้าจาก 12V เป็น 24V ควบคุมชุดมีดโดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 20 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.09 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.28 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1651 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 998 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 12.86 cm ความสูงจากฐานถึงไหลผลเฉลี่ย 9.14 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหลผลและที่ฐานผลยาว 11.89 cm และ 10.97 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่สีเขียวและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่สีเขียวเกิดขึ้นเฉลี่ย 3.33 cm^2 คิดเป็นร้อยละ 0.6 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 67.14 cm^2 คิดเป็น 12.08% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 4.06 cm^2 คิดเป็น 0.73% ไหลผล 31.45 cm^2 คิดเป็น 5.66% ฐานผล 31.63 cm^2 คิดเป็น 5.69% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิทั้งหมด 1 ผล คิดเป็น 5% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 27.13 วินาที สถานีปอกไหลผล 32.03 วินาที และสถานีตัดกันผล 18.43 วินาที รวมเฉลี่ย 77.59 วินาที ซึ่งคิดเป็น ประมาณ 46 ผล/ชั่วโมง แต่ถ้าคิดเป็นการปอกแบบต่อเนื่องโดยจะใช้เวลาที่มากที่สุดในสถานีปอกไหลผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 112 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 5

ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมิต

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h ₁ (cm)	ความสูงไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.09 ±1.01	15.28 ±0.66	1,651 ±104	12.86 ±0.52	9.14 ±0.49	11.89 ±0.55	10.97 ±0.54	998 ±49.46



ภาพที่ 60 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ควบคุมชุดมิต

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนชุดมิตปอกทั้ง 2 ชุดคือ MS102 และ MS202 ของชุดมิตปอกลำตัวผลและชุดมิตปอกไหล่ผล ตามลำดับ สามารถเพิ่มความสามารถในการปอกผลมะพร้าวอ่อนขึ้นได้อีกด้วย โดยเมื่อเพิ่มความเร็วของ DC มอเตอร์ทั้ง 2 ตัวนั้นทำให้ความสามารถของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนอยู่ที่ 77.6 วินาที/ผล ซึ่งเวลาจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนเบื้องต้นแบบต่อเนื่อง และการทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนระยะ Limit switch คือ 32.7% และ 27.9% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าโวลท์จาก 12 V เป็น 24 V ของ DC มอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ความเร็วไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นไปดังที่ได้แสดงไว้ใน Nameplate ของมอเตอร์ที่ออกจากโรงงานโดยดูได้จากค่า T1 และ T2 ที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 59 และภาพที่ 60

$$\frac{\text{เวลาที่ใช้ในการปกเกล้าตัวผลในการทดสอบปรับเปลี่ยนระยะ Limit switch}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปกเกล้าตัวผลในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์}} = \frac{31.77}{27.13} \cong 1.17$$

$$\frac{\text{เวลาที่ใช้ในการปกเกล้าผลในการทดสอบปรับเปลี่ยนระยะ Limit switch}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปกเกล้าผลในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์}} = \frac{41.28}{32.03} \cong 1.29$$

ซึ่งถือได้ว่าเป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน และตามที่ Nameplate ของ DC มอเตอร์ได้แสดงอัตราส่วนของความเร็วเอาไว้มากว่าที่ $300/110 \cong 2.73$ นั้น แต่ความเร็วจริงของมอเตอร์ที่ใช้มีอัตราส่วนน้อยกว่าที่แสดงไว้ใน Nameplate อยู่ประมาณ 1.2-1.3 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นเป็นมอเตอร์เก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่งประสิทธิภาพของมอเตอร์อาจจะต่ำกว่ามอเตอร์ใหม่ที่ออกจากโรงงาน ส่วนความเร็วในส่วนของมีดตัดข้าวผลนั้น T3 จะลดลงตามการปรับระยะ Limit switch LS203 ซึ่งจะทำให้ เวลา T3 ลดลงไปด้วย

การทดสอบระดับใบมีดปกเกล้าผล ที่ 6 ระดับ

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปกเกล้าที่ที่ใช้ในการทดสอบระดับใบมีดปกเกล้าผล ที่ 6 ระดับ

ขนาด	ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปกเกล้า				
	ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h ₁ (cm)	ความสูงไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
S	15.75 ±0.28	13.39 ±0.54	1312 ±136	12.28 ±0.60	8.6 ±0.38	11.80 ±0.29	10.50 ±0.46	939 ±56
M	17.51 ±0.29	14.37 ±0.55	1587 ±141	13.21 ±0.32	9.32 ±0.39	11.56 ±0.39	10.24 ±0.37	1015 ±79
L	19.42 ±0.36	15.58 ±0.90	1942 ±225	15.71 ±0.37	11.78 ±0.4	12.55 ±0.45	11.00 ±0.43	1234 ±97

ตารางที่ 10 Duncan Multiple Range test on the quality ของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก ใน การทดสอบระดับใบมีดปอกไหลผล ที่ 6 ระดับ

Quality Parameters	Height (cm)					
	Small		Medium		Large	
	15	16	17	18	19	20
SA (%)	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.22 ±0.47	0.00 ±0.00	0.37 ±1.76	0.30 ±0.85
FA (%)	0.07 ±0.18a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.08 ±0.24a	1.39 ±2.90b	1.15 ±2.87b
CGA (%)	1.53 ±2.43b	1.91 ±2.48b	0.30 ±0.55a	0.76 ±0.78ab	0.15 ±0.37a	4.16 ±2.05c
SGA (%)	14.54 ±8.51cd	22.04 ±9.77de	9.75 ±7.83ab	10.62 ±5.09bc	5.87 ±4.46a	22.42 ±6.02e
BGA (%)	7.19 ±5.23b	10.77 ±5.04b	4.83 ±3.18a	4.12 ±3.44a	2.69 ±2.71a	3.95 ±4.29a
TGA (%)	23.26 ±11.43c	34.72 ±15.03c	14.88 ±10.61ab	15.5 ±7.5b	8.71 ±5.32a	30.53 ±9.29c

จากตารางที่ 9 การทดสอบระดับใบมีดปอกไหลผลกับผลขนาดเล็กที่ระดับใบมีด 15 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 15.76 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 13.68 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1412 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 974 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 12.51 cm ความสูงจากฐานถึงไหลผลเฉลี่ย 8.65 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหลผลและที่ฐานผลยาว 11.94 cm และ 10.77 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.39 cm² คิดเป็นร้อยละ 0.07 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 124.02 cm² คิดเป็น 23.26% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 7.83 cm² คิดเป็น 1.53% ไหลผล 77.21 cm² คิดเป็น 14.54% ฐานผล 38.98 cm² คิดเป็น 7.19% ไม่มีผลมะพร้าวที่โดนกะลา ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 27.02 วินาที สถานีปอกไหลผล 33.19 วินาที และสถานีตัดกันผล 17.27 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในสถานีปอกไหลผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 108 ผล/ชั่วโมง ไม่มีผลมะพร้าวเสียหาย

การทดสอบระดับใบมีดปอกไหลผลกับผลขนาดเล็กที่ระดับใบมีด 16 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 15.74 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 13.11 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1212 g เมื่อทำการปอกแล้ว

น้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 854 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 11.46 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 8.54 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 11.63 cm และ 10.30 ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่าไม่มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้น พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 173.61 cm^2 คิดเป็น 34.72% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 9.58 cm^2 คิดเป็น 1.91% ไหล่ผล 110.25 cm^2 คิดเป็น 22.04% ฐานผล 53.77 cm^2 คิดเป็น 10.77% ไม่มีผลมะพร้าวที่โดนกะลา ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 26.47 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 33.32 วินาที และสถานีตัดกันผล 17.31 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 108 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหายทั้งหมด 4 ผล คิดเป็น 16%

การทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผลกับผลขนาดกลางที่ระดับใบมีด 17 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.52 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.22 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1525 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1010 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 13.62 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 9.56 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 11.72 cm และ 10.42 ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่าไม่มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้น พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 81.89 cm^2 คิดเป็น 14.88% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 1.65 cm^2 คิดเป็น 0.3% ไหล่ผล 53.59 cm^2 คิดเป็น 9.75% ฐานผล 26.64 cm^2 คิดเป็น 4.83% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามีทั้งหมด 4 ผล คิดเป็น 16% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 26.57 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 32.16 วินาที และสถานีตัดกันผล 17.27 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 111 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 4 ผล คิดเป็น 16%

การทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผลกับผลขนาดกลางที่ระดับใบมีด 18 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.50 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.52 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1649 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1100 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 13.91 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 9.86 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.23 cm และ 10.91 ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.5 cm^2 คิดเป็นร้อยละ 0.08 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 92.21 cm^2 คิดเป็น 15.50% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 4.53 cm^2 คิดเป็น 0.76% ไหล่ผล

63.08 cm² คิดเป็น 10.62% ฐานผล 24.60 cm² คิดเป็น 4.12% ไม่มีผลมะพร้าวที่โดนกะลา ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 27.10 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 32.22 วินาที และสถานีตัดกันผล 18.85 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในการปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 111 ผล/ชั่วโมง ไม่มีผลมะพร้าวเสียหาย

การทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผลกับผลขนาดใหญ่ที่ระดับใบมีด 19 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 19.69 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.98 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 2093 g เมื่อทำการปอกแล้ว น้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1248 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 15.87 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 11.55 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.66 cm และ 11.10 ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 9.23 cm² คิดเป็นร้อยละ 1.39 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 59.48 cm² คิดเป็น 8.71% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 0.99 cm² คิดเป็น 0.15% ไหล่ผล 39.65 cm² คิดเป็น 5.87% ฐานผล 18.84 cm² คิดเป็น 2.69% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามีทั้งหมด 1 ผล คิดเป็น 4 % ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 26.87 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 27.47 วินาที และสถานีตัดกันผล 16.15 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 131 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 3 ผล คิดเป็น 12%

การทดสอบระดับใบมีดปอกไหล่ผลกับผลขนาดใหญ่ที่ระดับใบมีด 20 cm โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 25 ผล ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 19.14 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.18 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1792 g เมื่อทำการปอกแล้ว น้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1222 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 15.55 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 12.01 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.43 cm และ 10.91 ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 7.85 cm² คิดเป็นร้อยละ 1.15 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 206.26 cm² คิดเป็น 30.53% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 28.11 cm² คิดเป็น 4.16% ไหล่ผล 151.2 cm² คิดเป็น 22.42% ฐานผล 26.95 cm² คิดเป็น 3.95% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามีทั้งหมด 3 ผล คิดเป็น 12% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 27.19 วินาที สถานีปอกไหล่ผล 29.05 วินาที และสถานีตัดกันผล 17.44 วินาที ใช้เวลาที่ยาวที่สุดในสถานีปอกไหล่ผล ซึ่งเมื่อคิดแล้วจะปอกมะพร้าวได้ประมาณ 123 ผล/ชั่วโมง มีผลมะพร้าวเสียหาย 2 ผล คิดเป็น 8%

ในการทดสอบระดับไบมิติปอกไหล้ผลแสดงให้เห็นว่า ความสูงและขนาดผลมะพร้าวอ่อน มีผลกระทบต่อเวลาในการทำงานของเครื่องและความสามารถในการผลิต อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ ตามตารางที่ 10 สำหรับผลมะพร้าวอ่อนขนาดเล็กปรากฏว่าความสูงของชุดมิติปอกไหล้ที่เหมาะสมคือ 15 cm ซึ่งมีค่าของ %CGA, %SGA, %BGA และ %TGA น้อยกว่าที่ระดับ 16 cm ในขณะที่ที่ระดับมิติปอกไหล้ที่ 16 cm จะมี %SA และ %FA เป็นศูนย์

สำหรับผลมะพร้าวอ่อนขนาดกลางนั้นระดับความสูงที่เหมาะสมของชุดมิติปอกไหล้คือที่ 17 cm เพราะค่าตัวแปรอื่นๆ ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ ของทุกตัวแปรในขนาดของผลมะพร้าวอ่อนขนาดกลาง

สำหรับผลมะพร้าวอ่อนขนาดใหญ่ระดับความสูงของชุดไบมิติปอกไหล้ที่เหมาะสมคือ 19 cm ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าที่ระดับ 20 cm

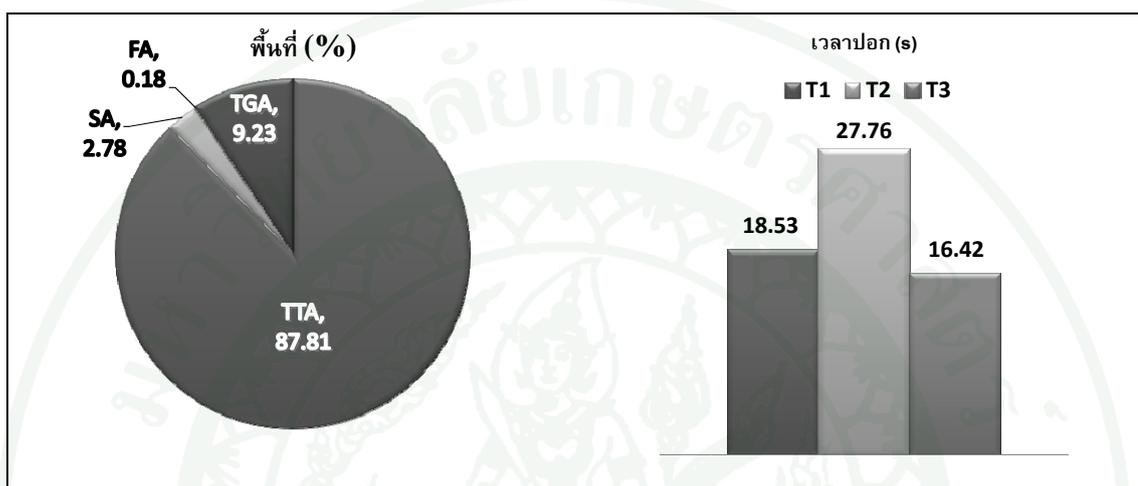
การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนไบมิติ

ตารางที่ 11 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนไบมิติ (แบบเก่า)

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h_1 (cm)	ความสูงไหล้ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล้ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.44	15.18	1638	14.28	9.81	12.39	10.95	992
± 0.71	± 0.41	± 174	± 0.25	± 0.40	± 0.42	± 0.45	± 87.29

จากตารางที่ 11 และภาพที่ 61 การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนไบมิติ โดยใช้ผลมะพร้าวจำนวน 36 ผล แบ่งเป็น 3 ชุด ชุดละ 12 ผลต่อการเปลี่ยนมิติ 1 ครั้ง สำหรับการเปลี่ยนชุดมิติแบบเก่า ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวอ่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.44 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.18 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1638 g เมื่อทำการปอกแล้ว น้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 992 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 14.28 cm ความสูงจากฐานถึงไหล้ผลเฉลี่ย 9.81 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล้ผลและที่ฐานผลยาว 12.39 cm และ 10.95 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่ามีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 1.09 cm^2 คิดเป็นร้อยละ 0.18 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 56.01 cm^2

คิดเป็น 9.23% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 0.70 cm² คิดเป็น 0.12% ใหลผล 34.14 cm² คิดเป็น 5.64% ฐานผล 21.17 cm² คิดเป็น 3.47% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิ ทั้งหมด 1 ผล คิดเป็น 2.78% ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแยกเป็นสถานีได้ ดังนี้ สถานีปอกลำตัวเฉลี่ย 18.53 วินาที สถานีปอกใหลผล 27.76 วินาที และสถานีตัดก้นผล 16.42 วินาที ไม่มีผลมะพร้าวอ่อนเสียหาย



ภาพที่ 61 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบเก่า)

ตารางที่ 12 เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด ชุดใบมีดแบบ斬ันน้อด 3 ตัว (แบบเก่า))

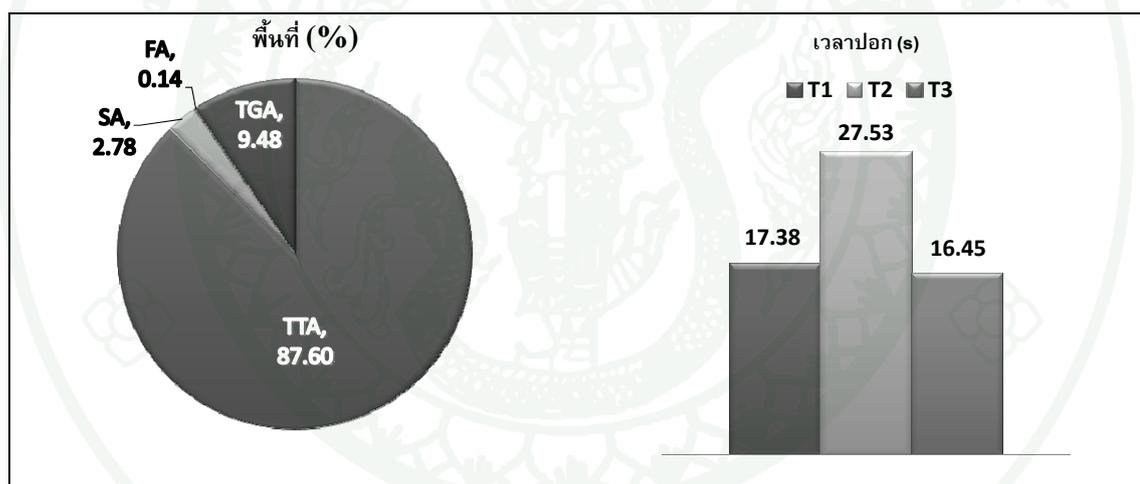
เปลี่ยนมีดลำตัว		เปลี่ยนมีดปอกใหล		เวลารวม	
1	03:19.5	1	02:30.8		46:35.0
2	03:21.3	2	03:47.2	เวลาเปลี่ยนมีด	21:40.2
3	04:54.5	3	03:47.0	เวลาปอก+ป้อน	24:54.8
รวม	11:35.3	รวม	10:04.9	เวลาปอก	16:10.9
เฉลี่ย	03:51.8	เฉลี่ย	03:21.6	เวลาถ่ายออกและป้อน	08:43.9
				เฉลี่ยป้อน+ถ่ายต่อผล	00:14.6
เวลารวม	21:40.2				

จากตารางที่ 12 สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นปรากฏว่า ที่สถานีปอกลำตัวใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 3:51.8 นาที/ครั้ง ส่วนในสถานีปอกใหลผลใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 3:21.6 นาที/ครั้ง เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด 46:35.0 นาที แยกได้เป็นเวลาเปลี่ยนมีดรวม

21:40.2 นาที เวลาปอก 16:10.9 นาที เฉลี่ยเวลาในการป้อนผลเข้าและถ่ายออกต่อผลเท่ากับ 14.6 วินาที สรุปแล้วเครื่องสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ประมาณ 46 ผล/ชั่วโมง

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบใหม่)

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h ₁ (cm)	ความสูงไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
17.45 ±0.63	15.88 ±0.59	1886 ±165	14.69 ±0.53	9.94 ±0.39	12.83 ±0.31	11.02 ±0.36	1266 ±144



ภาพที่ 62 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด (แบบใหม่)

จากตารางที่ 13 และภาพที่ 62 การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีดสำหรับการเปลี่ยนชุดมีดแบบใหม่ ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวอ่อนก่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 17.45 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.88 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1886 g เมื่อทำการปอกแล้วน้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1266 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 14.69 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 9.94 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.83 cm และ 11.02 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่า มีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.90 cm² คิดเป็นร้อยละ 0.14 พื้นที่เปลือกเขียวรวม

เฉลี่ย 59.97 cm² คิดเป็น 9.48% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 0.63 cm² คิดเป็น 0.1% ไหล่ผล 36.53 cm² คิดเป็น 5.77% ฐานผล 22.81 cm² คิดเป็น 3.61% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิทั้งหมด 3 ผล คิดเป็น 2.78% ไม่มีผลมะพร้าวอ่อนเสียหาย

ตารางที่ 14 เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (การทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนใบมีด ชุดใบมีดแบบ斬หน้า 1 ตัว (แบบใหม่))

เปลี่ยนมีดลำตัว		เปลี่ยนมีดปอกไหล่		เวลารวม	28:41.6
1	00:37.9	1	00:45.8	เวลาเปลี่ยนมีด	04:16.1
2	00:41.9	2	00:51.8	เวลาปอก+ป้อน	24:25.5
3	00:36.5	3	00:42.3	เวลาปอก	16:08.6
รวม	01:56.2	รวม	02:19.9	เวลาถ่ายออกและป้อน	08:16.9
เฉลี่ย	00:38.7	เฉลี่ย	00:46.6	เฉลี่ยป้อน+ถ่ายต่อผล	00:13.8
เวลารวม	04:16.1				

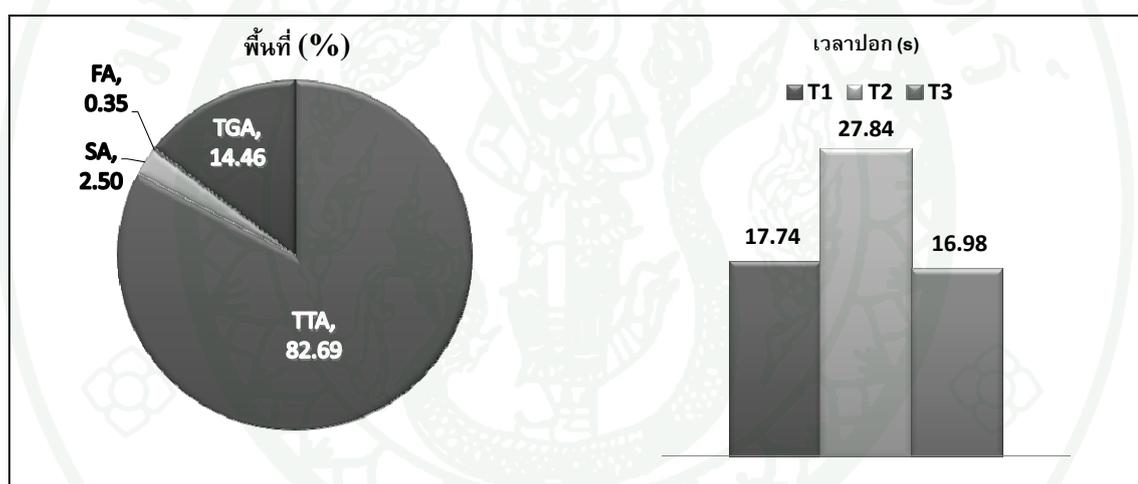
สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นตามตารางที่ 14 ปรากฏว่า ที่สถานีปอกลำตัวใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 0:38.7 นาที/ครั้ง ส่วนในสถานีปอกไหล่ผลใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 0:46.6 นาที/ครั้ง เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด 28:41.6 นาที แยกได้เป็นเวลาเปลี่ยนมีดรวม 4:16.1 นาที เวลาปอก 16:08.6 นาที เฉลี่ยเวลาในการป้อนผลเข้าและถ่ายออกต่อผลเท่ากับ 13.8 วินาที สรุปแล้วเครื่องสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้ประมาณ 75 ผล/ชั่วโมง

ในการทดสอบปรับเปลี่ยนชุดมีดนั้นปรากฏว่า มีดแบบใหม่สามารถช่วยลดเวลาได้ประมาณ 83.3% และ 75% ของชุดมีดปอกลำตัวผลและชุดมีดปอกไหล่ผลตามลำดับในขณะที่เวลาในการทำงานและเวลาในการปอกเปลือกไม่เปลี่ยนแปลง และคุณภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกก็ไม่แตกต่างกัน

การทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง

ตารางที่ 15 สมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง

ผลมะพร้าวอ่อน			ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก				
ความสูง H(cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง D(cm)	น้ำหนัก W(g)	ความสูงยอด h ₁ (cm)	ความสูงไหล่ผล g (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางไหล่ผล dh (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานผล db (cm)	น้ำหนัก W(g)
18.01 ±0.86	15.84 ±0.86	1939 ±226	14.68 ±0.58	10.24 ±0.42	12.69 ±0.51	10.75 ±0.48	1212 ±93



ภาพที่ 63 ประสิทธิภาพของการปอกเปลือกที่ได้ในการทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 63 การทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง โดยใช้ผลมะพร้าวอ่อนจำนวน 200 ผล แบ่งเป็น 4 ชุด ชุดละ 50 ผลต่อการเปลี่ยนมีด 1 ครั้ง ใช้ชุดมีดใหม่ในการทดสอบ ปรากฏว่ากลุ่มของผลมะพร้าวอ่อนปอกมีความสูงผลเฉลี่ย 18.01 cm เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 15.84 cm น้ำหนักก่อนปอกอยู่ที่เฉลี่ย 1939 g เมื่อทำการปอกแล้ว น้ำหนักผลเหลือเฉลี่ย 1212 g ความสูงจากยอดแหลมถึงฐานผลเฉลี่ย 14.68 cm ความสูงจากฐานถึงไหล่ผลเฉลี่ย 10.24 cm เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไหล่ผลและที่ฐานผลยาว 12.69 cm และ 10.75 cm ตามลำดับ เมื่อหาพื้นที่เสี้ยนและพื้นที่เปลือกสีเขียวที่เหลือจากการปอกปรากฏว่ามีพื้นที่เสี้ยนเกิดขึ้นเฉลี่ย 2.20 cm² คิดเป็นร้อยละ 0.35 พื้นที่เปลือกเขียวรวมเฉลี่ย 89.45 cm²

คิดเป็น 14.46% ซึ่งแยกเป็นเปลือกเขียวบริเวณยอดเฉลี่ย 3.68 cm² คิดเป็น 0.60% ใหลผล 54.94 cm² คิดเป็น 8.95% ฐานผล 30.83 cm² คิดเป็น 4.90% ส่วนผลมะพร้าวที่โดนกะลามิ ทั้งหมด 5 ผล คิดเป็น 2.5%

สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำงานจริงนั้น (ตารางที่ 16) ปรากฏว่า ที่สถานีปอกลำตัวใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 00:38.2 นาที/ครั้ง ส่วนในสถานีปอกใหลผลใช้เวลาในการเปลี่ยนมีดเฉลี่ย 00:42.3 นาที/ครั้ง เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด 2:24:26 ชั่วโมง แยกได้เป็นเวลาเปลี่ยนมีดรวม 0:04:01 นาที เวลาปอก 1:32:00 นาที เฉลี่ยเวลาในการป้อนผลเข้าและถ่ายออกต่อผลเท่ากับ 15.0 วินาที

ตารางที่ 16 เวลาในการเปลี่ยนใบมีดและเวลารวมการทำงาน (ทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริง)

เปลี่ยนมีดลำตัว		เปลี่ยนมีดปอกใหล		เวลารวม	
1	00:36.9	1	00:42.1	เวลารวม	2:24:26
2	00:38.2	2	00:44.5	เวลาเปลี่ยนมีด	0:04:01
3	00:39.4	3	00:40.3	เวลาปอก+ป้อน	2:20:25
รวม	01:54.5	รวม	02:06.9	เวลาปอก	1:32:00
เฉลี่ย	00:38.2	เฉลี่ย	00:42.3	เวลาถ่ายออกและป้อน	0:48:25
เวลารวม	04:01.4			เฉลี่ยป้อน+ถ่ายต่อผล	0:00:15

การทดสอบแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริงนั้นจะทำการติดตั้ง Limit switch และความเร็วของมอเตอร์ไว้ตามที่ได้อำนาจที่เหมาะสมแล้วจากการทดสอบที่ผ่านมา ส่วนความสูงของระดับใบมีดปอกใหลนั้นจะตั้งที่ระดับ 18 cm ทั้งนี้เนื่องจากผลมะพร้าวอ่อนที่หาได้ในการทดสอบนี้มีค่าเฉลี่ยความสูงที่ 18.01 cm ตามตารางที่ 15 และกลุ่มของผลมะพร้าวอ่อนที่พบจากการหาค่าการกระจายตัวของผลมะพร้าว ยังพบอีกว่ามะพร้าวอ่อนในกลุ่มนี้จะมีมากถึง 90% (ภาพที่ 38 ก) ปรากฏว่าเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติมีความสามารถในการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน 200 ผล ใช้เวลา 2.34 ชั่วโมง คิดเป็น 86 ผลต่อชั่วโมง (ไม่คิดเวลาในการเปลี่ยนมีด)

ผลมะพร้าวอ่อนที่ได้นั้นมีรูปทรงที่สวยงามเป็นที่ยอมรับจากผู้ค้า (ภาพที่ 64) สำหรับคุณภาพของผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกในส่วนของเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีเขียวและเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกสีเขียวรวมมีค่าสูงกว่าผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจากเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าว โดย ณัฐพงศ์ (2547) ทั้งนี้เพราะเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนนั้นใช้คนในการควบคุมการ

เคลื่อนที่ของชุดมีดปอกทั้ง 2 ชุด ซึ่งสามารถปรับใบมีดปอกให้เข้าปอกได้จนเห็นได้ว่าสามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนออกได้ตามต้องการแล้ว แต่เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติเครื่องนี้จะใช้การตั้งค่าระยะของ Limit switch ซึ่งเมื่อชุดมีดเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับ Limit switch ที่ติดตั้งไว้ชุดมีดจะเคลื่อนที่ออกทันทีโดยไม่สนใจว่าการปอกจะเป็นอย่างไร แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัตินี้สามารถปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้คิดเป็น $\cong 4$ เท่าของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนโดย ญัฐพงศ์ (2547) ซึ่งมีความสามารถอยู่ที่ 21 ผล/ชั่วโมง



ภาพที่ 64 ผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก

จากทุกการทดสอบพบว่าความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่เกิดขึ้นสามารถแยกได้ออกเป็นกรณีดังนี้

1. ความเสียหายในขณะการปอกลำตัวผล

พบมากที่สุดคือการปอกโดนกะลาผล (ภาพที่ 65 ก) จนบางครั้งอาจจะทำให้โดนเนื้อผลมะพร้าวอ่อนซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้จะไม่สามารถปอกต่อไปได้ต้องนำออก เนื่องจากจะมีน้ำมะพร้าวอ่อนกระจายไปทั่วในขณะที่ชุดจับผลมะพร้าวอ่อนหมุน

- อีกกรณีคือการที่ผลมะพร้าวหลุดออกจากชุดจับผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 65 ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ขั้วของผลมะพร้าวอ่อนนั้นไม่แข็งแรง หรืออาจจะมีการชำหรือแคะเกินไปจนทำให้ขั้วหลุดออกได้ง่าย

- ผลมะพร้าวอ่อนมีเปลือกเขียวเหลืองมากบริเวณลำตัวผล (ภาพที่ 65 ค) ทั้งนี้ อาจจะเป็นเนื่องมาจากการที่ผลมะพร้าวผลนั้นไม่สมบูรณ์หรือไม่สมมาตร หรืออาจจะเกิดเนื่องจากการวางผลมะพร้าวอ่อนของผู้ป้อนไม่ได้ศูนย์กลาง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 65 ความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่พบในสถานีปอกลำตัวผล

2. ความเสียหายที่เกิดในขณะการปอกไหล่ผล

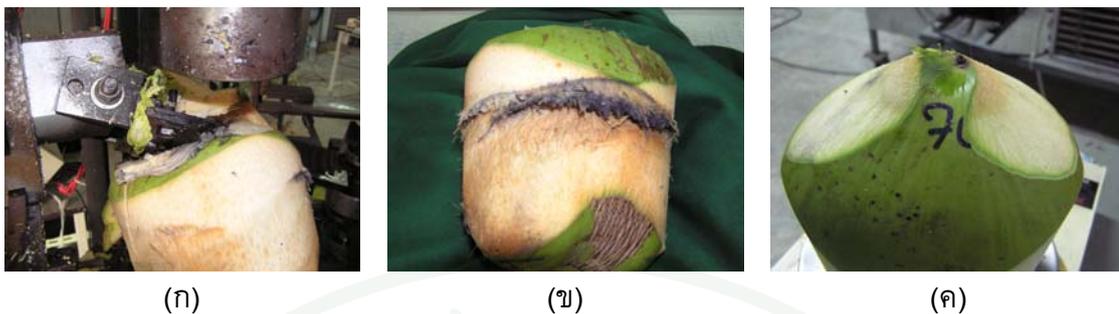
- เช่นเดียวกับในสถานีการปอกลำตัวผลคือการปอกโดนกะลาของผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งบางครั้งอาจจะทำให้ผลมะพร้าวอ่อนนั้นหลุดติดมากับตัวมีด (ภาพที่ 66 ก และ ข)

- ความเสียหายนี้ส่วนใหญ่จะพบในผลมะพร้าวอ่อนที่มีขนาดเล็ก นั่นคือการทำันดันกันผลมะพร้าวอ่อนหมุนขึ้นไม่ทันกับการเคลื่อนที่เข้าปอกของมีดปอกไหล่ผล จนอาจจะทำให้เกิดการชนกันได้ บางครั้งอาจถึงขั้นทำให้มีดบิ่น แต่ปัญหานี้จะเกิดขึ้นน้อยมาก

- ความเสียหายเนื่องจากการปอกไหล่ไม่หมด (ภาพที่ 66 ค) ซึ่งจะเกิดกับผลที่มีขนาดเล็กมาก จนบางครั้งใบมีดปอกไหล่เคลื่อนที่เข้าปอกจนถึงระยะ Limit switch ที่ตั้งค่าไว้แล้ว แต่ผลมะพร้าวอ่อนยังไม่โดนปอกเปลือกเลย

3. ความเสียหายที่เกิดในขณะการตัดขั้วผล

เกิดการตัดขั้วผลไม่ขาดตั้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในเรื่องปัญหาและการแก้ไข



(ก)

(ข)

(ค)

- (ก) ผลมะพร้าวหลุดติดชุดมีดปอกไหล
- (ข) ผลมะพร้าวถูกชุดจับผลบาดเสียหาย
- (ค) การปอกไม่หมดบริเวณส่วนไหลผล

ภาพที่ 66 ความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่พบในสถานีปอกไหลผล

ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการทดสอบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติโดยป้อนแบบต่อเนื่อง เมื่อใช้คนงาน 1 คน จะมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 86 ผลต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดให้การใช้เครื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน ทำงานปีละ 250 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อผล) ของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนได้

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร คำนวณได้จาก ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา แบบ Straight-line method ใช้สมการ $DP = (P - S) / L$ โดยที่ P คือ ราคาซื้อของเครื่องจักร (บาท) S คือ ราคาขายหรือราคาคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท) และ L คืออายุการใช้งานของเครื่อง (ปี)

ราคาเครื่องที่ทำการประเมินไว้ (ตารางที่ 17) เท่ากับ 126,200 บาท คิดกำไรที่ 40% เป็นราคาจำหน่ายเครื่อง $126,200 + 50,480 = 176,680$ บาท มูลค่าซากเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นราคาซากเครื่อง} &= (10/100) * 176,680 = 17,668 \text{ บาท} \\ \text{ค่าเสื่อมราคา (DP)} &= (176,680 - 17,668) / 10 = 15,901.2 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) คิดค่าเสียโอกาส

$$I = \left(\frac{P+S}{2} \right) \times \left(\frac{i}{100} \right) \quad \text{โดยที่ } i \text{ คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์)}$$

กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยต่อปี เท่ากับ 7.75 % (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารไทยพาณิชย์)

$$\text{ดังนั้น ค่าเสียโอกาสต่อปี} = \left(\frac{176,680 + 15,901.2}{2} \right) \times \left(\frac{7.75}{100} \right) = 7,462.52 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed cost)} = 15,901.2 + 7,462.52 = 23,363.72 \text{ บาทต่อปี}$$

ต้นทุนผันแปร (Variable cost)

ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 10 บาท ทำงาน 250 วัน ค่าบำรุงรักษา เท่ากับ $10 \times 250 = 2,500$ บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้า จากการวัด จะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.50 กิโลวัตต์ชั่วโมง ราคาไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท ใน 1 ปีทำงาน 250 วัน วันละ 8 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 15,000 บาทต่อปี

ค่าจ้างแรงงาน (คิดเฉพาะคนควบคุมเครื่อง) อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 191 บาท (อัตราค่าแรงงานขั้นต่ำจังหวัดนครปฐม) จำนวน 1 คน ทำงาน 250 วัน คิดเป็นค่าจ้างแรงงาน เท่ากับ $191 \times 250 = 47,750$ บาทต่อปี

$$\text{รวมต้นทุนผันแปรเท่ากับ} \quad 2,500 + 15,000 + 47,750 = 65,250 \text{ บาทต่อปี}$$

คิดต้นทุนในการใช้งานของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน โดยรวมต้นทุนคงที่กับ
ต้นทุนผันแปรเท่ากับ $23,363.72 + 65,250 = 88,613.72$ บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อผล) ของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ปอกเปลือก
ผลมะพร้าวอ่อนเฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 2000 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงาน 86 ผลต่อชั่วโมง
จะได้เท่ากับ $88,613.72 / (2000 * 86) = 0.52$ บาทต่อผล

ตารางที่ 17 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

ประเภท	รายการ	จำนวนเงิน
ต้นกำลัง	มอเตอร์เบรค 3HP 4P 380V	10,800
	มอเตอร์ 3HP 380V	5,000
	เกียร์ทด 1:60	5,300
	เฟือง M5 2 ตัว	5,000
วัสดุ ทำเครื่อง	เหล็กโครงสร้าง,เหล็กแผ่น,ใบมีด, สายพาน, พูลเลย์ เพลลา	30,000
อุปกรณ์ ไฟฟ้า	กล่องควบคุม อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	5,000
	PLC 2 ตัว	10,000
	หม้อแปลงไฟ 3 เครื่อง	5,600
อุปกรณ์พิเศษ	Slip ring	2,000
	ตัวจับผลมะพร้าว 3 ตัว	12,000
	ชุดใบมีดปอกลำตัวผล, ยอดผล และตัดก้นผล	4,500
	ชุดก้านกดผลมะพร้าว 3 ชุด	6,000
	ค่าแรงประกอบสร้างเครื่องและอื่นๆ	25,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่อง		126,200

ระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจะลดลง เมื่อวันทำงานต่อปีเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 18
ถ้าใน 1 ปีสามารถทำงานได้ 250 วัน คือ 2000 ชั่วโมง ระยะเวลาในการคืนทุนจะเท่ากับ 2.86 ปี

ต้นทุนผันแปร คือ ค่าผลรวมของค่าซ่อมแซม บำรุงรักษา ค่าไฟฟ้าและค่าจ้างแรงงาน

ต้นทุนรวม คือ ต้นทุนผันแปรรวมกับดอกเบี้ย

ผลประโยชน์ที่ได้รับ คิดจากอัตราค่าจ้างในการปอกผลมะพร้าวอ่อน คูณกับชั่วโมงการทำงานต่อปี

อัตราค่าจ้างเหมาแรงงานการปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนต่อชั่วโมงเท่ากับ 0.9 บาทต่อผล คูณกับอัตราการทำงาน 86 ผลต่อชั่วโมง เท่ากับ 77.4 บาทต่อชั่วโมง คิดเป็น 619.2 บาทต่อวัน

ผลประโยชน์สุทธิ คือ ผลต่างระหว่างผลประโยชน์ที่ได้รับ กับต้นทุนรวม

ระยะเวลาคืนทุน คือผลหารระหว่างราคาซื้อเครื่องกับผลประโยชน์สุทธิ

การใช้งานคุ้มทุน

การใช้งานคุ้มทุน = ค่าใช้จ่ายคงที่ / (อัตราค่าจ้าง - ค่าใช้จ่ายในการทำงาน)

ค่าใช้จ่ายคงที่ = 23,363.72 บาทต่อปี

อัตราค่าจ้างปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนในปัจจุบัน เท่ากับ 0.9 บาทต่อผล เปรียบเทียบกับอัตราการทำงาน 86 ผลต่อชั่วโมง

ดังนั้นได้อัตราค่าจ้างต่อชั่วโมงเท่ากับ $0.9 \times 86 = 77.4$ บาทต่อชั่วโมง

จากค่าใช้จ่ายในการทำงานเท่ากับ 0.52 บาทต่อผล เปรียบเทียบกับอัตราทำงาน 86 ผลต่อชั่วโมง จะได้ค่าใช้จ่ายในการทำงาน เท่ากับ $0.52 \times 86 = 44.72$ บาทต่อชั่วโมง

ดังนั้นค่าใช้งานคุ้มทุน = $\frac{23,363.72}{(77.4 - 44.72)}$ ชั่วโมงต่อปี

= 714.92 ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 18 การคิดระยะการคืนทุนของเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน

ชั่วโมง ทำงาน (ชม./ปี)	ดอกเบี้ยย (บาท/ปี)	ต้นทุน ผันแปร (บาท/ปี)	ต้นทุน รวม (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ ที่ได้รับ (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ สุทธิ (บาท/ปี)	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
1280	7462.52	41760	49222.52	99072	49849.48	4.47
1520	7462.52	49590	57052.52	117648	60595.48	3.76
1760	7462.52	57420	64882.52	136224	71341.48	3.25
2000	7462.52	65250	72712.52	154800	82087.48	2.86
2240	7462.52	73080	80542.52	173376	92833.48	2.55
2480	7462.52	80910	88372.52	191952	103579.48	2.31

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ได้ออกแบบ สร้าง และประเมินผลเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ ต้นแบบ การทดสอบปอกเปลือกแบบต่อเนื่องเหมือนการทำงานจริงสามารถปอกผลมะพร้าวอ่อนได้ 86 ผล/ชั่วโมง และพบว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่เสี้ยนคือ 0.35% ค่าเฉลี่ยของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกโดนกะลาคือ 2.5% และค่าเฉลี่ยของพื้นที่เปลือกสีเขียวคือ 14.5% ด้วยการเปลี่ยนใบมีดที่ 50 ผลต่อครั้ง ซึ่งความสามารถของเครื่องนั้นจะมากกว่าการปอกโดยใช้คนปอกอยู่ที่ประมาณ 2.3 เท่า และผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่ได้ยังเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกในขั้นต่อไปอาจลองเปลี่ยนระบบขับเคลื่อนชุดมีดและระบบต่างๆ ของเครื่องเป็นระบบ นิวเมติกหรือ ไฮดรอลิกส์ ทั้งนี้อาจได้ความสามารถเครื่องและคุณภาพของผลมะพร้าวอ่อนเพิ่มมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กฤษณะ มีมาก, ธนวุฒิ นาคหวัง และ ปิยะพงศ์ นันทวงศ์. 2543. เครื่องปอกมะพร้าว. ปรินท์ยูนิพันธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 46 น.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2549. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- กรมประชาสัมพันธ์. 2550. มะพร้าว พืชมหัศจรรย์ที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่า 2,700 ล้านบาท. ข่าวประชาสัมพันธ์ ประจำวันพฤหัสบดี ที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2550. http://news.sanook.com/scoop/scoop_82398.php
- กรมวิชาการเกษตร. 2550. มะพร้าวน้ำหอม. ฐานความรู้ด้านพืช กรมวิชาการเกษตร. http://www.doa.go.th/pl_data/COCONUT/1stat/st01.html, 31 สิงหาคม 2550.
- กลุ่มเกษตรสัญจร. 2531. มะพร้าวน้ำหอม. สหมิตร, กรุงเทพฯ. 63 น.
- คมชัดลึก. 2549. พบฮอร์โมนเอสโตรเจนในน้ำมะพร้าวอ่อนมีสารชะลอโรคอัลไซเมอร์. หนังสือพิมพ์ออนไลน์วันอาทิตย์ที่ 3 กันยายน 2549. http://www.komchadluek.net/2006/09/03/h001_42831.php?news_id=42831
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2537. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและไม้ผล. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 396 น.
- ไชยรงค์ หาราช. 2536. เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนทรง 5 เหลี่ยม. โครงการวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 56 น.
- ณรงค์ โฉมเฉลา. 2530. เชื้อพันธุ์มะพร้าว. 770 พหลโยธิน 32, กรุงเทพฯ. 106 น.

- ณัฐพงศ์ รัตนเดช. 2547. การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน. วิทยานิพนธ์
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน, นครปฐม. 104 น.
- ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง. 2550. การฆ่าเชื้อของผลมะพร้าวอ่อน. วิทยานิพนธ์ ภาควิชา
วิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน, นครปฐม. 123 น.
- ธีรนุช เลิศมงคลตระกูล. 2545. การวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนและระยะเวลาปลูก
ทดแทนที่เหมาะสมของการปลูกมะพร้าวอ่อนในอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัด
สมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 122 น.
- บัณฑิต จริโมภาส, จุฑามาต บุษราคัมวดี และอุไร ธีรพิทยานนท์. 2546 . การหาพื้นที่ใบไม้
แบบอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4
ณ. เศรษฐมณี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ วันที่ 13-14 มีนาคม 2546.
- เบญจมาศ รัตนชินกร. 2550. การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน. แหล่งที่มา:
<http://www.doa.go.th/ShowArticles.aspx?id=580>, 31 สิงหาคม 2550.
- ปรีชา ลีมีไชยพฤษ. 2541. การป้องกันเชื้อราบนผลมะพร้าวอ่อน. อ้างโดย กองโรคพืชและ
จุลชีววิทยา. คู่มือโรคพืชสวนอุตสาหกรรม. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ. น.55-72.
- พานิชย์ ยศปัญญา. 2544. มะพร้าวสารพัดประโยชน์. บริษัท พิมณศ พรินท์ติ้ง เซ็นเตอร์
จำกัด. กรุงเทพฯ.
- รัชนิวรรณ สุขชี และ บุญสม พรหมเจริญ. 2536. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน.
โครงการวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สุพจน์ ตั้งจิตพร. 2543. มะพร้าวหน้าหอม. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีชลบุรี กรม
อาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, ชลบุรี. 366 น.

- สุวัฒน์ คุณาภรณ์. 2543. **ปรับปรุงเครื่องเจียนเปลือกมะพร้าวอ่อน**. โครงการงานวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.
- หนึ่งฤทัย แพรสีทอง. 2542. **การลงทุนทำสวนมะพร้าวน้ำหอมอย่างมืออาชีพ**. มิตรเกษตร การตลาดและโฆษณา. กรุงเทพฯ, 74 น.
- อัครเดช เพชรสมัย. 2544. **การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน**. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- เอกชัย ชัยพร และ สรวุฑ์ ไพโรไพศาล. 2540. **เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน**. โครงการงานวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- เอกภพ พัฒนกิจ. 2546. **การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและตลาดส่งออกมะพร้าวอ่อนน้ำหอม**. เอกสารประกอบการสัมมนาพืชศาสตร์ เมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2546. http://www.geocities.com/psplant/ps_seminar_Aekkapop.htm
- B. Jarimopas, and N. Rattanadat, 2007. **Development of a young coconut fruit trimming machine**. Journal of Food Engineering. 79: 752-757.
- Child, R. 1974. **Coconuts**. 2nd ed., Longmans, Green&Co., London.
- Kurt Gieck. 1994. **Engineering Formulas**. McGraw-Hill Professional. New York, 580 p.
- Shigley, J.E. 1986. **Mechanical Engineering Design**. First Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 699 p.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การออกแบบและคำนวณ

การออกแบบและคำนวณระบบส่งกำลังและต้นกำลังเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

หาแรงบิดที่ใช้

จากการทดสอบหาแรงกดมะพร้าวอ่อน ด้วยเครื่อง Autograph แรงที่ใช้กดมะพร้าวจนขาด (F) เท่ากับ 150.1 นิวตัน แต่จะเผื่อความปลอดภัยเป็น 1.5 เท่า (อัครเดซ, 2544)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F &= 150.1 \times 1.5 \\ &= 225.15 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

ศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางผลมะพร้าวโดยเฉลี่ยเท่ากับ 158.5 มิลลิเมตร (บัณฑิตและศุภชาติ, 2541)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } r &= \frac{158.5}{2} \\ &= 79.25 \quad \text{มิลลิเมตร} \\ \text{ดังนั้น แรงบิดที่เกิดขึ้น} &= F \times r \\ &= 225.15 \times 0.079 \\ &= 17.78 \quad \text{นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

การหาขนาดมอเตอร์

ทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนมะพร้าว พบว่าที่ประมาณ 300 รอบ/นาที (อัครเดซ, 2544)

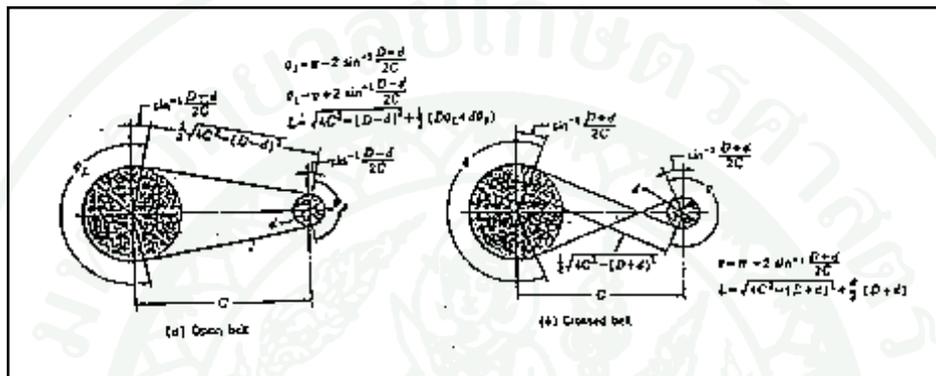
$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } P &= T\omega \\ &= 17.78 \times \left(2\pi \times \frac{300}{60} \right) \\ &= 558.58 \quad \text{วัตต์} \end{aligned}$$

∴ ต้องใช้มอเตอร์ที่มีต้นกำลัง $558.58/746 = 0.75$ แรงม้า

แต่เนื่องจากการหมุนมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างลูกปืนชุดจับผลมะพร้าวอ่อนกับ สะพานลูกเบี้ยว

ดังนั้น เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเป็นต้นกำลัง

การเลือกขนาดพูลเลย์



ภาพผนวกที่ ก1 ลักษณะการวางสายพานแบบเปิดและแบบไขว้

ที่มา: Shigley (1986)

จากภาพ สมการสำหรับมุมสัมผัส และความยาวของสายพาน คือ

$$\theta_1 = \pi - 2 \sin^{-1} \frac{D-d}{2C}$$

$$\theta_2 = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{D-d}{2C}$$

$$L = \left[4C^2 - (D-d)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{1}{2} \right) (D\theta_1 + d\theta_2)$$

- โดย
- C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของพูลเลย์สายพาน
 - θ_1 = มุมสัมผัสสายพานของพูลเลย์ตัวเล็ก
 - θ_2 = มุมสัมผัสสายพานของพูลเลย์ตัวใหญ่
 - L = ความยาวของสายพาน

หาขนาดพูลี่ของเพลาส่งกำลังไปยังตัวจับผลมะพร้าว

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } d &= 3.5 \text{ นิ้ว (เป็นขนาดมาตรฐานที่มีใช้กันโดยทั่วไป)} \\ n &= 1,440 \text{ รอบ/นาที} \\ N &= 300 \text{ รอบ/นาที} \end{aligned}$$

$$\text{จาก } \left[\frac{D}{d} \right] = \left[\frac{n}{N} \right]$$

$$\left[\frac{D}{3.5} \right] = \left[\frac{1,440}{300} \right]$$

$$D = 16.8 \text{ นิ้ว}$$

เลือกใช้พูลี่ขนาด 16 นิ้ว จะได้ความเร็วรอบที่ 315 รอบ/นาที

การหาขนาดความยาวสายพาน

ความยาวพิทช์ของสายพาน

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } L_p &= \text{ความยาวพิทช์ของสายพาน} \\ C &= \text{ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของพูลี่} \\ D &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวใหญ่} \\ d &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวเล็ก} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } C &= 25 \text{ นิ้ว} \\ D &= 16 \text{ นิ้ว} \\ d &= 3.5 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } \theta_s &= \pi - 2\sin^{-1}\left[\frac{(D-d)}{2C}\right] \\
 &= \pi - 2\sin^{-1}\left[\frac{(16-3.5)}{2 \times 25}\right] \\
 &= 25.813 \text{ องศา} \\
 &= 0.451 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } \theta_1 &= \pi + 2\sin^{-1}\left[\frac{(D-d)}{2C}\right] \\
 &= \pi + 2\sin^{-1}\left[\frac{(16-3.5)}{2 \times 25}\right] \\
 &= 32.097 \text{ องศา} \\
 &= 0.560 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } L_p &= 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \\
 &= (2 \times 25) + 1.57(16 + 3.5) + \frac{(16-3.5)^2}{4 \times 25} \\
 &= 82 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

∴ เลือกใช้ขนาดของสายพานคือ 82 นิ้ว

การคำนวณหาขนาดเพลลา

แรงบิดเนื่องจากแรงดึงของสายพาน

$$T = (F_1 - F_2)r$$

โดย

$$T = \text{แรงบิด (นิวตัน-เมตร)}$$

$$r = \text{รัศมีของพูลีย์ (เมตร)}$$

$$F_1 = \text{แรงดึงในสายพานด้านตั้ง (นิวตัน)}$$

$$F_2 = \text{แรงดึงในสายพานด้านหย่อน (นิวตัน)}$$

การหาค่าโมเมนต์ตัดสูงสุด

$$\begin{aligned} \text{จาก } F &= T/r \\ &= 17.78/(0.406/2) \\ &= 87.5 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความยาวเพลลา 160 เซนติเมตร แทนค่าเพื่อหาโมเมนต์ตัดสูงสุดในสมการ

$$M = F \times L$$

$$\text{โดยที่ } M = \text{โมเมนต์ตัดสูงสุด (นิวตัน-เมตร)}$$

$$F = \text{แรงที่เกิดขึ้น (นิวตัน)}$$

$$L = \text{ความยาวเพลลา (เมตร)}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } M &= 87.5 \times 1.60 \\ &= 140 \text{ นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

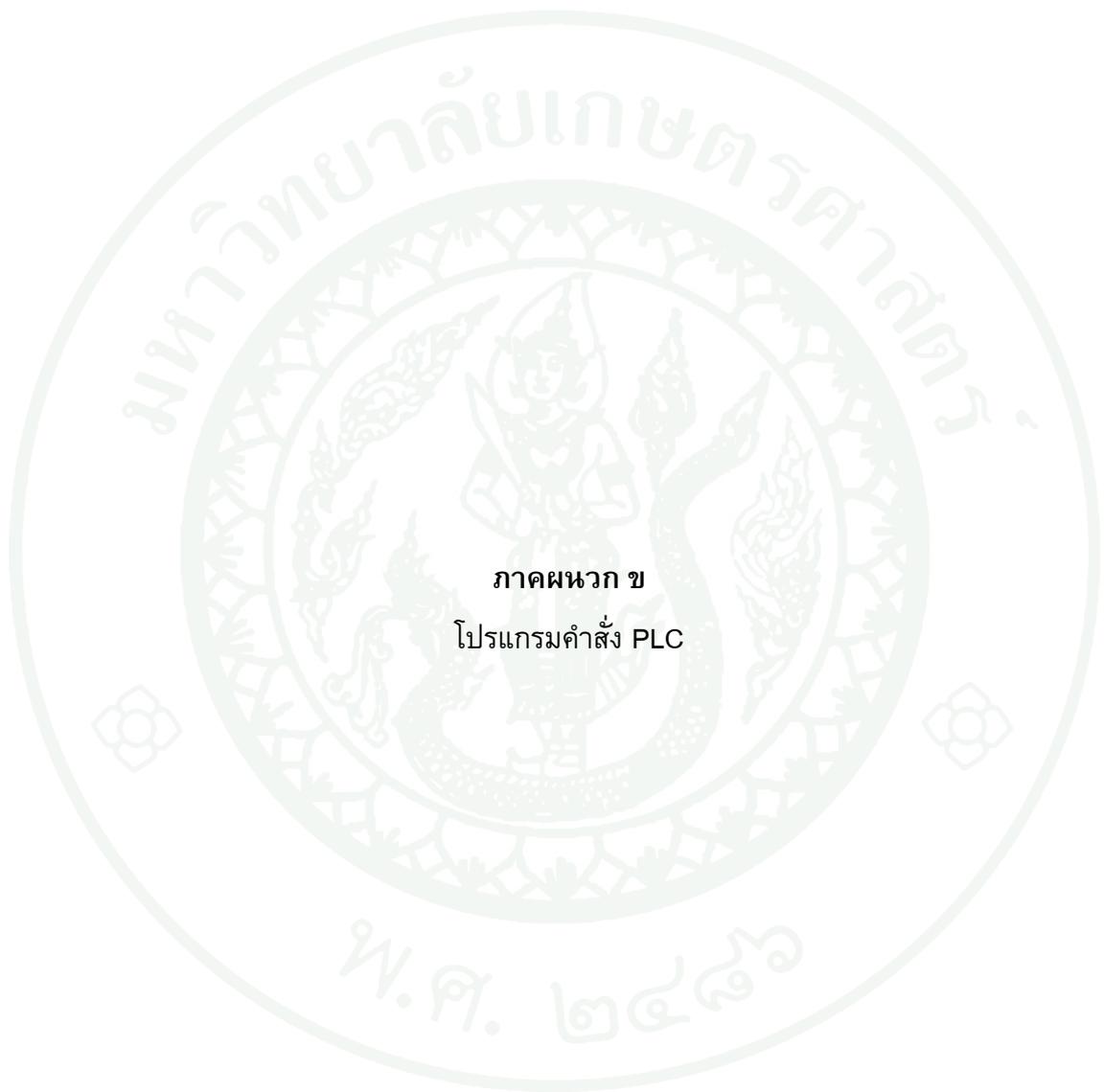
ในการหาขนาดเพลาลูกเบี้ยวใช้เหล็กคาร์บอนธรรมดา CR 1010

$$\begin{aligned}
 S_y &= 365 \text{ MPa} \\
 k_a &= 0.85 \\
 k_b &= 0.929 \\
 k_c &= 0.90 \\
 k_d &= 1.00 \\
 k_t &= 1.00 \\
 k_e &= 1.00 \\
 k_f &= 1.00 \\
 S_e &= (0.85 \times 0.929 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1) \times (365/2) \\
 &= 129.7 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

กำหนดค่าความปลอดภัย (n) = 3.0

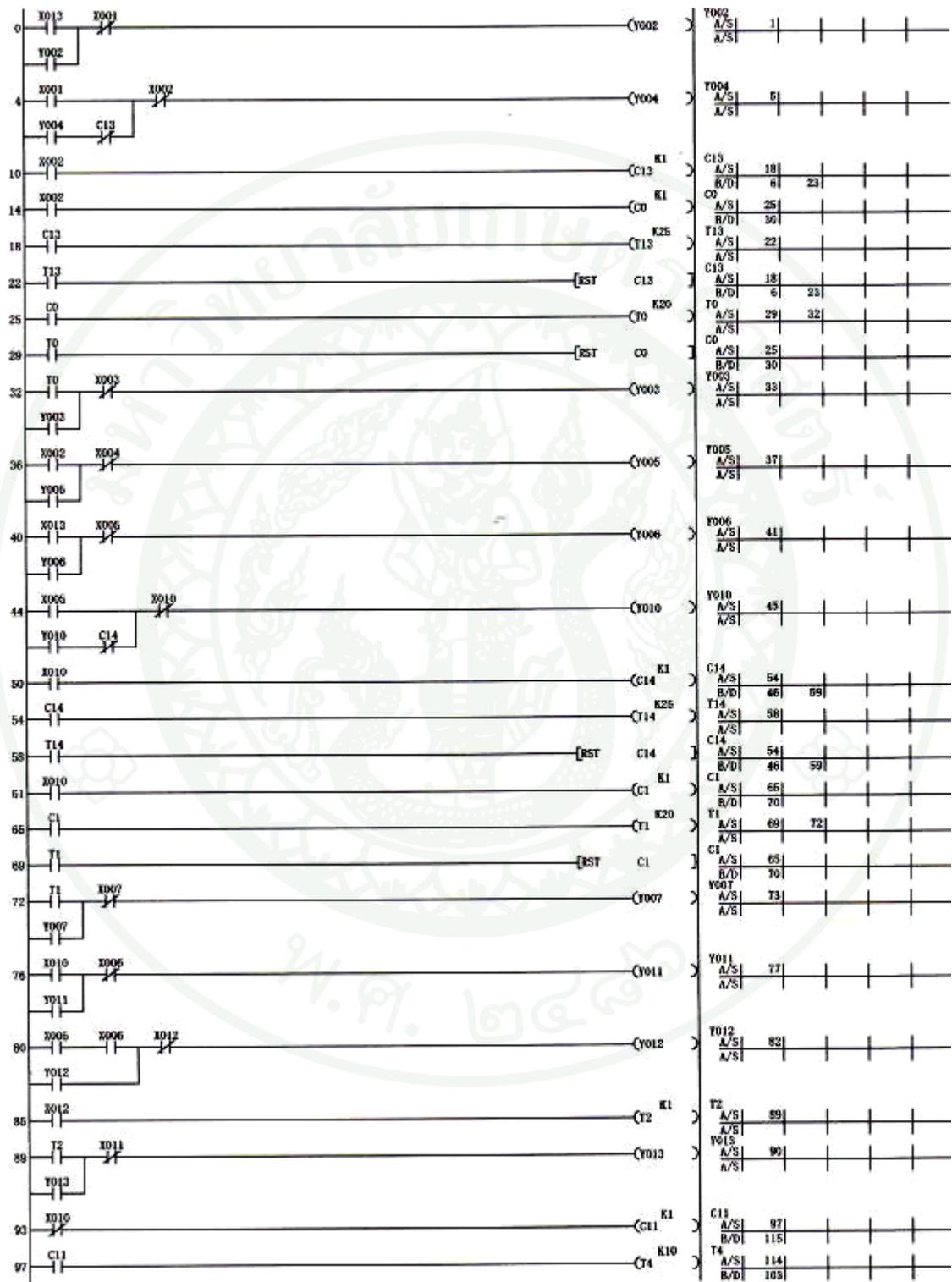
$$\begin{aligned}
 d_s &= \left[(32n/\pi) \left\{ (T/S_y)^2 + (M/S_e)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/3} \\
 &= \left[(32 \times 3/\pi) \left\{ (17.78/365 \times 10^6)^2 + (140/129.7 \times 10^6)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/3} \\
 &= \left[(30.558) \left\{ (2.373 \times 10^{-15}) + (1.165 \times 10^{-12}) \right\}^{1/2} \right]^{1/3} \\
 &= 0.03208 \text{ เมตร} \\
 &= 32.08 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

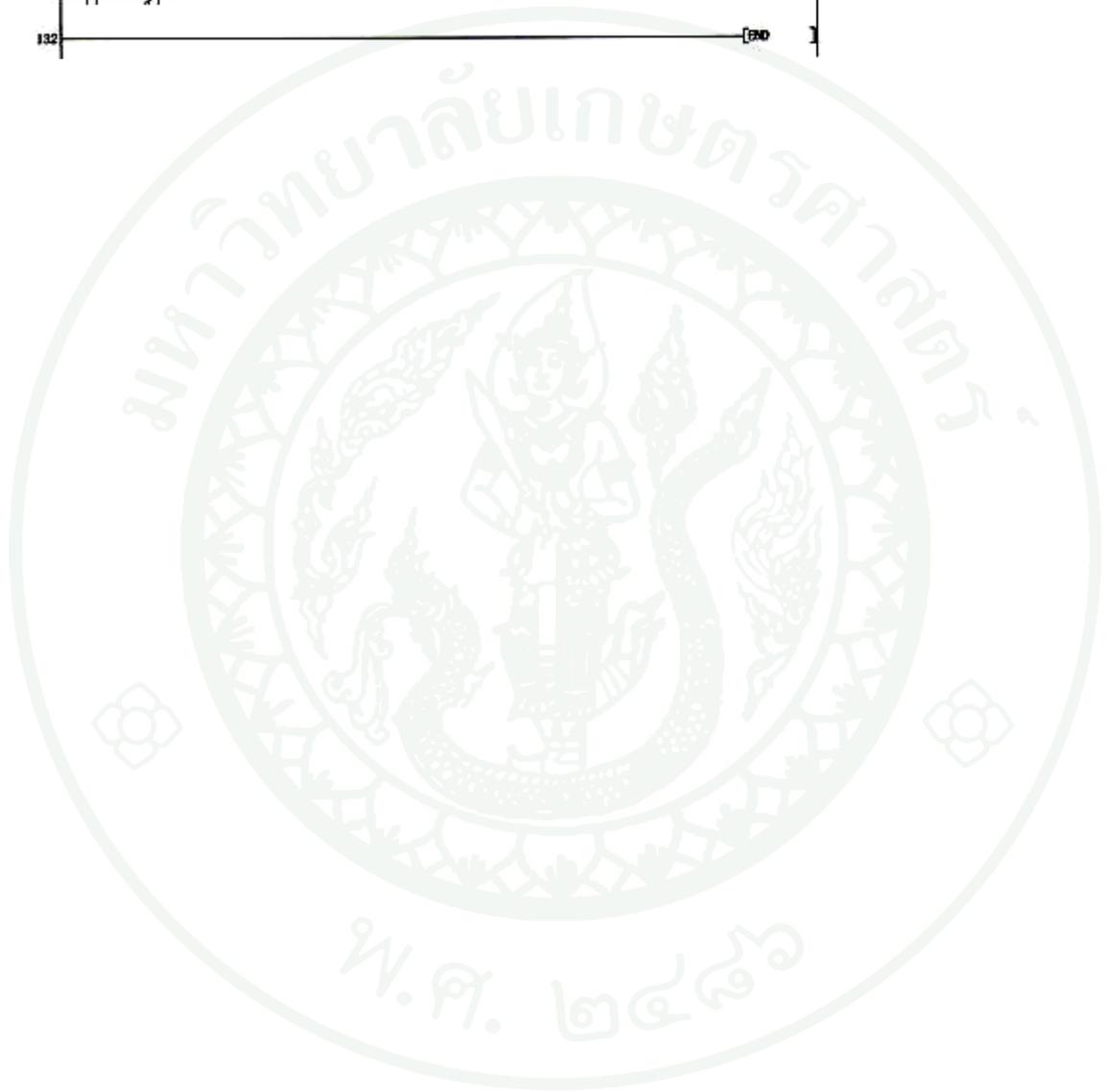
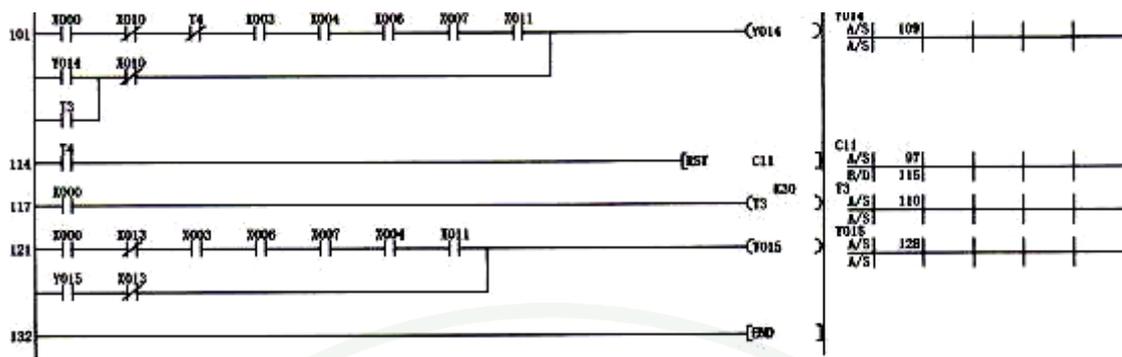
ดังนั้น เลือกใช้เพลารุ่น 44.45 มิลลิเมตร (เพลามาตรฐาน 1 3/4 นิ้ว)



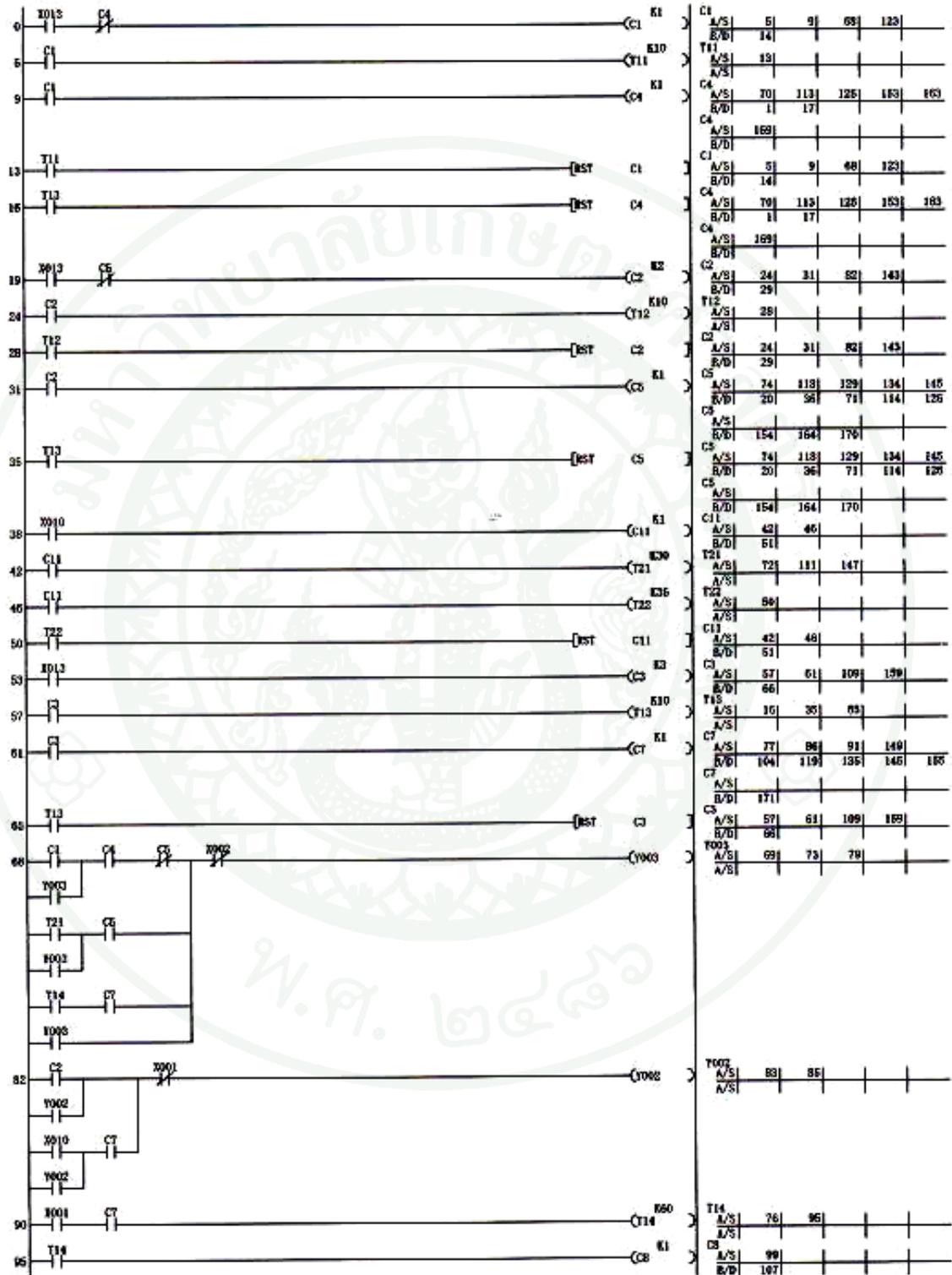
ภาคผนวก ข
โปรแกรมคำสั่ง PLC

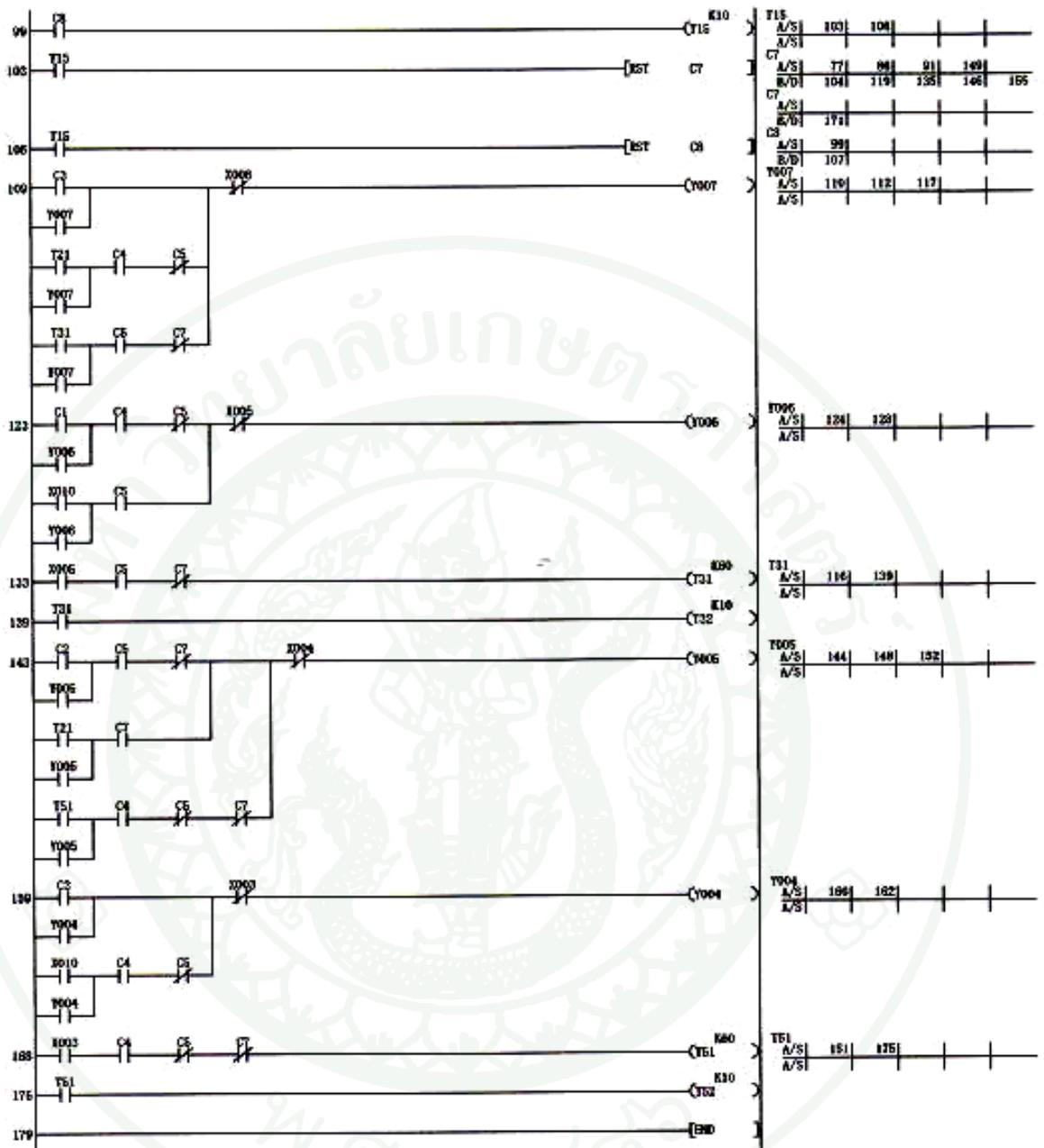
โปรแกรม PLC ตัวที่ 1





โปรแกรม PLC ตัวที่ 2

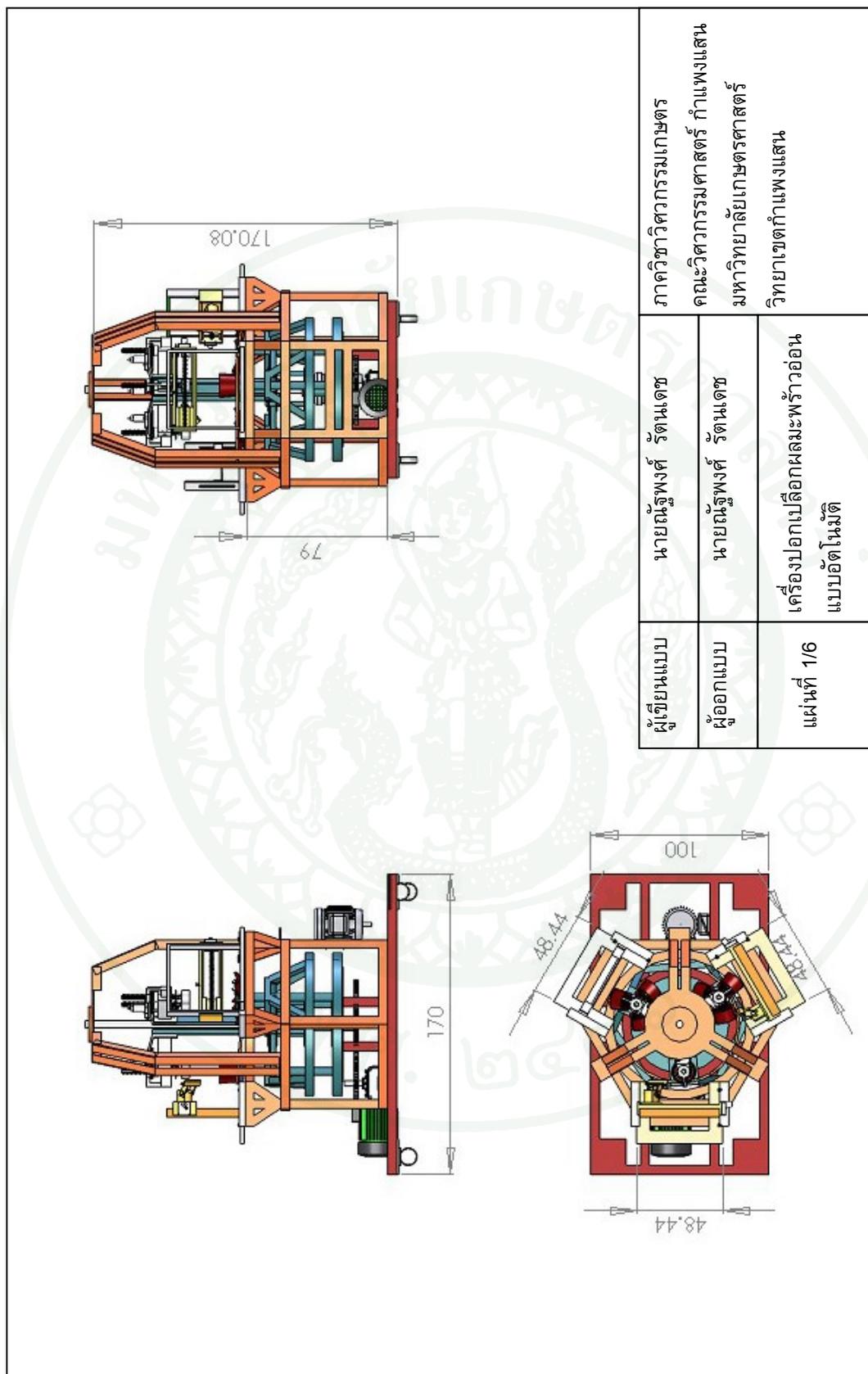






ภาคผนวก ค

แบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ และ
เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติต้นแบบ



ผู้เขียนแบบ	นายณัฐพงษ์ รัตนเดช	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้ออกแบบ	นายณัฐพงษ์ รัตนเดช	
แผ่นที่ 1/6	เครื่องปกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ	

ภาพผนวกที่ ค1 แบบ 3Views standard แสดงเครื่องปกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ

	<p>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน</p>
<p>ผู้ออกแบบ ผู้เขียนแบบ</p>	<p>นายณัฐพงษ์ รัตน์เดช นายณัฐพงษ์ รัตน์เดช</p>
<p>แผ่นที่ 2/6</p>	<p>เครื่องประกอบเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ</p>

ภาพผนวกที่ ๒ แบบ 3Views standard แสดงสถาปัตยกรรมกล่องตัวผล

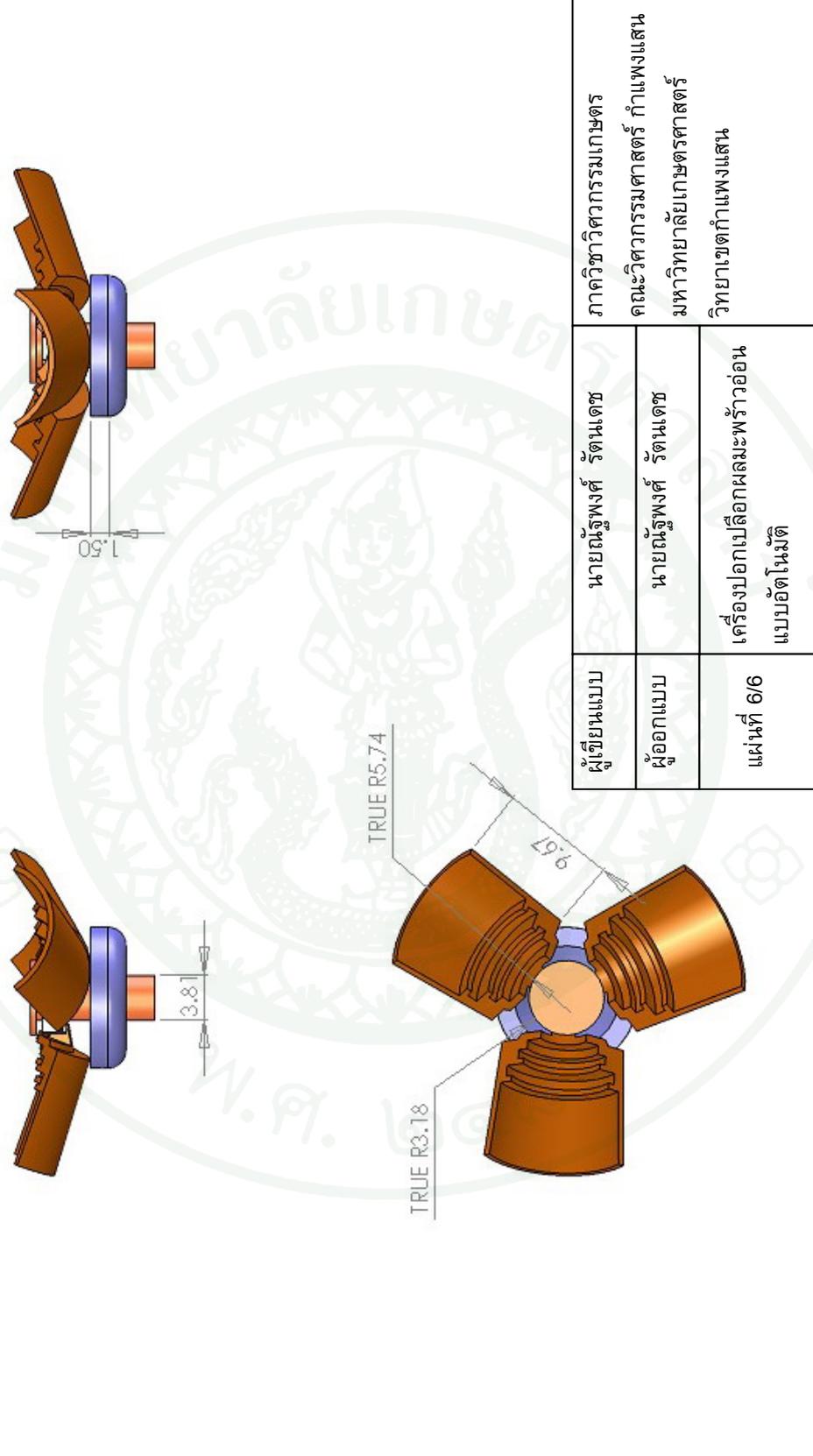
ผู้เขียนแบบ	นายณัฐพงศ์ รัตนเดช	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
ผู้ออกแบบ	นายณัฐพงศ์ รัตนเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
แผ่นที่ 3/6	เครื่องประกอบเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ภาพหน้าที่ ๓3 แบบ 3Views standard แสดงสถาปัตยกรรมประกอบผล

	<p>ผู้เขียนแบบ</p>	<p>นายณัฐพงศ์ รัตนเดช</p>	<p>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน</p>
	<p>ผู้ออกแบบ</p>	<p>นายณัฐพงศ์ รัตนเดช</p>	<p>เครื่องเอกเบรื่ออกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ</p>
<p>ภาพผนวกที่ ค4 แบบ 3Views standard แสดงสถานีป้อนผลเข้า ถ่ายออกและตัดหัวผล</p>	<p>แผ่นที่ 4/6</p>		

	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	
ผู้เขียนแบบ	นายณัฐพงษ์ รัตนเดช	วิชา
ผู้ออกแบบ	นายณัฐพงษ์ รัตนเดช	เครื่องประกอบเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ
แผ่นที่ 5/6	เครื่องประกอบเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ	

ภาพหน้าที่ ๕ แบบ 3Views standard แสดงกำหนดชิ้นผลมะพร้าวอ่อน

	<p>ผู้เขียนแบบ</p>	<p>นายณัฐพงษ์ รัตนเดช</p>	<p>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน</p>
<p>ผู้ออกแบบ</p>	<p>นายณัฐพงษ์ รัตนเดช</p>	<p>เครื่องอบเปลือกผลมะพร้าวอ่อน แบบอัตโนมัติ</p>	
<p>แผ่นที่ 6/6</p>			

ภาพผนวกที่ ค6 แบบ 3Views standard แสดงชุดจับผลมะพร้าวอ่อน



ภาพผนวกที่ ค7 เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอัตโนมัติต้นแบบ





Development of a young coconut fruit trimming machine

B. Jarimopas *, N. Ruttanadat

*Department of Agricultural Engineering, Kamphaeng Saen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Nakorn Pathom 73140, Thailand*

Received 22 November 2004; received in revised form 10 August 2005; accepted 17 January 2006
Available online 12 May 2006

Abstract

A project was initiated to design, construct, test, and evaluate a prototype young coconut trimming machine. The purpose of the design was to trim most of the outer husk so that the coconut looked attractive and could easily be cut open. The prototype was based on the lathe cutting machine mechanism and was composed of a lathe machine with a body-trimming knife, a shoulder-trimming knife, a base cutting knife, and clamping mechanisms. In operation, the body knife first pared the midsection of the fruit. Following this, the shoulder-knife trimmed the top to form a conical shape, and finally the base cutting knife sliced the bottom of the fruit to form a flat underside. In this study, the key design parameters and their optimum settings were determined. The angle between the cutting edge of the body knife and the Y -axis perpendicular to the rotating axis of the fruit (X -axis) was 76° ; the angle between the cutting edge of the shoulder-knife and the X -axis was 56° ; and the knife angle between the knife and the XY -plane was 61° . The rotating speed of the fruit – which was newly harvested – was 300 rpm. Based on these design parameters, a commercial prototype was manufactured and tested. This prototype has the capacity to trim 21 fruit/h, with the finished product on average containing 1.1% of untrimmed green area and 0.2% of fibrous area. The trimmed fruit were accepted by fruit traders and exporters.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Coconut; Trimming

1. Introduction

Young coconut is one of the most popular fruit varieties in Thailand. The edible parts include the sweet juice at the core of the fruit and the soft flesh attached to the inner surface of the shell. The juice contains glucose, vitamins, hormones and minerals, and is widely considered to be a refreshing drink. The flesh contains carbohydrates, calcium and phosphorus, and is commonly used in Thai desserts (Pechsmai, 2002).

Young coconut is the immature fruit of coconut palms, which can be easily grown throughout Thailand. Two cultivars generally grown in Thailand for export are *Nam Hom* and *Mhu Sri*, with the *Nam Hom* variety being preferred by exporters (Ruttanadat, 2004). The total export volume of young coconuts in 2002 was 23,068 tons, valued

at USD6.2 m. Young coconut is suitable for export to distant countries because the hard shell and husk provide good protection for the flesh and juice inside (Harach & Jarimopas, 1995). The young fruit is typically trimmed to remove most of the outer husk, and is then packed in corrugated boxes for export in quantities of 9 to 10 fruits (Jarimopas & Pechsmai, 2002).

The trimming process is done manually, a task which requires skilled labor and is extremely hazardous. Currently, workers must shear the husk off the green fruit with a long sharp knife. The inner white husk is then finely shaped to form a conical shaped top, a slightly tapered cylindrical body, and a flat base. The final product has a pentagonal contour (Fig. 1). After it has been trimmed, the fruit is dipped into a sodium metabisulfide solution to prevent surface browning (Siwawech, 2003).

The shortage of experienced labor and the high production cost has created an urgent need for mechanical trimming machines. Many fruit traders have expressed a

* Corresponding author. Tel./fax: +66 34 351 896.
E-mail address: jarimopas@yahoo.com (B. Jarimopas).

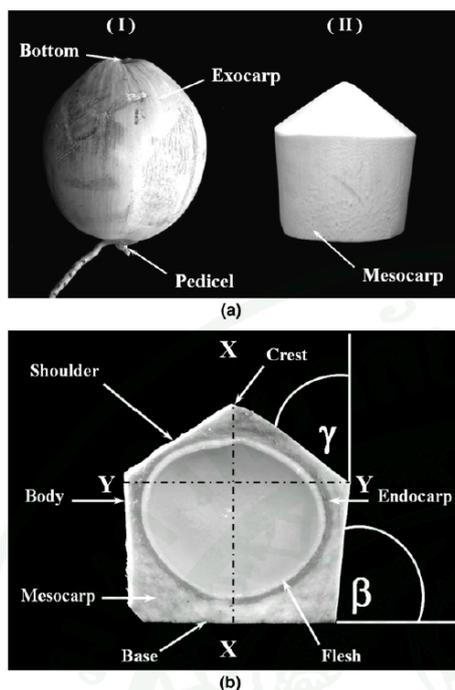


Fig. 1. Appearance of young coconut fruit. (a) I = Before trimming; II = After trimming. (b) Cross-section of the trimmed fruit.

desire for machinery that is capable of trimming the young coconut fruit into a pentagonal shape as fast as can currently be done by skilled labor. Furthermore, they have indicated that they want the processed fruit to be free of green and fibrous areas. Finally, they require the machine to have a relatively simple design, to be safe, and to cost about THB50,000 (USD1250) (Jarimopas & Srihawong, 1996).

In an earlier attempt to meet these specifications, Jarimopas and Pechsamai (2002) designed a lathe machine to trim coconut. The apparatus pared the rotating fruit by means of a knife that was fed linearly and finely into the fruit by the lathe-cutting mechanism. The 70 kg machine featured two sets of knives and was driven by a 0.75-kW single-phase electric motor, which rotated the fruit at 300 rpm. The finished product contained on average 0.6% of fibrous area and 3% of green area; nevertheless, this process could not be considered entirely successful as the fruit required separate manual base cutting. In addition, a green area of about 30 mm in diameter always remained at the crest, which needed to be further trimmed off by hand. The objective of this research therefore was to overcome these limitations by developing a young coconut trimming machine that could complete all paring operations, including those performed on the crest and base.

2. Materials and methods

2.1. Design and operation

A preliminary prototype was designed and built. It consisted of (a) a fruit clamp, (b) a fruit crest holder, (c) a shoulder trimming knife, (d) a body trimming knife, (e) a base cutter, (f) a 0.75-kW single-phase 220 V electric motor, and (g) power control paddles. Young fruit was first clamped in place and rotated around the horizontal axis. Trimming was executed by the shoulder and the body knives, which were mounted under the fruit with the knife edges positioned at the same height as the rotating axis of the fruit. The knives were controlled by a lathe mechanism which provided a linear, smooth and fine cutting motion. Base cutting remained manual, but the cutter movement was controlled mechanically. Preliminary testing of this machine identified some key problems and possible design modifications for further improvement.

Based on the results of the preliminary prototype, an improved prototype trimming machine (Fig. 2) was designed and constructed for further testing. The principles underlying the design were: (i) the final product must have a pentagonal profile; (ii) the trimming mechanism must be based on the lathe cutting technique; (iii) the construction must be rugged, compact and transportable; (iv) the mechanism must be uncomplicated, strong and must resist vibration; (v) the mechanism must be capable of being operated by one person. The machine comprised: (a) power transmission, (b) control, (c) shoulder and body knives, (d) base cutter, (e) fruit holder, (f) crest holder and, (g) shaft holding pedicel.

The operating procedure was as follows. First, the young fruit was firmly mounted between the crest holder and the shaft holding pedicel, so that the fruit axis was aligned with the horizontal line XX (X -axis). Next, the fruit was rotated and trimmed by the body knife. Following this, the fruit holder was manually fastened to the trimmed body, while the crest holder was pulled away from the fruit to its retracted position. The shoulder knife then trimmed the fruit until a sharp crest was achieved. A foam rubber pad covered the crest, and the crest holder again held the fruit by clamping the padded crest. Next, the fruit holder was opened and the trimmed fruit rotated. Finally, the base knife descended to cut the fruit underside, producing the complete trimmed fruit. The finished fruit was then dipped in sodium metabisulfide solution to prevent browning.

2.2. Test procedure

2.2.1. Determining the appropriate knife angle

Fig. 3 shows the orientation of the trimming knife. The knives were set such that their cutting edges were in the same horizontal plane as the rotating axis of the fruit (X -axis). The angle β between the cutting edge of the body knife and the Y -axis (Fig. 1), normally set at 76° , represents the taper angle of the fruit body. The angle γ between the

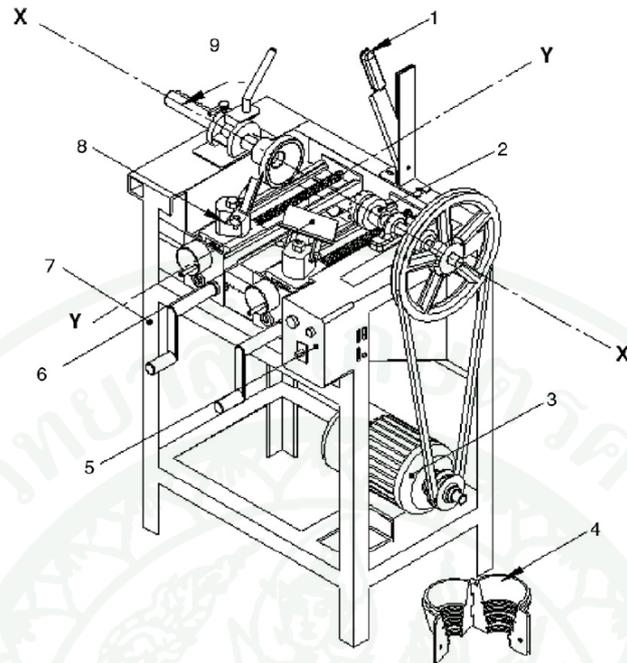


Fig. 2. Laboratory prototype: 1. Base cutter; 2. Shaft holding pedicel; 3. Electric motor; 4. Fruit holder; 5. Control box; 6. Body knife; 7. Frame; 8. Shoulder knife; 9. Crest holder.

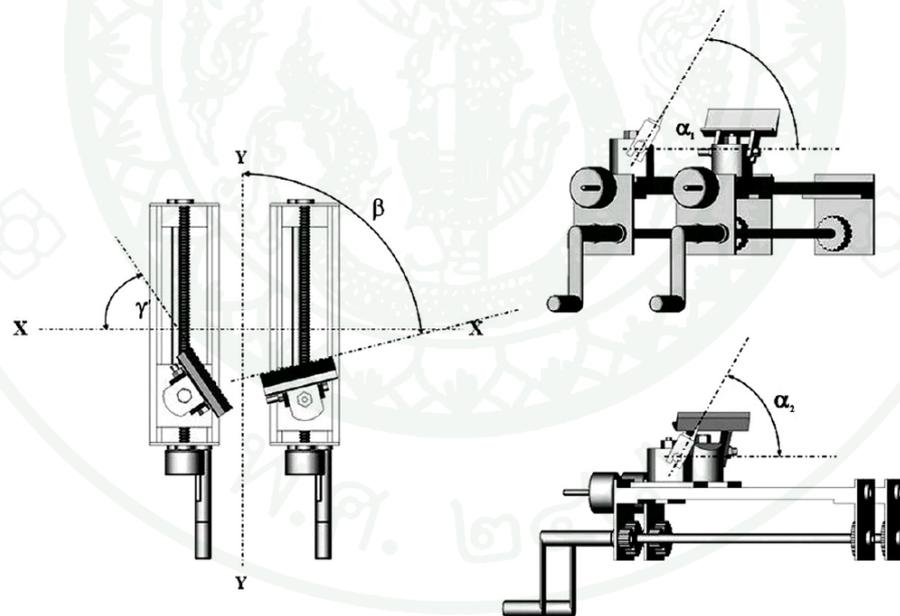


Fig. 3. Orientation of the trimming knife.

cutting edge of the shoulder-knife and the X -axis, normally set at 56° , represents the taper angle of the crest of the fruit (Fig. 1). These two angles are typically used to form the shape of the coconuts currently sold commercially (Ruttanadat, 2004).

The angle α between the knife plane and the horizontal plane is the most important angle in terms of its capacity to affect trimming performance. During the testing procedure, α was set to values of 56° , 58.5° , 61° , 63.5° and 66° . Ten optimally-matured fruits were allocated for each α angle. Each fruit was measured for diameter, height and weight, and was then trimmed and treated for browning protection. White trimmed fruit surface area, the untrimmed green area, and the remaining fibrous area on the surface of the trimmed fruit were marked on transparency plates, and further estimated by means of the automatic leaf area measurement system developed by Jarimopas, Kitawee, Rangsi, and Toomsaengtong (2002). The performance of the trimming machine was evaluated according to the following calculations:

$$\begin{aligned} \text{Untrimmed green area (\%)} \\ &= \frac{\text{the green area marked on transparency plate}}{\text{total trimmed and untrimmed fruit surface area}} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Fibrous area (\%)} \\ &= \frac{\text{remaining fibrous area}}{\text{total trimmed and untrimmed fruit surface area}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Machine capacity} = \frac{1}{\text{trimming time}} \quad (3)$$

2.2.2. Determining physical properties of young coconut fruit and influence of storage time upon trimming quality

A sample of optimally-matured coconuts selected at random by competent growers was divided into four groups, each containing 33 fruit, for post-harvest storage times of 0, 3, 6 and 9 days. Storage was under normal room conditions (ambient temperature = 28.7°C , humidity = 67.2%). Before the trimming test, 30 coconuts in each group were subjected to a compression test. Each fruit was compressed by a 6.4 mm diameter plunger at a loading rate of 25 mm/min. The fruit was mounted on an Instron (Model 5569, USA) universal testing machine and compressed until rupture occurred. The same test was done at two opposite points on the equatorial line of the fruit. The other three fruit were measured for moisture content according to ASAE standard No. ASAE S358.2DEC93 (1994). Performance of the machine and physical properties of the fruit were then evaluated. A compressive force and fruit deformation about 30% of rupture point were used to calculate the modulus of elasticity.

$$\text{Modulus of elasticity} = 0.75 \frac{(1 - \mu^2)}{\sqrt{R}} \frac{P}{D^{1.5}} \quad (4)$$

(Jarimopas, 1984) where

$$\begin{aligned} \mu &= \text{Poisson's ratio } 0.34 \text{ (Mohsenin, 1996)} \\ R &= \text{plunger diameter} = 6.4 \text{ mm} \\ P &= \text{compressive force (N)} \\ D &= \text{fruit deformation (mm)} \end{aligned}$$

2.2.3. Performance test of the improved laboratory prototype trimming machine

Following the test procedures described in Sections 2.2.2 and 2.2.3, the appropriate knife angle α and the storage time of young coconut fruit were determined. A further set of performance tests then occurred. Fruit rotation was set at 300 rpm, based on the work of Jarimopas and Pechsamai (2002).

Thirty selected young coconuts were used as a sample and the performance parameters described in Eqs. (1)–(3) were evaluated.

2.2.4. Performance test of the factory prototype

The factory prototype (Fig. 4) was made and evaluated according to the procedure described above. Samples of 30

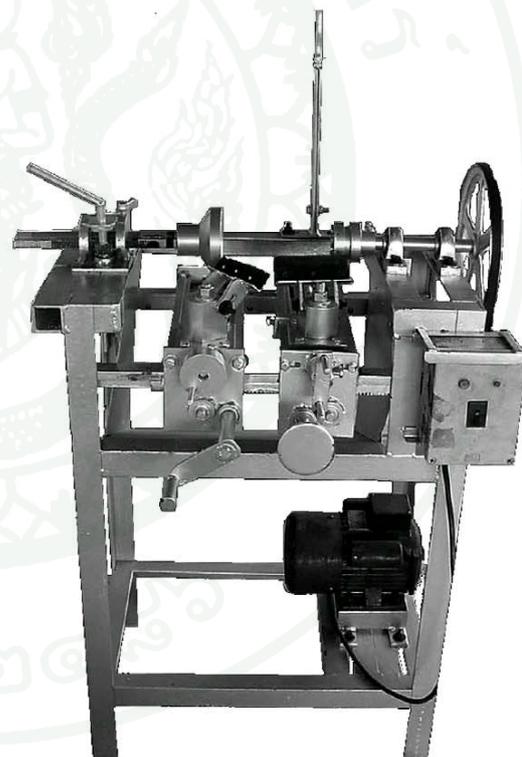


Fig. 4. Factory prototype.

optimal young fruit were used. The trimmed fruit was then presented to five large-scale young coconut wholesalers and exporters for assessment.

3. Results and discussion

3.1. Preliminary prototype

The preliminary prototype trimmed young coconut fruit at an average speed of 5.13 min/fruit, with 5.2% of the fruit's surface area remaining green and 23.5% remaining fibrous at the end of the process. The high trimming times resulted from difficulties faced when mounting the fruit in the clamp mechanism, and also when placing body-trimmed fruits of different sizes into the frustum frame for base cutting. Furthermore, the machine vibrated during operation, which generated a large quantity of protruding fibers. Finally, the working surface of the machine concealed the body and shoulder knives, which reduced visibility for the operator and therefore caused the trimming to be incomplete. Although the performance of this prototype was not acceptable, the results provided information which assisted in improving the design.

3.2. Effect of knife angle

ANOVA by means of SPSS showed that variation of knife angle α significantly affected the performance of the machine in terms of the amount of fibers remaining after trimming ($P < 5.0\%$). There were three different groups of mean amount of fibers which were not significantly different (Table 1). Setting the knife angles to 61° , 66° and 63.5° produced the least amount of fibers. The lowest fiber quantity of this group corresponded to the 61° knife angle, which was chosen as the appropriate angle.

Furthermore, it was found that the storage time affected the amount of remaining fibers at a 5% significance level (Table 2). The mesocarp, which is the main part of the husk, consists of spongy tissue and embedded fibers (Fig. 5). Its moisture level after harvesting was found to be 88.7%, but dropped gradually to 85.3% by the 9th day

Table 1
Duncan multiple range test of knife angle against remained fibers after trimming

Angle (degree)	Fibrous area, %
61	21.50a \pm 19.96
66	29.34a \pm 24.15
63.5	34.28a, b \pm 23.54
56	50.48 b, c \pm 10.80
58.5	59.03c \pm 9.91

Duncan a, b.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares, the error term Mean Square (Error) = 350.093. a, b and c were different at $P < 0.05$

*Uses harmonic mean sample size (N) = 10.

Table 2
Effect of storage time of young coconut fruit on the remained fibers

Storage time (Day)	Fibrous area, %
0	2.18a \pm 0.52
3	4.07a \pm 0.78
6	7.62b \pm 4.23
9	22.26c \pm 7.46

Duncan a, b.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares, the error term Mean Square (Error) = 44.707. a, b and c were different at $P < 0.05$.

*Uses harmonic mean sample size = 30.

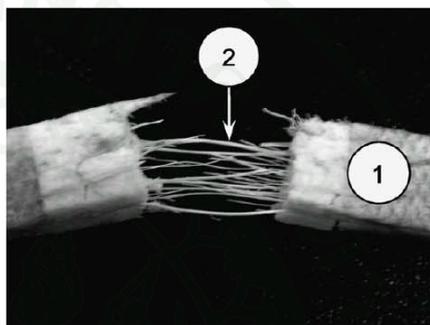


Fig. 5. Spongy tissue (1) and Fibers (2).

of storage (Fig. 6). This caused the cells and tissues in the sponge to shrink and leave empty spaces. When the mesocarp was compressed by the cutting knife, it was easily deformed and showed less firmness.

Elasticity also decreased gradually from 5.37 to 3.86 MPa over the storage period (Fig. 6). When the trimming knife came into contact with the mesocarp, it initially deformed the mesocarp until sufficient compactness was obtained and penetration could occur. Trimming at this stage took longer than if the process occurred with newly harvested young fruit, which have a higher mesocarp moisture content and thus can be penetrated immediately on knife contact (Fig. 6). On the other hand, knife pressure which caused deformation of the mesocarp prior to penetration resulted in excessive and undesirable protrusion of the fibers out of the cutting plane. To sum up, it was found that longer storage times result in excessive fibrous areas.

3.3. Performance test of the improved laboratory prototype and the factory prototype

Results from the first prototype testing suggested the following settings for the improved laboratory prototype: (a) shoulder knife $\gamma = 56^\circ$, $\alpha_1 = 61^\circ$; (b) body knife $\beta = 76^\circ$, $\alpha_2 = 61^\circ$; (c) trimmed fruit speed = 300 rpm; (d) one operator. In addition, it was determined that the fruit

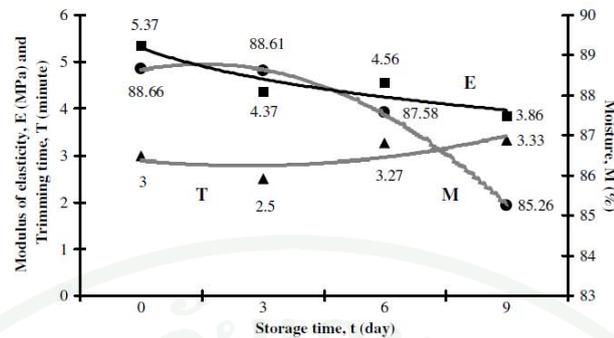


Fig. 6. Modulus of elasticity (E) ■, trimming time (T) ▲ and moisture content (M) ● of young coconut fruit with respect to storage time. E , M , T were significantly affected by t at 5% level. Graphs of E , M and T with respect to t were fitted by regression. R^2 for E , M and T is 0.84, 0.99 and 0.54, respectively.

must be newly harvested. When operated at the above settings, the trimming performance capacity averaged 20 fruit/h (CV = 3%) with an average untrimmed green area of 4.2% (CV = 16%) and an average fibrous area of 2.2% (CV = 24%). Average fruit moisture was 88.7%. The appropriate conditions of the laboratory prototype were then applied to the factory prototype. It was found subsequently that the factory prototype gave a better trimming performance; namely, a trimming capacity of 21 fruit/h (CV = 4%); untrimmed green area of 1.1% (CV = 22%), and remaining fibrous area of 0.2% (CV = 4%). It was observed that the uniform size and shape of the samples may have contributed to the improved performance. In addition, the improved design of the knife feeding mechanism by adding an additional 7.5 mm diameter rack and pinion to each platform to minimize knife vibration may also have been a factor in reducing the amount of protruding fibers.

All five major wholesalers and exporters accepted the quality of machine trimmed coconuts and offered the same price as that for manually trimmed fruit.

4. Conclusion and recommendation

The laboratory prototype was tested to determine the appropriate machine settings for trimming young coconut fruit. The appropriate specifications were then used to manufacture a factory prototype, which produced trimmed fruit with green areas measuring 1.1% of the surface and fibrous areas measuring 0.2%. This performance level was accepted by local fruit traders and exporters.

The capacity of the factory prototype was 21 fruit/h, which is low compared with expert manual trimming (about 40 fruit/h). However, the machine could perform the major functions of body trimming, shoulder trimming, and base cutting mechanically and safely.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the National Research Commission of Thailand and the Postgraduate and Research Development Project in Postharvest Technology at Chiang Mai University for their financial support. Deep appreciation is sincerely given to Professor P. Chen, Professor Emeritus, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of California, Davis, for his valuable guidance.

References

- Harach, C., & Jarimopas, B. (1995). Young coconut peeling machine. *Kasetsart University Journal (Natural Sciences)*, 29, 393–403 (in Thai).
- Jarimopas, B. (1984). *Failure of apples under dynamic loadings*. D.Sc. Dissertation. Faculty of Agricultural Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, p. 157.
- Jarimopas, B., Kitawee, A., Rangsi, W., & Toomsaengtong, S. (2002). Automatic leaf area measurement system. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 9(1), 57–63 (in Thai).
- Jarimopas, B., & Pechsamai, A. (2002). Design and development of young coconut peeling machine. *Thai Agricultural Research Journal*, 20(2), 91–110 (in Thai).
- Jarimopas, B., & Srihawong, S. (1996). Preliminary study on status of young coconut fruit production destined to fresh market consumption. *Kasetsart Journal (Social Sciences)*, 17, 12–18 (in Thai).
- Mohsenin, N. N. (1996). *Physical properties of plant and animal materials* (2nd Revised and Updated ed.). Thailand: Gordon and Breach Publishers, p. 891.
- Pechsamai, A. (2002). *Design and development of a young coconut peeling machine*. M.Eng. Thesis. Department Agricultural Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, p. 97 (in Thai).
- Ruttanadat, N. (2004). *Development of Young Coconut Fruit Peeling Machine*. M.Eng. Thesis. Department Agricultural Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, p. 104 (in Thai).
- Siwawech, S. (2003). *Food contaminants* Vol. 1. National Agricultural Extension and Training Center Printer. Kasetsart University. Kamphaengsaen Nakohnpathom, Thailand, p. 380 (in Thai).

Available at www.sciencedirect.comjournal homepage: www.elsevier.com/locate/issn/15375110

Research Paper: PH—Postharvest Technology

An automatic trimming machine for young coconut fruit

Bundit Jarimopas^{a,*}, Nuttapong Ruttanadat^b, Anupun Terdwongworakul^c

^aDepartment of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom 73140, Thailand

^bDepartment of Agricultural Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand

^cDepartment of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 July 2008

Received in revised form

5 September 2008

Accepted 8 October 2008

Published online 28 March 2009

A prototype automatic young coconut fruit trimming machine was designed, constructed, tested and evaluated. The mechanism used features a sharp inclined knife which operates in translation motion in a vertical plane to trim the fruit, which is clamped tightly and rotates about a vertical axis. Machine components include a main frame, a body-trimming station, a shoulder-trimming station, a base-cutting station, a rotary base, three fruit holders, an electrical connection slip ring, a power drive and programmable electronic control. In experiments, the untrimmed fruit was continuously fed into three separate fruit holders. These in turn conveyed the coconut through the body-trimming, shoulder-trimming and base-cutting stations. The fruit holders continuously travelled in a circle encompassing every station in sequence. Optimal settings included (a) feeding rate of 86 fruit h⁻¹, (b) 300 rpm rotation of the trimmed fruit, and (c) a shoulder knife height of 180 mm. Average loss rates were 0.35%, for the fibrous area, 2.5% for fruit damage and 14.5% for the untrimmed green area. The optimally trimmed fruit was accepted by growers and traders.

© 2008 IAgRE. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Young “Namhom” coconut is an international favourite. The fruit consists of a husk enclosing shell, flesh and juice. Normally, the fruit is manually trimmed into a pentagonal profile to remove the husk. Manual trimming requires considerable physical strength and a very large sharp knife, and thus is a dangerous procedure. Other problems associated with manual trimming are the shortage of skilled labour and the considerable amount of time that the trimming procedure takes.

Accordingly, several researchers have attempted to develop a young coconut fruit trimming machine (Harach and

Jarimopas, 1995; Jarimopas and Pechsamai, 2002). Unfortunately, their machines were unacceptable to growers, processors and traders. However, more recently, Jarimopas and Ruttanadat (2007) developed a prototype of young coconut fruit trimming machine which appeared to have more potential. The machine was based on the lathe cutting machine mechanism and was composed of a lathe machine with a body-trimming knife, a shoulder-trimming knife, a base-cutting knife, and clamping mechanisms. The prototype had the capacity to trim 21 fruit h⁻¹, with the finished product on average containing 1.1% of untrimmed green area and 0.2% of fibrous area. The fruits trimmed by the machine were accepted by fruit traders and exporters. However, about

* Corresponding author.

E-mail address: jarimopas@yahoo.com (B. Jarimopas).

1537-5110/\$ – see front matter © 2008 IAgRE. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.10.004

70% of machine operating time was lost because of the need to manually reposition and hold the fruit, and readjust the knife for each trimming operation. As a result, it proved faster to manually trim fruit than to use the machine.

To consume their flesh and the juice, trimmed coconuts must be opened either manually or mechanically. As with trimming, manual opening requires the use of a large sharp knife, and physical strength and presents injury risks for the opener. Jarimopas and Kuson (2007) developed a young coconut fruit opening machine. The machine worked on the concept that opening was achieved by shearing the rotating trimmed young coconut by a stationary knife. The opening machine performance was attributed by the capacity of 30 s/fruit, juice spill-off of 2%, sawdust in juice of 0.2 g, diameter of circular opening of 58 mm. However, development of young coconut opening machine challenges the further development of the automatic young coconut fruit trimming machine to work better and faster than manual operators. Thus, the present research was aimed to develop an automatic young coconut fruit trimming machine which can process the fruit efficiently and quickly.

2. Materials and methods

2.1. Determination of physical characteristics of intact and trimmed young coconut fruit

2.1.1. Physical characteristics of the coconut samples

A number of young coconut fully mature fruit of the "Namhom" variety were obtained. Thirty intact and 30 trimmed young coconut fruit were randomly selected from three big fruit markets in the Bangkok metropolitan area (10 from each location). The diameter D and height H of each intact fruit were measured using vernier callipers (Figs. 1 and 2). The physical characteristics of each trimmed fruit sample (fruit height h_1 , shoulder height h_2 , shoulder diameter dh ,

base diameter db) were then measured. The intact and the trimmed samples were sectioned along the stem axis using a saw and a large sharp knife (Fig. 2). Following this, a selected half sample that had been arranged horizontally was photographed using an Olympus C750 Ultra zoom digital camera (Olympus Corp., Japan). The dimensions of the young coconut were then measured using the Measure Tool (I) function in the Adobe Photoshop CS (Adobe Systems Inc., CA, USA) computer software application (Jansomwong & Jaroenpru, 2002). The position of shell in the intact fruit as compared to that in the trimmed fruit was determined as well. Knowledge of the physical characteristics described above was essential to the design of the automatic young coconut fruit trimming machine. The complete list of characteristics was as follows:

For intact fruit (dimensions in mm)

H = fruit height

D = fruit diameter

h = shell height

d = shell diameter

b_1 = vertical distance between the stem and the shell

b_2 = vertical distance between the shell and the fruit base

a_1 = horizontal distance between the fruit skin and the shell on the left side

a_2 = horizontal distance between the fruit skin and the shell on the right side

For the trimmed fruit (dimension in mm)

h_1 = fruit height

d = shell diameter

g_1 = shoulder height on the left side

g_2 = shoulder height on the right side

dh = shoulder diameter

db = base diameter

j_1 = vertical distance between crest and shell

j_2 = vertical distance between shell and base

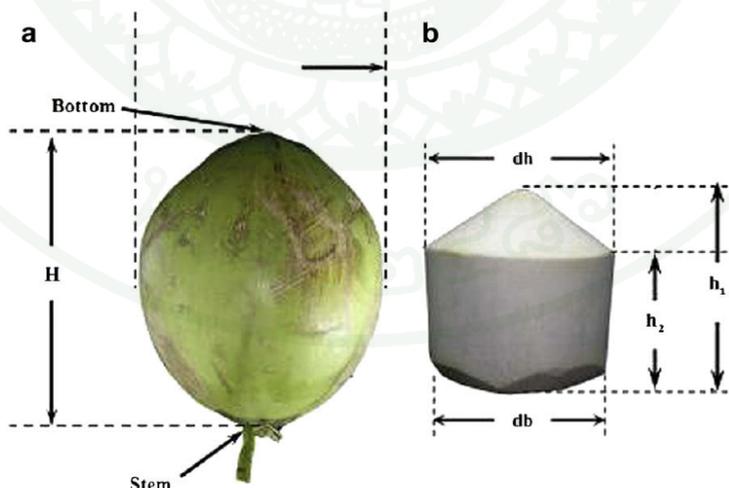


Fig. 1 – Images of intact and a trimmed young coconut fruit. (a) Intact and (b) trimmed.

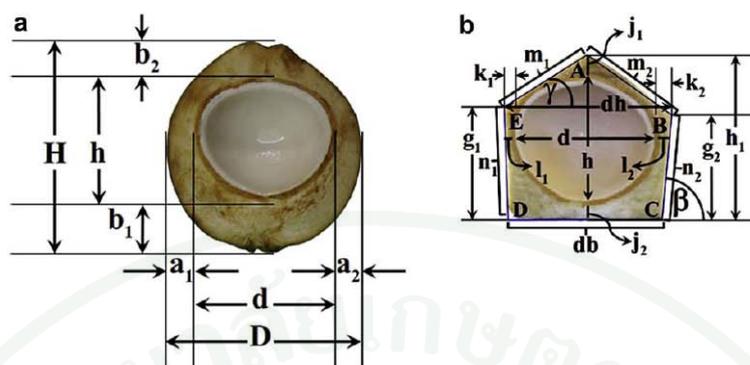


Fig. 2 – Sectioning of young coconut fruit with labelling of its dimensions. (a) Intact and (b) trimmed.

k_1 = horizontal distance between shoulder and shell on the left side

k_2 = horizontal distance between shoulder and shell on the right side

l_1 = the narrowest horizontal distance between skin and shell on the left side

l_2 = the narrowest horizontal distance between skin and shell on the right side

m_1 = distance between crest and shoulder on the left side

m_2 = distance between crest and shoulder on the right side

n_1 = distance between shoulder and base on the left side

n_2 = distance between shoulder and base on the right side

γ = shoulder angle $A\hat{E}B$

β = base angle = $180 - B\hat{C}D$

h_2 = average shoulder height = $(g_1 + g_2)/2$

$k = (k_1 + k_2)/2$; $l = (l_1 + l_2)/2$; $m = (m_1 + m_2)/2$; $n = (n_1 + n_2)/2$

After determining the relevant physical characteristics, mechanical trimming was simulated using the SolidWorks 2007 software (Dassault Systemes SolidWorks Corp., MA, USA) using the methods described in detail in Ruttanadat and Jarimopas (2008).

2.1.2. Size distribution

Three hundred and seventy intact young “Namhom” coconuts at full maturity were purchased randomly from a big exporting orchard at Baanpaew in Samutsakohn province. H and D of all the samples were measured and analysed using the descriptive statistics supported by SPSS 12 for Windows (SPSS Inc., IL, USA).

2.2. Design and operation

2.2.1. Design

The design concept was to trim the clamped, vertically rotating fruit by applying an inclined sharp knife in translation motion in a vertical plane. The prototype (Fig. 3) consisted of a body-trimming station, a shoulder-trimming station, and a base-cutting station, all mounted 120° apart on a fixed main frame around the periphery of a rotary base (a

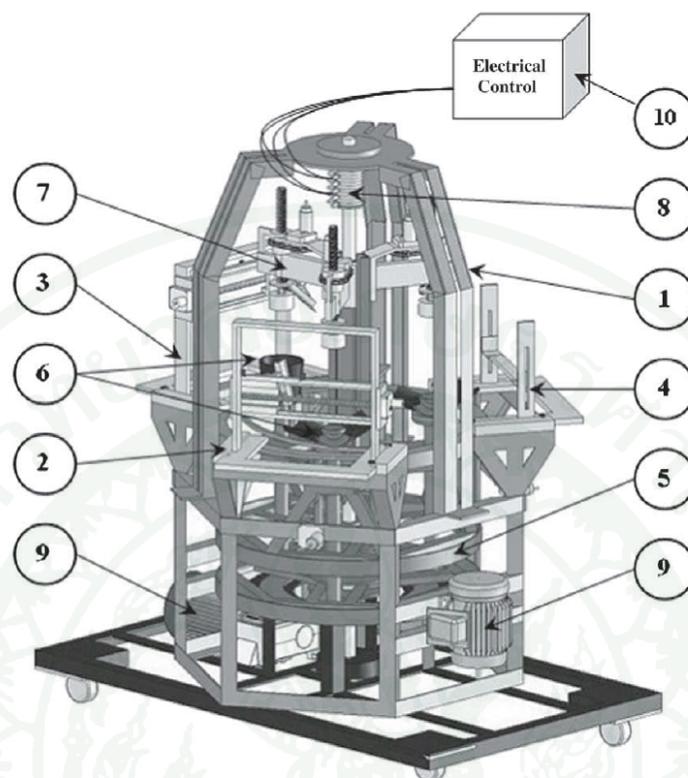
turntable). Mounted on the turntable, also 120° apart, were three identical fruit holders. Each fruit holder (Fig. 4) included a top and the bottom piece.

The bottom piece consisted of a circular platform in the middle and was surrounded by three movable jaws. Each jaw was lined with foam rubber to reduce damage to the fruit. The jaws could be opened or closed in order to facilitate the trimming by knives of the body and shoulder of the fruit. The function of the top piece was to clamp the fruit and located associated with the fruit holder. The top piece comprised a shaft, spring, limit switch, and a DC motor to drive the shaft.

The spring, the limit switch and the motor were installed on the shaft, the end of which was capped with a rubber cone. The function of this cone was to tighten the top of the untrimmed fruit, or the crest of the trimmed fruit. The spring provided fruit compression while the limit switch controlled the compression. Each fruit holder could automatically change the fruit holding configuration to facilitate trimming of different parts of the fruit as the fruit moved from one station to the next. For example, the top and the bottom pieces together compressed the fruit at the body-trimming (Fig. 5b) and the base-cutting station (Fig. 6). The three jaws grasping the trimmed body of the fruit on the bottom piece only without the top piece (Fig. 7b).

The fruit holder also functioned as a spindle that rotated the fruit about its vertical axis during the trimming operation. All motions and synchronisations of the machine components were control by motors, limit switches, and a programmable logic controller (PLC). The birdcage-shape main frame was 1 m wide by 1.7 m long by 1.7 m high and stood on a steel platform which rode on four small wheels. The main frame was made of 50 mm steel L-beams. The body-trimming station (Fig. 5) included the trimming knife, which was mounted on a feeding mechanism driven by a DC motor and controlled by limit switches.

The shoulder-trimming station (Fig. 7) was in principle similar to the body-trimming station. The inclination angle of the body-trimming knife and the shoulder-trimming knife was set according to Jarimopas and Ruttanadat (2007). The base-cutting station (Fig. 6) featured a sharp straight knife



No.	List
1	Main frame
2	Body trimming station
3	Shoulder trimming station
4	Input-output-base cutting station
5	Rotary base
6	Fruit holder
7	Fruit pressing set
8	Slip Ring
9	Electrical motors
10	Electrical control

Fig. 3 – The prototype automatic young coconut fruit trimming machine.

mounted on a feeding mechanism similar to that of the other two stations. Cutting of the fruit base was performed automatically while input of the untrimmed fruit and the removal of the trimmed fruit were carried out manually by the operator at the base-cutting station.

The rotary base (Fig. 4) conveyed the young coconut to be processed from one station to the other station until the completion of trimming. This component revolved at a speed of 8.8 rpm. It was equipped with a 37.5 mm shaft driving the fruit holder to turn at a speed of 300 rpm.

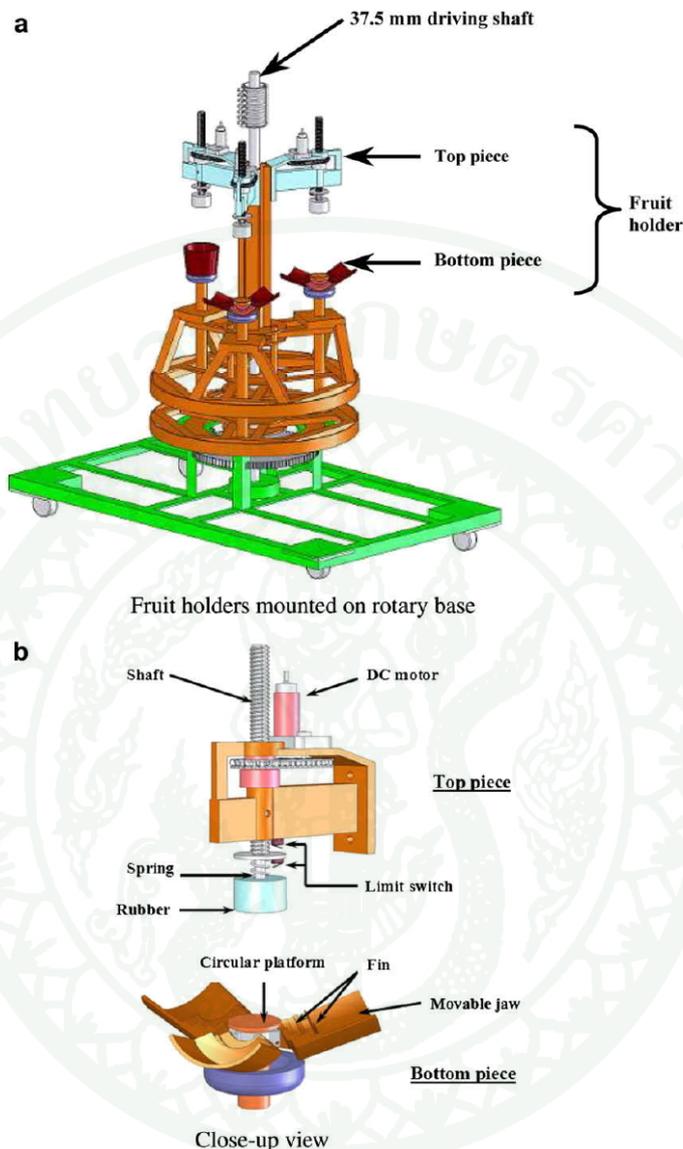


Fig. 4 - Rotary base with fruit holders. (a) Fruit holders mounted on rotary base and (b) close-up view.

The slip ring of the electrical connection was made of PVC tubes. The inner tube was equipped with 14 brass rings while the outer tube was equipped with carbon brushes. The brush and the ring were preferred as a method of forming electrical contact as it was felt that electrical wires may become entangled during rotation. Power for the system was provided by a 3 hp, 380 V brake motor driving the rotary base turning at 8 rpm and a 3 hp, 380 V electric motor powering shafts rotating the fruit holders at 300 rpm. The power transmitted through gears and all mechanisms was controlled by two

PLCs. The DC motor used in the machine was a commonly used and easily maintained 12/24 V, 110/300 rpm unit.

2.2.2. Operation

The operator firstly loaded the untrimmed coconut (fruit No. 1) onto the fruit holder/spindle at the base-cutting station, which also served as an input–output station. At this station, the fruit was clamped from the top and bottom (Fig. 8) by the downward movement of the top piece of the holding set. After the fruit was held securely, the operator pressed a control button to

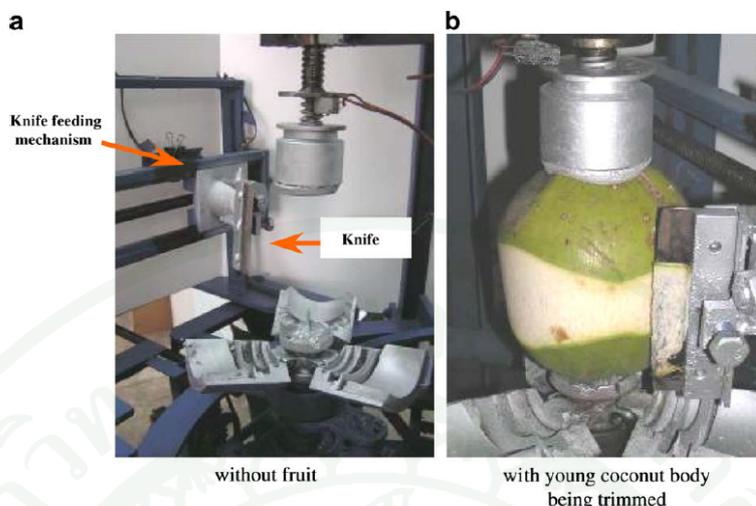


Fig. 5 – Body-trimming station. (a) Without fruit and (b) with young coconut body being trimmed.

start the operation. The fruit started to spin as the turntable rotated 120° to convey the fruit to the body-trimming station where the fruit was trimmed by the body-trimming knife. When the trimming was completed, the machine stopped, and the operator loaded fruit No. 2 onto the second fruit holder at the base-cutting station. The operator then pushed the control button to continue the operation. At this moment, both fruit started to spin, and the turntable rotated 120° to move fruit No. 2 to the body-trimming station and fruit No. 1 to the shoulder-trimming station.

As fruit No. 1 was being conveyed from the body-trimming station to the shoulder-trimming station, the machine automatically changed the holding configuration by pivoting the jaws of the three-jaw grasper to clamp the trimmed body of the fruit, and also raising the top piece of the holding set (Fig. 7). Then the body of fruit No. 2 and the shoulder of fruit No. 1 were trimmed simultaneously. When the trimming was

completed, the machine stopped, and the operator loaded fruit No. 3 onto the third fruit holder and activated the machine again to move fruit No. 1 to the base-cutting station, fruit No. 2 to the shoulder-trimming station, and fruit No. 3 to the body-trimming station.

As fruit No. 1 was being moved to the base-cutting station, the fruit holder returned to the top-and-bottom holding configuration to allow the knife to cut through the base of the fruit. While the base of fruit No. 1 was being cut, the other two fruits were also being trimmed simultaneously. After the base-cutting operation, the trimming of fruit No. 1 was complete, and the machine stopped. The operator removed the trimmed fruit No. 1, loaded a new fruit onto the fruit holder, and pushed the control button to continue the operating cycle. In continuous operation, three coconuts were trimmed simultaneously, one at the body-trimming station, one at the shoulder-trimming station, and one at the base-

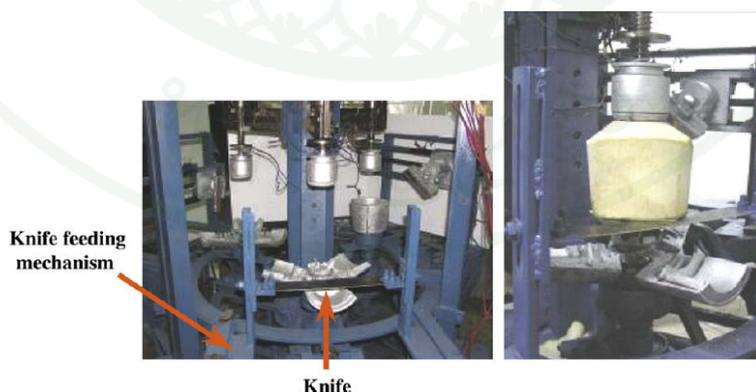


Fig. 6 – Base-cutting station.

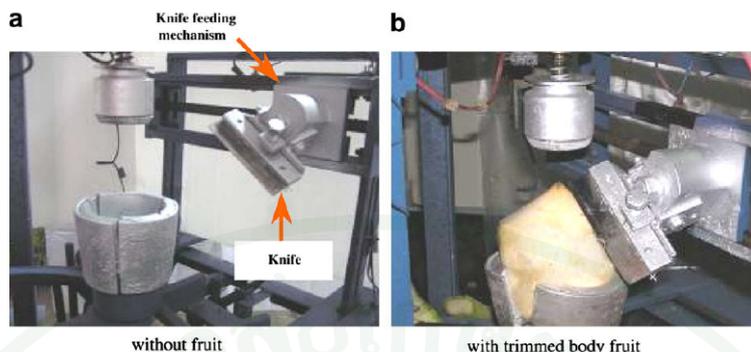


Fig. 7 – Shoulder-trimming station. (a) Without fruit and (b) with trimmed body fruit.

cutting station. The duty of the operator was to remove the finished fruit from the base-cutting station and load a new fruit onto the fruit holder. Then he pressed a control button to activate the system. Each time the control button was pressed, the turntable pivoted 120° to convey the fruit to the next station. As the fruit reached the next station, the spindle rotated the fruit, and the trimming knife moved forward to trim the fruit and then returned to its docking position. At this time the machine stopped so that the operator could remove the finished fruit and load another new fruit at the base-cutting station.

2.3. Performance test

The purpose of the performance testing was to (a) operate the machine and (b) evaluate the correctness and readiness of

cutting station. The automatic trimming machine was switched on and the fruit pressing set descended to clamp the sample. Then, the fruit holder rotated and carried the sample to be trimmed to the body-trimming, shoulder-trimming and base-cutting stations. The operation duration at each station was recorded.

The trimmed sample that was removed from the base-cutting station was dipped into the sodium metabisulfide solution (2.5% concentration) to prevent surface browning. The wet fruit was then left in a room for surface drying and was thereafter weighed and measured. The trimming performance in terms of the remaining green area, the fibrous area, and the number of fruit successfully trimmed was measured and analysed according to Jarimopas and Ruttanadat (2007):

$$\text{Untrimmed green area (\%)} = \frac{\text{the green area marked on transparency plate}}{\text{total trimmed and untrimmed fruit surface area}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Fibrous area FA (\%)} = \frac{\text{remaining fibrous area}}{\text{total trimmed and untrimmed fruit surface area}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Machine capacity} = \frac{1}{\text{trimming time}} \quad (3)$$

$$S = (\text{number of fruit whose shell was trimmed}) / (\text{total trimmed fruit}) \times 100$$

performance of the individual parts and the entire system, especially the interaction between the mechanical parts and the programmed electronic control.

Each of the three fruit holders was separately tested with regard to their ability to perform body trimming, shoulder trimming, and base cutting. Twenty newly harvested young coconuts were used. An untrimmed sample with its stem turned down was first mounted to the fruit holder at the base-

The same testing procedure was repeated with the other two fruit holders. A test was carried out to continuously feed 65 untrimmed young coconuts to every fruit holder working simultaneously. This test aimed to determine the optimal operating conditions of the automatic trimming machine.

The final test was the observation of the long-run performance of the automatic trimming machine. The optimal conditions were set constant throughout the long-run



Fig. 8 – Base-cutting station.

operation. This procedure involved the use of 200 newly harvested young coconuts selected at random. The trimming knives were changed after 50 fruits had been trimmed. The trimming machine performance was then evaluated.

3. Results and discussion

3.1. Physical characteristics of the intact and the trimmed young coconut fruit

Tables 1 and 2 present the statistics of physical characteristics of the intact and the trimmed young coconut fruit. On average, intact fruit was 180 mm in height (H) and 160 mm in diameter (D). The height (h) and the diameter (d) of its shell were 99 and 105 mm, respectively. The characteristics of the trimmed fruit were 136 mm height (h_1), 90.0 mm shoulder height (h_2), 126 mm shoulder width (dh), 108 mm base width (db), crest angle (γ) of 35.6° and base angle (β) of 84.4° . The aforementioned physical characteristics were fundamental

Table 1 – Physical characteristics of intact young coconut fruit

Characteristics	Dimension (mm)
Fruit height (H)	179.7±5.3
Fruit diameter (D)	160.2±5.6
Shell height (h)	99.3±4.2
Shell diameter (d)	105.3±6.0
Vertical distance between the stem and the shell (b_1)	45.4±5.2
Vertical distance between the shell and the fruit base (b_2)	32.7±2.5
Horizontal distance between the fruit skin and the shell on the left side (a_1)	26.3±3.0
Horizontal distance between the fruit skin and the shell on the right side (a_2)	26.0±2.9

data which determined the design of the fruit holder and cutting knife angle settings.

Fig. 9 shows the distribution of height and diameter of the intact young coconut. Mean and median of fruit height (Fig. 9a) were 175.2 ± 10.8 mm and 174.7 mm while that of fruit diameter (Fig. 9b) were 153.1 ± 0.87 mm and 152.1 mm, respectively. The closeness of the mean and the median suggested the histogram distribution was normal (Wanichbancha, 2006). The 175 mm height and the 153 mm diameter of intact fruit were applied for the machine design.

3.2. The automatic trimming machine performance

Each individual fruit holder efficiently transported the untrimmed young coconut through the body, shoulder and base-cutting stations. All the fruit samples were trimmed successfully. Continuous operation suggested that the appropriate operating conditions were (a) a feeding rate of 86 fruit h^{-1} , (b) 300 rpm revolution of the trimmed fruit, and (c) 180 mm shoulder knife height. The shoulder knife height was based on the probability that 90% of young coconut in a normal distribution (Fig. 9) would be medium sized. The machine could automatically trim 200 young coconut in 2.34 h at the throughput capacity of 86 fruit h^{-1} (excluding time for the three separate knife replacements). Testing showed that 0.35% of fibrous area remained, while the average total untrimmed green area was 14.5%. A total of 2.5% of the coconut were damaged through over trimming.

All mechanical parts functioned interactively and efficiently with the programmed electronic control. The trimmed fruit was accepted by growers and traders. The trimmed fruit quality, in term of the fibrous area and untrimmed green area remaining, was higher than that produced by the semi-automatic trimming machine developed by Jarimopas and Ruttnadat (2007). Processing speed in comparison to the average competent manual trimming rate (35 fruit h^{-1}) was also higher.

Table 2 – Physical characteristics of trimmed young coconut fruit

Characteristics	Dimension (mm)
Fruit height (h_1)	135.9±6.6
Average shoulder height (h_2)	89.7±4.8
Shell diameter (d)	111.9±7.7
Shell height (h)	106.3±6.9
Shoulder diameter (dh)	126.2±9.0
Base diameter (db)	108.3±9.2
Vertical distance between crest and shell (j_1)	18.2±2.9
Vertical distance between shell and base (j_2)	12.4±4.5
Average horizontal distance between shoulder and shell (k)	14.0±3.5
The average narrowest horizontal distance between skin and shell (l)	5.2±3.8
Average distance between crest and shoulder (m)	84.3±6.8
Average distance between shoulder and base (n)	83.7±10.0
Shoulder angle (γ)	$35.57 \pm 1.93^\circ$
Base angle (β)	$84.44 \pm 1.11^\circ$

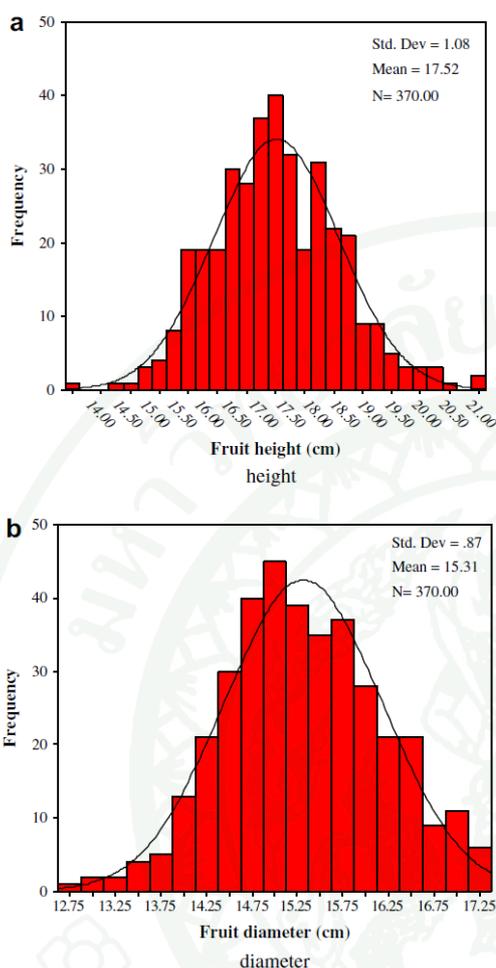


Fig. 9 – Histogram of intact fruit height and diameter distribution. (a) Height and (b) diameter.

4. Conclusion

A prototype of a single operator automatic young coconut fruit trimming machine was designed, constructed, tested and

evaluated. Continuous performance testing revealed a trimming capacity of 86 fruit h^{-1} . The average fibrous area remaining after trimming was 0.35%; the average damage rate was 2.5%; and the average remaining untrimmed green area was 14.5%. Knife changes were necessary after every 50 trimming operations. The throughput capacity was about 2.5 times higher than that of manual trimming by skilled trimmers. The fruit trimmed by the machine prototype was accepted by growers and traders.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the Kasetsart University Research and Development Institute and the Post-harvest Technology Graduate and Research Development Project at Chiang Mai University, and the National Material and Metal Technology Center (MTEC) for sponsoring this project. The authors gratefully appreciate the valuable guidance of Dr. P. Chen, Professor Emeritus, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis to consistently support the completion of the research work.

REFERENCES

- Harach C; Jarimopas B (1995). Young coconut peeling machine. *Kasetsart University Journal (Natural Science)*, 29, 393-403 (in Thai).
- Jansomwong W; Jaroenpru M (2002). Guide for Photoshop 7 & Image Ready 7. Provision Co. Ltd., Bangkok. 416 pp.
- Jarimopas B; Kuson P (2007). A young coconut fruit opening machine. *Biosystems Engineering*, 98(2), 185-191.
- Jarimopas B; Ruttanadat N (2007). Development of a young coconut fruit trimming machine. *Journal of Food Engineering*, 79, 752-757.
- Jarimopas B; Pechsamai A (2002). Design and development of young coconut peeling machine. *Thai Agricultural Research Journal*, 20(2), 91-110 (in Thai).
- Ruttanadat N; Jarimopas B (2008). Physical characteristics of intact and trimmed young coconut fruit as related to the design of automatic trimming machine. In *Proceeding of the Ninth National Conference of Thai Society of Agricultural Engineering*, 31 January-1 February 2008. Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiangmai, Thailand.
- Wanichbancha K (2006). *Advanced Statistical Analysis with SPSS for Window*. Chulalongkorn University Press, Bangkok.

การใช้ NIR คัดแยกสีของผลมะเขือเทศ
APPLICATION OF NIR TO SEPARATE COLORS OF TOMATOES

บัณฑิต จริโมภาส¹, จีรารณ มณีโรจน์² และณัฐพงศ์ รัตนเดช³

¹รองศาสตราจารย์, ²นักศึกษาปริญญาโท, ³นักศึกษาปริญญาโท
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

บทคัดย่อ : การศึกษานี้เพื่อที่จะหาสมบัติการสะท้อนแสงของผลมะเขือเทศ และความสัมพันธ์ของสมบัติ นั้นกับระยะการเจริญเติบโต วิธีการศึกษาประกอบด้วย การนำผลมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ที่ 4 ระยะการเจริญเติบโต (ตามการเปลี่ยนแปลงของสี) จากอ่อนไปสู่ระยะโตเต็มที่ ได้แก่ สีเขียว สีมสั่ม สีชมพู สีแดง 10 ผลต่อระยะการเจริญเติบโต มาทดลองกับเครื่อง InfraAlyzer 500 ผลการทดลองปรากฏว่า อัตราการสะท้อนแสงของมะเขือเทศสีเขียวต่อมะเขือเทศสีชมพูมีค่าสูงสุดคือ 1.53 การทำ First และ Second derivative กับกลุ่มกราฟการสะท้อนแสงให้อัตราส่วนดีที่สุทธน้อยกว่าอัตราส่วนที่ได้จากกราฟการสะท้อนแสง

Abstract : This study was to determine reflectance property of tomatoes and its relationship with maturity stages. Methodology comprised experimenting tomatoes of Sridatip variety at 4 maturity stages identified by green, orange, pink and red colors corresponding to the young to the fully matured. Ratio between reflectance of the green tomato to that of the pink was highest (= 1.53). Analysis on first and second directives of the reflectance curves yielded the best ratio of smaller value than the reflectance ratio.

Keywords : NIR, Reflectance, Tomato

บทนำ

Near Infrared Spectroscopy (NIR) เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้ โดยวัดการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้คลื่น Infrared ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่ไม่เท่ากัน ปริมาณขององค์ประกอบของผลผลิตจะสัมพันธ์กับปริมาณของการสะท้อนแสง

ปริมาณองค์ประกอบที่เพิ่มขึ้นโดยทั่วไปจะทำให้ปริมาณการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดการสะท้อนแสงสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีในการวัดสีของมะเขือเทศได้

เทคนิค NIR จะช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ทางเคมีและสามารถนำมาใช้แทนเครื่องมือวัดต่าง ๆ ได้ หลังจากการทำ Calibration กับค่าทางเคมีที่ได้จากเครื่องมืออื่น ๆ แล้ว ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้ผลมะเขือเทศเป็นผลผลิตวัตถุดิบ

มะเขือเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมพืชหนึ่งของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มะเขือเทศส่งโรงงานอุตสาหกรรม และมะเขือเทศรับประทานสด จากสถิติการปลูกพืชผักรายปีของกรมส่งเสริมการเกษตร แสดงให้เห็นว่ามีการปลูกมะเขือเทศในประเทศไทยประมาณปีละ 40,000 ไร่ โดยในปี 2532-2533 เป็นช่วงที่มีการขยายพื้นที่ปลูกมะเขือเทศมากที่สุดถึง 90,000 ไร่ แล้วค่อย ๆ ลดลงในระยะต่อมาจนถึงปัจจุบัน (กรุง, 2543)

ในประเทศไทย แหล่งปลูกมะเขือเทศส่งโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ส่วนการปลูกมะเขือเทศเพื่อใช้บริโภคผลสดจะมีอยู่ทั่ว ๆ ไปทุกภาคของประเทศ

การใช้หลักการของ NIR มาช่วยในการแยกลักษณะของสีผลมะเขือเทศจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้บริโภค เพราะจะได้ผลผลิตที่สุกสม่ำเสมอเหมาะแก่การบริโภคจริง ๆ ผู้บริโภคไม่ถูกเอาเปรียบจากผู้

จำหน่ายโดยการนำเอาผลผลิตที่ยังอ่อนอยู่มาแปปนในผลสุกและผู้ขายสามารถมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายมะเขือเทศสีแดงเสมอ

ในประเทศไทย การศึกษาสมบัติเชิงแสงของผักสัมพันธ์กับระยะเวลาเจริญเติบโตของผลมะเขือเทศยังไม่มี

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนของแสงกับระยะเวลาเจริญเติบโตต่าง ๆ ของผลมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ โดยใช้เครื่อง InfraAlyzer 500

ตรวจเอกสาร

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่ศึกษากันมากกว่า 30 ปีแล้วผู้ที่นำมาใช้เป็นคนแรกคือ K. H. Norris (Kawano, 1995) ในช่วงแรกได้ศึกษาองค์ประกอบเคมีของธัญพืช เช่น เมล็ดข้าว, เมล็ดถั่ว ซึ่งมีความชื้นต่ำ เป็นส่วนใหญ่ หลังจากนั้นเป็นต้นมาเทคนิค NIRS ก็ได้พัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วมีการศึกษาในด้านอื่น เช่น ศึกษาทางด้านยา, ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีในดิน, ไม้, ในอาหารคน, อาหารสัตว์ และอื่น ๆ อีกมากมาย และสามารถตรวจสอบองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงได้อีกด้วย

Near Infrared (NIR) เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นในย่าน 800-2500 nm ซึ่ง Mid-IR จะอยู่ในช่วงคลื่น 2500 – 15000 nm และ Far-IR จะอยู่ในช่วงคลื่น 15,000-100,000 nm ความยาวคลื่นในช่วง Near และ Mid-IR จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ตรวจสอบทั้งทางด้านปริมาณและด้านคุณภาพของอาหารและผลไม้ เมื่อสารได้รับแสงช่วง Infrared แล้วจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นซึ่งประกอบไปด้วย การยืดออก (Stretching) และ การยุบตัว (Deformation) เกิดการกระตุ้นโมเลกุล(excited) ให้เคลื่อนที่กระโดดไปสู่ความถี่ที่สูงกว่า ในย่านช่วงคลื่น NIR โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก Ground Level ไปสู่ Overtone1 คือ 1350-1800 nm หรือ Overtone 2 คือ 900-1200 nm ซึ่งโมเลกุลเกิดการสั่นเป็นการสั่นที่เป็นผลรวมหรือผลต่างหลาย ๆ Overtone ของโมเลกุลในช่วงคลื่นหนึ่ง ๆ เรียกว่า Combination Vibration ซึ่งแต่ละ Functional Group จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยไฮโดรเจนอะตอม เช่น O-H, N-H, C-H (Xiccato et al., 1999) เพราะฉะนั้นจึงใช้คุณสมบัตินี้ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในอาหารได้

การวิเคราะห์โดยใช้ NIRS จะได้เส้นสเปกตรัมที่ไม่สามารถกำหนดช่วงคลื่นได้อย่างชัดเจน จึงต้องนำวิธีทางสถิติ เช่น Multiple Linear Regression (MLR), Partial Least Square (PLS) มาใช้ร่วมด้วย ในปัจจุบันนี้มีการนำ เทคนิคใหม่ ๆ เช่น การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Algorithm (LOCAL) หรือการใช้ Neural Network (Naes, 1993) เพื่อให้ได้สมการที่ทำนายค่าได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงมากที่สุด

อิวาโมโตะและคณะ (Iwamoto et al., 1979) ได้ทำการศึกษาโดยใช้แสงเพื่อวัดค่าสีของมะเขือเทศพบว่าที่ความยาวคลื่น 660, 620 และ 550 นาโนเมตรแสงมีความสัมพันธ์กับสีของมะเขือเทศซึ่งประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์อย่างมาก และสามารถใช้เป็นดัชนีในการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างการสุกของมะเขือเทศได้ Ruiz and Chen (1982) และ Moini et al. (1980) ได้ศึกษาการตรวจหาราในมะเขือเทศโดยการใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งของการสะท้อนของแสง (First Derivative of Spectral Reflectance) พบว่าที่ความยาวคลื่น 590 และ 710 นาโนเมตรสามารถใช้แยกมะเขือเทศที่เป็นราออกจากมะเขือเทศที่ดีได้ ดังนั้นการใช้แสง Near Infrared จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น

เนื่องจากความต้องการเพิ่มขึ้นของผู้บริโภค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการผลิต และการขายปลีกของอุตสาหกรรมผักและผลไม้สด ดังนั้นจึงมีผลทำให้ต้องใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองต่อการรักษาและการยอมรับในการตรวจคุณภาพของผลผลิต ความเข้มงวดในมาตรฐานดังกล่าว มีผลต่อบริษัทต่าง ๆ เช่น อายุการเก็บ ลักษณะภายนอก และกลิ่นรส ที่ถูกกำหนดโดยผู้ขายปลีก แรงผลักดันที่เพิ่มขึ้น ทำให้การตรวจสอบคุณภาพที่ออกมาแต่ละผลิตภัณฑ์ และระบบการบรรจุในแต่ละระดับ “Farm Gate” ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุในแต่ละครั้งนั้น แสดงให้เห็นถึงการใช้ระบบอัตโนมัติ ที่นำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Greensill and Newman, 2001) วิธีหนึ่งที่ได้รับความสะดวกคือ การใช้รังสี Near Infrared (NIR) เพื่อกำหนดระดับความสุก และ/หรือ ความหวานของผลิตภัณฑ์สด โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการ

ตอบสนองของ Spectral หรือการแยกแถบสีในขอบเขตของ NIR (Kawano and Iwamoto, 1990; Osborne et al., 1993; Millikan, 1996) เมื่อ Sensor สามารถจับความแตกต่างของสีบนระบบขนถ่าย การที่จะรู้ถึงการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละเกรดก็สามารถทำได้ ระบบ NIR นี้มีประสิทธิภาพในการคัดแยกผลไม้ได้ 3-15 ลูกต่อวินาที (ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์) ซึ่งประสบผลสำเร็จแล้วในออสเตรเลีย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

เครื่อง InfraAlyzer 500 และ Fruit Drawer (Fig. 1), เครื่อง Reflectrometer ของ BELLING HAM & STANLEY, มีดบาง, เขียง, ผ้าขาวบาง, บีกเกอร์, ปากกาเขียนสัญลักษณ์, มะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ แบ่งเป็น 4 ระยะการเจริญเติบโตได้แก่ สีแดง (สุกมาก), สีชมพู (สุกกำลังจะเปลี่ยนเป็นระยะสุกมาก), สีอมส้ม (สุก) และสีเขียว (เริ่มจะเข้าสู่ระยะสุก)

วิธีการ

เก็บมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์จากแปลงของเกษตรกรเวลาประมาณ 06.00 น. แล้วนำมาคัดเลือกผลที่ตรงตามความต้องการและมีโทนสีในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน มะเขือเทศที่คัดเลือกเรียบร้อยแล้วนำมาแบ่งออกเป็น 4 ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ได้แก่ สีแดง, สีชมพู, สีอมส้ม และ สีเขียว ตามลำดับโดยเก็บตัวอย่างอย่างละ 10 ผล ใส่ในกล่องโฟมที่บุด้วยน้ำแข็งเพื่อรักษาความสดของผลผลิตก่อนที่จะนำไปวัดสเปกตรัม (Fig. 2) ทำความสะอาดผลมะเขือเทศโดยใช้กระดาษชำระเช็ดเบา ๆ เพื่อเอาดินหรือสิ่งสกปรกที่ติดมากับผลมะเขือเทศในขั้นตอนการเก็บออก ใช้ปากกาทำเครื่องหมายที่มะเขือเทศโดยเขียนสัญลักษณ์ เลข 1 – 10 ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต นำมะเขือเทศไปวัดสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง InfraAlyzer 500 ที่มีความยาวคลื่น 1100–2500 nm โดยนำมะเขือเทศวางบน Fruit Drawer ทำการวัด 3 ครั้ง โดยวัดที่แก้ม 2 ครั้งและที่ด้านล่าง 1 ครั้ง นำมะเขือเทศมาทำการวัดสีโดยใช้เครื่อง Reflectrometer โดยวัดสีภายนอกที่ผิวของมะเขือเทศตรงจุดแก้ม 2 ด้านของมะเขือเทศและด้านล่างอีกจุดหนึ่ง จากนั้นนำมะเขือเทศที่ผ่านการวัดสีที่ผิวภายนอกแล้วมาสับให้ละเอียดคั้นน้ำและวัดสีภายใน โดยใช้ผ้าขาวกรองนำมะเขือเทศใส่ในบีกเกอร์วัดน้ำมะเขือเทศด้วยเครื่องดังกล่าวและใช้น้ำสะอาดล้างเครื่องมือทุกครั้งที่ทำกรวัดเพราะลดค่าความผิดพลาด ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนมะเขือเทศจนครบทุกระยะการเจริญเติบโต นำสเปกตรัมที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ออกมา

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม SESAME VERSION 2.1 ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์



Fig. 1 เครื่อง InfraAlyzer 500



Fig. 2 มะเขือเทศที่ได้ทำการแบ่งเป็น 4 Stage

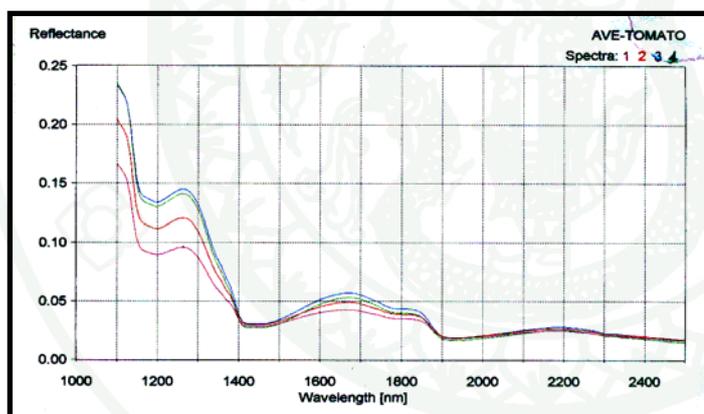
ผลและวิจารณ์

Fig. 3 แสดงกราฟการสะท้อนแสงของผลมะเขือเทศสำหรับการเจริญเติบโต 4 ระยะจากอ่อนไปแก่ สมัยกับสีเขียว สีมอส้ม สีชมพู และสีแดง ตามลำดับ หรือแสดงเป็น Subscript หมายเลข 4, 3, 2 และ 1 Table 1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของผลมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโต ที่ความยาวคลื่นแสง 1100, 1200 และ 1264 nm อัตราส่วนการสะท้อนแสง R_4/R_1 ณ ความยาวคลื่น 1264 nm มีค่า 1.53 ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงตัวอื่น ๆ หมายความว่า การสะท้อนแสงของมะเขือเทศเขียวมากกว่ามะเขือเทศชมพู 53 % ตัวเลขนี้อาจใหญ่พอสมควรที่จะใช้แยกมะเขือเทศสองระยะการเจริญเติบโตนี้ได้ อัตราส่วนการสะท้อนแสง ณ ความยาวคลื่นอื่นนี้อาจน้อยไปสำหรับการปฏิบัติการคัดแยกมะเขือเทศ

Table 1 ค่าการสะท้อนแสงของมะเขือเทศที่ความยาวคลื่นแสงที่กำหนด

ความยาวคลื่นแสง (nm)	ค่าการสะท้อนแสงสำหรับผลมะเขือเทศ ณ ระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ				R_2/R_1	R_3/R_1	R_4/R_1
	R_1	R_2	R_3	R_4			
1100	0.167	0.205	0.236	0.236	1.23	1.41	1.41
1200	0.090	0.113	0.130	0.134	1.26	1.44	1.49
1264	0.095	0.120	0.140	0.145	1.26	1.47	1.53

หมายเหตุ ระยะการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ



- มะเขือเทศสีแดง (R_2)
- มะเขือเทศสีชมพู (R_1)
- มะเขือเทศสีมอส้ม (R_3)
- มะเขือเทศสีเขียว (R_4)

Fig. 3 การสะท้อนของแสงของผลมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

Table 2 ค่า First Derivative ของการสะท้อนแสงของผลมะเขือเทศที่ความยาวคลื่นแสง 1138 nm สัมพันธ์กับ Fig. 4

ความยาวคลื่นแสง (nm)	ค่าการสะท้อนแสงสำหรับผลมะเขือเทศ ณ ระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ				R'_2/R'_1	R'_3/R'_1	R'_4/R'_1
	R'_1	R'_2	R'_3	R'_4			
1138	-0.00284	-0.00232	-0.00309	-0.00328	1.22	1.33	1.41

หมายเหตุ R' แสดงสัญลักษณ์ First derivative ของ การสะท้อนแสง R

- มะเขือเทศสีแดง (R'_2)
- มะเขือเทศสีชมพู (R'_1)
- มะเขือเทศสีมอส้ม (R'_3)
- มะเขือเทศสีเขียว (R'_4)

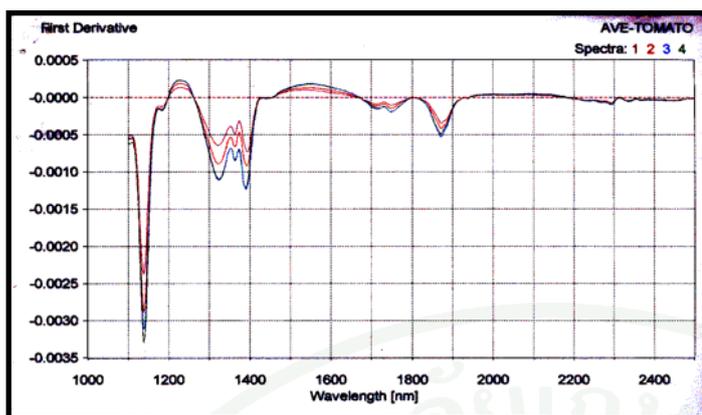


Fig. 4 First derivative การสะท้อนของแสงของผลมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

Table 3 ค่า Second Derivative ของการสะท้อนแสงของผลมะเขือเทศที่ความยาวคลื่น แสง 1128 nm สัมพันธ์กับ Fig. 5

ความยาว คลื่นแสง (nm)	ค่าการสะท้อนแสงสำหรับผลมะเขือเทศ ณ ระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ				R''_2/R''_1	R''_3/R''_1	R''_4/R''_1
	R''_2	R''_2	R''_3	R''_4			
1128	-0.00015	-0.00012	-0.00016	-0.00016	1.25	1.33	1.42

หมายเหตุ R'' แสดงสัญลักษณ์ Second derivative ของ การสะท้อนแสง R

- มะเขือเทศสีแดง (R''_2) - มะเขือเทศสีชมพู (R''_1)
- มะเขือเทศสีอมส้ม (R''_3) - มะเขือเทศสีเขียว (R''_4)

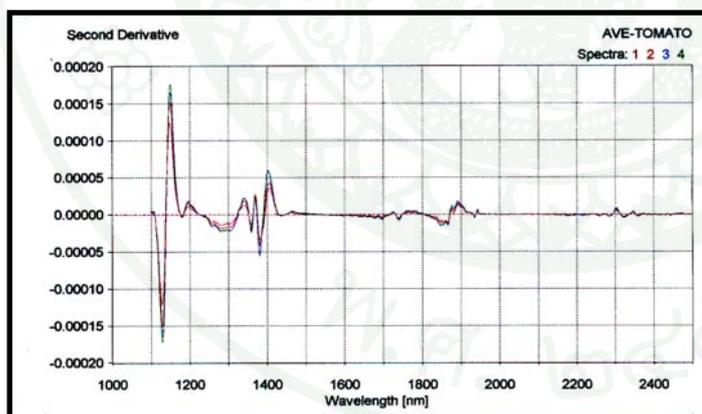


Fig. 5 กราฟการสะท้อนของแสงของผลมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

Fig. 4 แสดงกราฟ First Derivative ของ Fig. 3 ณ ความยาวคลื่น 1138 nm ที่ให้แนวโน้มว่าจะมีความแตกต่าง First Derivative ของการสะท้อนแสงสูง การวิเคราะห์อัตราส่วนของ First Derivative ที่ 1138 nm ของผลมะเขือเทศระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ (Table 2) พบว่า R''_4/R''_1 เท่ากับ 1.41 ความแตกต่างของ First Derivative ของค่าสะท้อนแสงของมะเขือเทศสีชมพูกับสีเขียวค่อนข้างสูง คือ เท่ากับ 41 % อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้คิดว่าน้อยไปถ้าเทียบกับการใช้ค่าการสะท้อนแสงโดยตรง (Fig. 3 และ Table 1)

Fig. 5 เป็นกราฟทำ Second Derivative ของ Fig. 3 ณ ความยาวคลื่น 1128 nm การวิเคราะห์หาอัตราส่วน Second Derivative ของมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ พบว่า R''_4/R''_1 เท่ากับ 1.42

ระบุความแตกต่างของ Second Derivative ของค่าการสะท้อนแสงของมะเขือเทศสีชมพูกับสีเขียวค่อนข้างสูงเท่ากับ 42 % อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้ อนุมานว่าน้อยไปถ้าเทียบกับการใช้ค่าสะท้อนแสงโดยตรงที่ 1264 nm ที่จะคัดแยกมะเขือเทศที่ระยะการเจริญเติบโตทั้งสอง

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. จาก Fig. 3 (Reflectance) และ Table 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงกับความยาวคลื่นจะเห็นได้ว่าสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1264 nm ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต และค่าอัตราส่วนระหว่างมะเขือเทศสีชมพูกับสีเขียว (R_4/R_1) ที่ได้มีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคิดเป็น 53% ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการปฏิบัติการคัดสีของผลมะเขือเทศได้
2. เมื่อพิจารณา Fig. 4 (First Derivative) และ Table 2 จะเห็นได้ว่าที่ความยาวคลื่น 1138 nm มีแนวโน้มที่ให้ค่าอัตราส่วนระหว่างมะเขือเทศสีชมพูและมะเขือเทศสีเขียวค่อนข้างสูง (R'_4/R'_1) เท่ากับ 1.41 คิดเป็น 41 % แต่ความแตกต่างนี้น้อยไปเมื่อเทียบกับการใช้ค่าสะท้อนแสงโดยตรง (Fig. 3 และ Table 1)
3. พิจารณา Fig. 5 (Second Derivative) และ Table 3 ณ ความยาวคลื่น 1128 nm ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงของมะเขือเทศสีชมพูกับสีเขียว (R''_4/R''_1) เท่ากับ 1.42 คิดเป็น 42 % แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้มีค่าน้อยไปเมื่อเทียบกับการใช้ค่าสะท้อนแสงโดยตรงที่ 1264 nm ที่จะใช้ในการคัดแยกสีของผลมะเขือเทศทั้งสองระยะ

เอกสารอ้างอิง

- กรุง สีตะธนี. 2543. การปลูกมะเขือเทศ. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 70. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน . นครปฐม.
- Conlin V. Greensill and D. S. Newman. 2001. An Experimental Comparison Of Simple NIR Spectrometers For Fruit Grading Applications. *American society of agricultural engineers*. **17(1)**: 69-76.
- Kawano, S., and M. Iwamoto. 1990. Advances in R&D on near infrared spectroscopy in japan. *SPIE: Optics in Agric*. **1369** : 2-9
- Kawano, S. 1995. Progress in application of NIR and FT-IR in food characterization. CH. 8, in *Characterization of Food: Emerging Methods*, A.G. Gaonkar (Ed.) pp. 185-199. Elsevier, Oxford, UK.
- Margarita, R. and Pictiaw, C. 1982. Use of the first derivative of spectral reflectance to detect mold on tomatoes. *American society of agricultural engineers*. **25(3)**: 759-762.
- Millikan, M. 1996. NIR applications in the food packaging industries. *J. Chem. Aust.* Dec.: 554-556
- Mutsuo, I. and Sumio, K. 1979. Spectrophotometric measuring method for surface color of uneven colored tomatoes. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish* , **26**: 4.
- Naes, T., Kvaal, K., Isaksson, T. and Miller, C., 1993. Artificial neural networks in Multivariate calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* ,**1**: 1-11.
- Osborne, B.G., T. Fearn, and P.H. Hindle. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in food and Beverage Analysis*. London, England: Longman Group UK Ltd.
- Xiccato, G., Trocino, A., Carazzolo, A., Meurens, M., Maertens, L. and Carabano, R., 1999. Nutritive evaluation and ingredient prediction of compound feed for rabbits by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Anim. Feed Sci. Technol.*, **77**: 201-212

อิทธิพลของความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความซ้ำของผลแอปเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง
Influence of Natural Frequency and Packaging upon Apple Bruising in Transport Container

ณัฐพงศ์ รัตนเดช¹ และ บัณฑิต จริโมภาส²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

² ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

Abstract

This research was the study of the influence of frequency and packaging upon apple bruising in transport container by means of simulated vibration based on ASTM Standards D99 Method A2. Experimentation included two control factors, i.e. a) two frequencies (2.5 and 3.5 Hz) ; b) three random packaging in plastic crate (without foam net, with foam net, with foam net and tight fill pack). At the testing frequency of 3.5 Hz, tight fill pack was divided into 2 types (with and without vertical load of 478.7 N/m² on top of the apples). The fruit samples were Chinese Red Fuji cultivar.

Results showed that 2.5 Hz vibration caused fruit damage in the without foam net (WOFN) packaging, with foam net (WFN) packaging, and WFN and tight fill pack (TFP) packaging at the amount of 15.7, 12.7 and 8.7% respectively. For the 3.5 Hz vibration, fruit damage was 36.7, 19.0, 15.0 and 11.3% for the WOFN, the WFN, the TFP, and the WFN and TFP plus vertical load packaging respectively (TFPL). Damage size, mostly occurring, ranged from 11 to 14 mm. for every packaging.

Keyword: Frequency, apple, packaging, bruising

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลจากความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความซ้ำของผลแอปเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยใช้วิธีการจำลองการสั่นสะเทือนบนถนนด้วยเครื่องสั่นสะเทือนจำลองตามมาตรฐาน ASTM D999 method A2 การทดลองประกอบด้วยปัจจัยควบคุม 2 ตัวคือ ก) ความถี่มี 2 ขนาดคือ 2.5 และ 3.5 เฮิรตซ์ ข) วิธีการบรรจุแบบสุ่มในตะกร้าพลาสติก (ตะกร้าสั่ม) 3 วิธีคือ 1) ไม่ห่อหุ้มผล 2) ใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผล 3) ใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลกับการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack สำหรับความถี่ 3.5 เฮิรตซ์การทดสอบโดยการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack จะแบ่งเป็น 2 แบบคือมีและไม่มีภาระขนาด 478.7 นิวตัน/เมตร² วางทับด้านบนแอปเปิ้ลจีนพันธุ์ Red Fuji ผลการทดสอบปรากฏว่าการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 2.5 เฮิรตซ์ มีความเสียหายเกิดขึ้นจากมากไปน้อยดังนี้ ผลไม่ห่อหุ้ม (15.7%) ใช้โฟมตาข่าย (12.7%) และแบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (8.7%) ขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้นมากที่สุดของบรรจุภัณฑ์ทุกแบบจะอยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-14 mm. สำหรับความถี่ 3.5 เฮิรตซ์พบว่าความเสียหายเกิดขึ้นจากมากไปน้อยดังนี้ ผลไม่ห่อหุ้ม (36.7%) ใช้โฟมตาข่าย (19.0%) แบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (15.0%) และแบบใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มและสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack ที่มีภาระวางทับด้านบน (11.3%) ขนาดความเสียหายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-14 mm. เช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: ความถี่สั่นพ้อง, แอปเปิ้ล, บรรจุภัณฑ์, การซ้ำ

คำนำ

ความเสียหายประมาณ 10% ของผลผลิตเกษตรในช่วงของการขนส่งนั้นมาจากการสั่นสะเทือน (O'Brien *et al.*, 1960) ปัจจัยของการสั่นสะเทือนที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายในผลผลิตเกษตรคือ ความกว้างของช่วงคลื่นและความถี่สั่นพ้องจากการสั่นสะเทือน (Gentry *et al.*, 1965) ควบคุมไปกับระยะเวลาและลักษณะการเคลื่อนที่ (Peleg, 1985) Slaughter *et al.*, (1993) ได้ศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการ

ขนส่งของผล Bartlett pears ปรากฏว่าเกิดมากที่สุดที่ความถี่สั่นพ้อง 3.5 และ 18.5 เฮิร์ต Hirsch *et al.*, (1993) รายงานว่ารถบรรทุกพ่วงที่มีระบบรองรับแบบสปริงเหล็ก และระบบรองรับแบบถุงลม ที่ใช้ในการขนส่งมะเขือเทศ มีความถี่สั่นพ้องในการสั่นสะเทือนที่ 3.5 เฮิร์ต ซึ่งสอดคล้องกับ Singh และ Marcondes (1992) สำหรับรถบรรทุกกระบะในประเทศไทยนั้น Jarimopas *et al.*, (2005) พบว่ามีความถี่สั่นพ้องจากการสั่นสะเทือนอยู่ที่ 2.5 เฮิร์ต

แอ็บเปิ้ลเป็นผลไม้ต่างประเทศที่ได้รับความนิยมจากคนไทยมากมานาน ผลแอ็บเปิ้ลที่นำเข้ามาขายภายในประเทศนั้น ระยะเวลาหลังจากประเทศจีน ซึ่งมีราคาถูกกว่าพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศสหรัฐอเมริกา มากเส้นทางการขนส่งส่วนใหญ่จะเป็นทางรถและทางเรือ ซึ่งลักษณะของบรรจุภัณฑ์ผลแอ็บเปิ้ลนำเข้านั้นจะบรรจุมาในกล่องกระดาษลูกฟูก มีน้ำหนักบรรจุ 20 กิโลกรัมต่อกล่อง โดยคัดแยกผลแอ็บเปิ้ลเป็นขนาดต่าง ๆ กัน เช่น 85, 100, 113, 125 ผลต่อกล่อง เป็นต้น ผลแอ็บเปิ้ลแต่ละผลจะห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย โฟมเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่ง ที่มีน้ำหนักเบาและความหนาแน่นต่ำ และมีความเค้นภายในตัวน้อย แปรรูปง่าย ภายในมีฟองอากาศ ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานได้ดี จึงได้นำมาใช้ในการกันการกระเทือนระหว่างการขนส่ง (บัณฑิตและคณะ, 2543) นอกจากนี้โฟมตาข่ายที่ทำจากวัสดุพวกโพลีสไตรีน และโพลียูรีเทน เป็นฉนวนความร้อนและราคาถูก อีกทั้งยังสามารถห่อหุ้มได้แนบแน่นผลไม้อีกด้วย (พิชิต, 2521) Guillou (1963) พัฒนาการบรรจุผลไม้ให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งรู้จักกันในชื่อ "tight-fill" pack เป็นวิธีการบรรจุผลไม้ลงในภาชนะบรรจุแล้วเขย่าด้วยความถี่ 600 ถึง 900 รอบต่อนาที ด้วยช่วงชักสูงสุดด้วยอัตราเร่ง $2g$ ($a=r\omega^2$) นาน 5-10 วินาที แล้วใช้การกดทับด้านบนภาชนะบรรจุ 10 ปอนด์ต่อตารางฟุต ซึ่งสอดคล้องกับ Jarimopas *et al.*, (2004) ที่ระบุว่า การเขย่าตะกร้าส้มให้ผลสัมเคลื่อนที่เรียงตัวกันให้แน่นก่อนการขนส่งทำให้ความเสียหายเกิดขึ้นลดลง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของความถี่สั่นพ้องจากการกระเทือนและวิธีการบรรจุหีบห่อที่ส่งผลต่อความชื้นของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยประเมินผลความแตกต่างของรอยชำที่ เกิดขึ้นในผลแอ็บเปิ้ลที่ระดับความถี่สั่นพ้อง 2.5 และ 3.5 เฮิร์ต, ความแตกต่างของบรรจุภัณฑ์แบบมีและไม่มีโฟมตาข่ายห่อหุ้ม และความแตกต่างที่เกิดจากการใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack

อุปกรณ์และวิธีการ

นำผลแอ็บเปิ้ลขนาดบรรจุ 100 ผลต่อกล่อง (No.100) บรรจุแบบสุ่ม (Random Pack) (Peleg k. and S. Hinga, 1986) ลงในตะกร้าพลาสติก (โดยทำตำหนิรอยชำที่เกิดขึ้นก่อนการทดสอบก่อน) จำนวน 7 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดมี 3 ตะกร้า ตะกร้าละ 100 ผล โดย 3 ชุดการทดลองแรกจะทดสอบที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ต และมีความแตกต่างกันที่การบรรจุหีบห่อคือ ชุดแรกผลแอ็บเปิ้ลจะไม่มีห่อหุ้ม (WOFN) ชุดที่สองจะใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้ม (WFN) ส่วนชุดสุดท้ายจะห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFP) ส่วนอีก 4 ชุดการทดลองที่เหลือจะใช้ความถี่ที่ 3.5 เฮิร์ต โดยสามชุดจะมีลักษณะเหมือนกับการทดลองที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ต แตกต่างกันในชุดที่ 4 ที่จะเพิ่มเติมภาระ (Load) ขนาด 478.7 นิวตัน/เมตร² วางทับด้านบนแอ็บเปิ้ล ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและใช้การสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack (TFPL) ทั้งหมดจะทดสอบด้วยเครื่องจำลองการสั่นสะเทือน ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D999 Method A2 (ASTM, 1991; Chonhenchob and Singh, 2005) สำหรับการสั่นสะเทือนแบบ Tight Fill Pack นั้น จะใช้ความถี่ที่ 10 เฮิร์ต นาน 5 วินาที แล้วจึงทำการสั่นสะเทือนที่ความถี่ทดสอบต่ออีก 1 ชั่วโมง ส่วนน้ำหนักภาระ (Load) ด้านบนจะใช้ถ่วงดินน้ำหนัก 9.95 กิโลกรัม จากนั้นทำการตรวจสอบรอยชำโดยใช้ ไม้นับรอยชำที่มีรูกลมมาตรฐาน ขนาด 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 20, 22, 24, 30, 33 และ 40 มิลลิเมตรวางทาบเพื่อหาขนาดรอยชำ บันทึกขนาด จุดชำที่เกิดขึ้นต่อผล

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแต่ละขนาด} = \frac{\text{พื้นที่ความเสียหายในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้น} \times 100}{\text{พื้นที่ความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งหมด}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดชำที่เกิดขึ้นต่อผล} = \frac{\text{ผลที่เกิดจำนวนจุดชำต่อผลที่ต้องการ} \times 100}{\text{ผลแอ็บเปิ้ลทั้งหมด}}$$

ผลและวิจารณ์

ผลจากการทดสอบสามารถหาค่าพื้นที่รอยชำที่เพิ่มขึ้นในความถี่สั่นพ้องและบรรจุก้อนที่ต่างกันได้ ดังแสดงใน Table 1 ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติซึ่งแสดงใน Table 2 และ 3 เห็นได้ว่าผลกระทบของความถี่สั่นพ้องที่ 2.5 และ 3.5 เฮิร์ต ส่งผลต่อการทำให้เกิดพื้นที่การชำและจำนวนจุดชำที่แตกต่างกันโดยพื้นที่การชำรวมที่เกิดขึ้นกับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 2.5 เฮิร์ตคือ 193.37 cm² ส่วนที่ความถี่ 3.5 เฮิร์ตเกิดขึ้นรวม 625.6 cm² ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาถึงจำนวนจุดชำที่เกิดขึ้นต่อผล ปรากฏว่ามีผลแฉับเปลือกเสียหายคิดรวมทั้งหมดดังนี้ คือผลที่มีจุดชำ 1 จุด (13.14%), 2 จุด (2.73%), 3 จุด (0.61%), 4 จุด (0.33%), 5 จุด (0.19%) และไม่เสียหาย (82.99%) หากพิจารณาที่ขนาดของรอยชำ ปรากฏว่ารอยชำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm.เกิดขึ้นมากที่สุดคือ 31.66% รองลงมาคือขนาด 11 mm. คือ 29.24%

Table 1 Apple's damage for frequency 2.5 and 3.5 Hz.

	Frequency						
	2.5 Hz.			3.5 Hz.			
Type of Packaging	WOFN	WFN	TFP	WOFN	WFN	TFP	TFPL
Damage Area (cm ²)	109.72	44.57	39.08	362.22	161.63	101.75	48.78
Size of Damage (%)							
6 mm.	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	2.3
7 mm.	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0	1.9	2.3
8 mm.	7.7	5.0	6.1	3.3	1.4	1.9	4.7
9 mm.	5.8	12.5	6.1	1.1	4.2	1.9	11.6
10 mm.	15.4	10.0	6.1	12.0	2.8	13.2	20.9
11 mm.	26.9	37.5	30.3	23.9	33.3	22.6	30.2
14 mm.	26.9	30.0	45.5	34.2	34.2	34.0	16.3
17 mm.	5.8	5.0	3.0	7.6	7.6	15.1	7.0
20 mm.	3.8	0.0	0.0	8.7	8.7	3.8	2.3
22 mm.	1.9	0.0	0.0	1.6	1.6	0.0	2.3
24 mm.	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	1.9	0.0
30 mm.	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.9	0.0
33 mm.	1.9	0.0	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0
40 mm.	0.0	0.0	0.0	2.2	2.2	0.0	0.0
>40 mm.	3.8	0.0	0.0	0.5	0.5	1.9	0.0
Point / Fruit (%)							
0	84.3	87.3	91.3	63.3	81.0	85.0	88.7
1	14.0	12.0	7.3	22.0	15.0	13.0	8.7
2	1.7	0.7	0.7	9.0	3.0	1.7	2.3
3	0.0	0.0	0.3	2.7	1.0	0.0	0.3
4	0.0	0.0	0.3	1.7	0.0	0.3	0.0
5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0

จาก Table 2 ปรากฏว่าลักษณะที่แตกต่างของการบรรจุผลแฉับเปลือกส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างกันของพื้นที่จุดชำบนผลหลังทดสอบ ซึ่งสามารถใช้ Duncan Multiple Range Test แบ่งกลุ่มของความ

แตกต่างของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อการเกิดพื้นที่การชำรุดของผลแอปเปิ้ลได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 คือผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย (WFN) และผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและทำการสันสะท้อนแบบ Tight Fill Pack (TFP) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% อีกกลุ่มคือผลที่ไม่มีการห่อหุ้มโฟมตาข่าย (WOFN) ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันกับกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยบรรจุภัณฑ์แบบ TFP เกิดพื้นที่รอยชำรุดน้อยที่สุด รองลงมาคือ WFN และ WOFN ตามลำดับ

Table 2 Duncan Multiple Range Test of frequency and frequency and type of packaging effects upon apple bruising area.

Packaging type	Bruising Area
TPF	1.5649 a \pm 2.57
WFN	2.2914 a \pm 3.69
WOFN	5.2442 b \pm 7.20

* Number, followed by the same letter implies Insignificant in the same Insignificant in the same column differences of mean

Table 3 Duncan Multiple Range Test of type of packaging effects upon apple bruising points.

Packaging type	Bruising Points
TPF	11.83 a \pm 4.45
WFN	15.83 a \pm 4.45
WOFN	26.17 b \pm 14.85

* Number, followed by the same letter implies column differences of mean

จาก Table 3 ปรากฏว่าบรรจุภัณฑ์แบบ TPF เกิดจุดชำรุดน้อยที่สุด รองลงมาคือ WFN และ WOFN ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรากฏว่าการใช้ภาระ (Load) วางทับด้านบนของผลแอปเปิ้ลที่ห่อหุ้มและทำการสันสะท้อนแบบ Tight Fill Pack (TFPL) สามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ โดยสังเกตได้จากพื้นที่รอยชำรุดที่ความถี่สันพ้อง 3.5 เฮิร์ต ในบรรจุภัณฑ์แบบ TFP ลดจาก 101.75 cm² ลดลงเหลือ 48.78 cm² ใน TFPL เมื่อใช้ Duncan Multiple Range Test ตรวจสอบความสัมพันธ์ของความแตกต่างของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อจำนวนจุดชำรุดของผลแอปเปิ้ล ปรากฏว่าสามารถแบ่งลักษณะของบรรจุภัณฑ์ออกเป็น 2 กลุ่ม เช่นเดียวกันคือ WFN กับ TFP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความคลาดเคลื่อน 95% แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ WOFN ที่ความคลาดเคลื่อน 95%

สรุป

อิทธิพลของความถี่สันพ้องมีผลต่อการเกิดการชำรุดในผลแอปเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง โดยมีพื้นที่การชำรุดในความถี่สันพ้องที่ 3.5 เฮิร์ต คือ 625.6 cm² ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติก็ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ค่าความคลาดเคลื่อน 95% ส่วนความแตกต่างของลักษณะการบรรจุภัณฑ์ปรากฏว่าบรรจุภัณฑ์แบบห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายและทำการสันสะท้อนแบบ Tight Fill Pack (TFP) เกิดการชำรุดน้อยสุด มีพื้นที่ 140.83 cm² ถัดมาคือผลที่มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย (WFN) และผลที่ไม่มีการห่อหุ้มโฟมตาข่าย (WOFN) มีพื้นที่ 206.2 cm² และ 471.94 cm² ตามลำดับ

คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชลประทาน เกษตร และอาหาร ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อทุนวิจัย อุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- บัณฑิต จริโมภาสม วสันต์ แสงนิล และศุภลักษณ์ วรรณพงษ์. 2543. การศึกษาการใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระการกระแทก. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2543; หน้า 126-136.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2521. พลาสติก. กองบริการอุตสาหกรรม; หน้า 35-40, 55-58.
- American Society for Testing Materials. 1991. Standard method for vibration testing of shipping container. *Selected ASTM Standards on Packaging*. 3rd ed. Baltimore, U.S.A.
- Chonhenchob, V. and S. P. Singh. 2005. Packaging performance comparison for distribution and export of papaya fruit. *Packag. Technol. Sci.* 18:125-131
- Gentry, J.P., Mitchell, F.G. and Sommer, N.F. 1965. Engineering and quality of deciduous fruits packed by volume-filling and hand-placing methods. *Transaction of the ASAE.* 8(4): 584-589.
- Guillou, R. 1963. Settling packed fruit by vibration. *Transaction of the ASAE.* 6(3): 190-192,194.
- Hinsch, R.T., Slaughter D.C., Craig W.L. and Thompson J.F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Transaction of the ASAE.* 36(4): 1039-1042.
- Jarimopas, B., Thairat, P. And P. Chen. 2004. Vibration-assisted tight-filling machine for Tangerine. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, Vol.11 No.1,46-50.
- Jarimopas, B., S. Paul Singh and Saengnil, W. 2005. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged Tangerines during transit. *Packaging Technology and Science.* 18: 179-188
- O'Brien, M., Claypool, L.L. and Leonard, S.J. 1960. Effects of mechanical vibrations on fruit damage during transportation. *ASAE Paper No. 60-311, Am. Soc. Agr. Engrs. (Michigan:ASAE)*
- Peleg, K. 1985. *Produce Handling, Packaging and Distribution.* Avi Publ. Co. Inc., Westport, Connecticut. 625 p.
- Peleg K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transaction of the ASAE. 29(2): 633-641.
- Singh S.P. and Marcondes J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. *J. Test. Evai.* 20(6): 466-469.
- Slaughter D.C., Hinsch R.T. and Thompson J.F. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transaction of the ASAE.* 36(14): 1043-1047.

สมบัติความต้านทานแรงดึงของเชือกกล้วยนวลกับกล้วยน้ำว้า
Tensile Resistance Property of Banana String

ณัฐพงศ์ รัตนเดช¹, จรินทร์แท้ ศิริพานิช² บัณฑิต จริโมภาส³ และ ศักดา จันทรทอง⁴
Nuttapong Ruttanadat¹ Jingtair Siriphanich² Bundit Jarimopas³ and Sukda Junthong⁴

Abstract

This research was to determine tensile resistance of banana string of two banana varieties (Namva and Naul). Methodology comprised uniaxial tensile test of banana string, made from leaf sheath, with the Universal Testing Machine (INSTRON 5569). Experiment design included four control conditions; a) variety (Namva and Naul), b) moisture (0, 20, 40, 60 and 80 % wb), c) length (10, 20, 30, 40 and 50 cm), d) width (0.5, 1 and 2 cm). Results showed that Namva string at 60 % wb exhibited average rupture force of 214.17 N while Naul string at 20 % wb responded the average rupture force of 219.49 N. Based on length, Namva string showed the average rupture force of 226.17 N at 40 cm while Naul string yielded the average rupture force of 228.26 N at 50 cm. Regarding width, Namva and Naul string were attributed by the average rupture force of 307 and 336.94 N respectively at 2 cm width. Variety did not significantly influence the rupture force but moisture, length and width significantly affected the rupture force at $p < 0.05$.

Keywords: Banana, string, rupture force

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะศึกษาค่าต้านทานการดึงของเชือกกล้วยเปรียบเทียบจากกล้วย 2 พันธุ์คือ น้ำว้า กับนวล วิธีการประกอบด้วยการทดสอบแรงดึงทิศทางเดียวด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron 5569) โดยใช้ปัจจัยควบคุม 4 ปัจจัยคือ 1. พันธุ์ (กล้วยน้ำว้า และกล้วยนวล) 2. ความชื้น (0, 20, 40, 60 และ 80%wb) 3. ความยาว (10, 20, 30, 40 และ 50 cm) 4. ความกว้าง (0.5, 1 และ 2 cm) ผลการทดสอบปรากฏว่ากล้วยน้ำว้ามีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความชื้น 60%wb เท่ากับ 214.17 N กล้วยนวลมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความชื้น 20%wb เท่ากับ 219.49 N พิจารณาความยาวผลการทดสอบปรากฏว่ากล้วยน้ำว้ามีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความยาว 40 cm เท่ากับ 226.17 N กล้วยนวลมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความยาว 50 cm เท่ากับ 228.26 N พิจารณาความกว้างผลการทดสอบปรากฏว่ากล้วยน้ำว้ามีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความกว้าง 2 cm คือ 307.00 N กล้วยนวลมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าความกว้าง 2 cm คือ 336.94 N ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติปรากฏว่าพันธุ์กล้วยไม่ทำให้เกิดแรงดึงขาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ส่วนปัจจัยความชื้น, ความยาว และความกว้าง ต่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า, กล้วยนวล, ค่าการต้านทานการดึง

คำนำ

กล้วยเป็นพืชสารพัดประโยชน์ที่สามารถนำทุกส่วนมาใช้สอยได้ ในประเทศไทยกล้วยได้มีการขยายพันธุ์ไปอย่างแพร่หลายไปในทุกภูมิภาคของประเทศ พันธุ์กล้วยมีหลายชนิด ชนิดหนึ่งที่รู้จักกันดีคือ พันธุ์น้ำว้า ชื่อสามัญ Pisang Awak ชื่อพ้อง กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยใต้ กล้วยอ่อน ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa* (ABB group) "Kluai Nam Wa" พบได้ทุกภาคของไทย ลักษณะลำต้นสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อน มีประต๋าบั้งเล็กน้อยก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสี

¹ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร

² ศาสตราจารย์, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ ศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

⁴ นายช่างเทคนิค, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างป้อม ปลายป้าน ด้านนอกสีแดงอมม่วงมีนวลหนา ด้านในมีสีแดงเข้ม เครื่องหนึ่งมีประมาณ 7 - 10 หวี หวีหนึ่ง มี 10 - 16 ผล ก้านผลยาว เปลือกหนา สุกมีสีเหลืองเนื้อสีขาว รสหวาน ใ้กลางมีสีเหลือง ชมพูหรือขาว ทำให้แบ่งออกเป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว (<http://www.doae.go.th/Library/html/detail/banana/page84.html>) ส่วนอีกพันธุ์หนึ่งชื่อพันธุ์นวล ชื่อสามัญ Ensets ชื่อพ้อง กล้วยฉนวน ชื่อวิทยาศาสตร์ Ensete glauca Roxb. ลักษณะทั่วไป ลำต้นสูง 5 - 6 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 เซนติเมตร โคนลำต้นใหญ่ กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อน มีประจำบ้างเล็กน้อย ด้านในมีสีเขียวอ่อน มีนวลหนา ก้านใบมีร่องใบเปิด เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ช่อดอกใหญ่ โน้มลงตามแรงดึงดูดของโลกใบประดับเป็นกาบบาง มีสีเขียว เมื่อบานจะไม่หลุดออกจากช่อดอก ผลมีลักษณะอ้วนอ้อมสีเขียวนวล จำนวนผลต่อเครือมาก ผลมีเมล็ดมาก เมล็ดสีดำใหญ่ ผลมีรสหวาน เนื้อมีน้อย เวลาจะกินต้องซอยมากินทีละลูก เพราะต้องรอให้สุกคาต้นแล้วค่อยกิน (<http://www.doae.go.th/Library/html/detail/banana/page96.html>) ดังจะเห็นได้ว่ากล้วยนวลเป็นกล้วยที่มีความน่าสนใจมากเนื่องจากลำต้นมีความใหญ่โตมาก จึงมีความน่าสนใจว่ากาบของลำต้นน่าจะมีความแข็งแรงดีมาก ซึ่งอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาหาค่าความแข็งแรงดึงของกาบลำต้นของต้นกล้วย 2 พันธุ์คือ กล้วยนวลและกล้วยน้ำว้า ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ความกว้างและความยาวของชั้นกาบที่จะไปทำเป็นเชือก ซึ่งล้วนเป็นคุณลักษณะทางกายภาพที่จำเป็นและเป็นตัวแปรทางวิศวกรรมที่กำหนดความแข็งแรงของผลผลิต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ประกอบด้วย 1. เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) Instron 5569 2. ชิ้นตัวอย่างจากกาบลำต้นกล้วยพันธุ์น้ำว้าและพันธุ์นวล 3. มิถ 4. เขียง

วิธีการประกอบด้วยการเตรียมชิ้นตัวอย่างทำโดย ตัดชิ้นตัวอย่างในแต่ละพันธุ์เป็น 15 ขนาดคือ กว้าง 0.5, 1 และ 2 cm และยาว 10, 20, 30, 40 และ 50 cm ตามลำดับ ขนาดละ 15 ตัวอย่างรวม 450 ชิ้น ตัวอย่าง ในแต่ละพันธุ์แบ่งชิ้นตัวอย่างเป็น 5 กลุ่มนำไปอบลดความชื้นให้ได้ที่ 0, 20, 40, 60 และ 80%wb ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบแรงดึงโดยเครื่อง UTM โดยใช้อุปกรณ์จับเป็นแบบหัวหนีบเคลื่อนที่ดึงขึ้นด้วยความเร็ว 15 mm/min (ASAE Standard, 1994) แล้วนำค่า แรงดึงขาด (Rupture force) (N) มาวิเคราะห์หาค่าความสัมพัทธ์ทางสถิติ

ผลและวิจารณ์

จากปัจจัยควบคุมได้แก่ พันธุ์ ความชื้น ความกว้าง ความยาวของกาบกล้วยที่เอามาทำเชือกกล้วย ปรากฏว่าความชื้นและความกว้างเท่านั้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 % ต่อแรงดึงขาด (Table 1)

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้ระหว่างความชื้นกับความกว้างของชั้นทดสอบโดยใช้วิธี Duncan (Table 2) ปรากฏว่าสามารถแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ได้เป็น 6 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีแรงดึงขาดน้อยที่สุดคือกลุ่มความกว้างของชั้นทดสอบ 0.5 cm ในทุกระดับความชื้น ค่าน้อยสุดคือที่ความชื้น 0%wb มีค่า 79.91 N กลุ่มที่มีแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นถัดมาคือกลุ่ม b คือชั้นทดสอบขนาดกว้าง 1 cm ที่ความชื้น 0 และ 80%wb กลุ่มที่มีแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นถัดมาคือกลุ่ม c คือกลุ่มชั้นทดสอบที่ขนาดกว้าง 1 cm ที่ความชื้น 20, 40 และ 60 %wb ส่วนที่ความกว้างของชั้นทดสอบ 2 cm จะเห็นว่าเป็นขนาดชั้นทดสอบที่มีแรงดึงขาดสูงสุด ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ ที่ 80 %wb ซึ่งมีค่าต่ำสุดในขนาดกว้าง 2 cm แรงดึงขาดเพิ่มขึ้นถัดมาคือ ที่ 0%wb และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความชื้น 60%wb ของชั้นตัวอย่างขนาด 2 cm และค่ากลุ่มที่มีค่าแรงดึงขาดสูงสุดคือที่ความชื้น 20 40 และ 60%wb สูงสุดคือที่ 20%wb คือ 355.72 N

สำหรับความกว้างหนึ่ง ๆ เชือกที่แห้งเกินไป (0 % wb) และชื้นมากเกินไป (80 % wb) แรงดึงขาดมีค่าต่ำ แต่เชือกกล้วยที่มีความชื้นพอสมควร (20-60 % wb) มีค่าแรงดึงขาดสูง เชือกที่มีความกว้าง 2 cm และความชื้นพอสมควร จะรับแรงดึงขาดได้สูงสุด (333-356 N)

Table 1 Dependent Variable: Maximum Load (N)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5121686.859(a)	149	34373.737	18.740	.000
Intercept	17851407.933	1	17851407.933	9732.422	.000
Cultivar	314.654	1	314.654	.172	.679
Moisture	144527.095	4	36131.774	19.699	.000
Length	15526.756	4	3881.689	2.116	.079
Width	4074023.905	2	2037011.952	1110.560	.000

a R Squared = .903 (Adjusted R Squared = .855)

Table 2 Duncan multiple range test of Moisture (%wb) and Width (cm) against Rupture force (N)

Width (cm)	Moisture (%wb)				
	0	20	40	60	80
0.5	79.91±10.92 ^a	94.14±20.28 ^a	92.84±25.89 ^a	97.57±25.37 ^a	86.16±15.14 ^a
1	160.47±35.89 ^b	198.74±65.04 ^c	209.34±64.30 ^c	194.57±46.14 ^c	164.00±47.96 ^b
2	312.81±71.71 ^e	355.72±96.07 ^f	343.08±94.44 ^f	333.42±78.48 ^{e,f}	264.82±45.45 ^d

Duncan a, b.

Means followed by the same letter in the same row implied insignificant difference at $p < 0.05$

*Uses harmonic mean sample size (N) = 30.

สรุป

พันธุ์กล้วยทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าความชื้นและความกว้างของเชือกกล้วยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการต้านทานแรงดึงขาด โดยค่าแรงดึงขาดจะแปรผันตรงกับค่าความกว้างของเชือกกล้วย คือถ้าความกว้างเพิ่มขึ้น แรงดึงขาดก็เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความชื้นนั้นปรากฏว่าค่าความชื้นน้อยสุดและสูงสุดจะมีแรงดึงขาดต่ำกว่าที่ระดับความชื้นกลางๆ คือ ที่ 20, 40 และ 60%wb โดยสูงสุดคือความชื้น 20 %wb

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช, 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า

บัณฑิต จริโมภาส, 2546. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ภาค 1: ทฤษฎี.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 160 หน้า.

ASAE. 1994. ASAE. S. 368.2 Compression test of food materials of convex shape. In ASAE

Standards. The American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph, MI. p 472-476.

<http://www.doae.go.th/Library/html/detail/banana/page84.html>

<http://www.doae.go.th/Library/html/detail/banana/page96.html>

เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน Young Coconut Fruit Trimming Machine

ณัฐพงศ์ รัตนเดชา¹, บัณฑิต จริโมภาส²

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
²ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140



บทคัดย่อ

เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบประกอบห่วย 1. ชุดสกรูดึง 2. ชุดปลัดขิกและพิวรา การทดสอบประกอบด้วย ก) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกลำคัมล ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.38% และเกิดเส้น 6.08% ข) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% ค) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% ง) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% จ) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% ฉ) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% ช) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22% ซ) การทดสอบปอกเปลือกของทารกปอกเปลือก ป่ากรั่ว ป่ากรั่ว และพรว้าหรือยี่งอ 2.2% และเกิดเส้น 2.22%

บทนำ

มะพร้าวอ่อนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากความหอมหวานของเนื้อและพรว้า ซึ่งมีรสหวานและนุ่มลิ้น มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีใยอาหารสูง และมีวิตามินซีสูง การบริโภคมะพร้าวอ่อนเป็นประจำสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ นอกจากนี้มะพร้าวอ่อนยังอุดมไปด้วยวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ซึ่งมีส่วนช่วยในการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย และช่วยในการดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีอีกด้วย

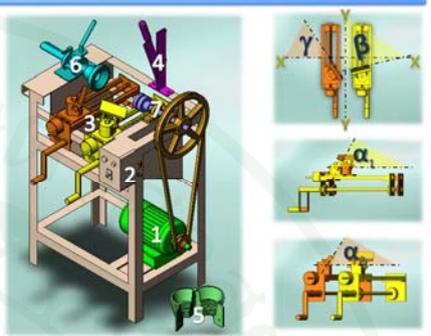


Fig.4 Laboratory prototype

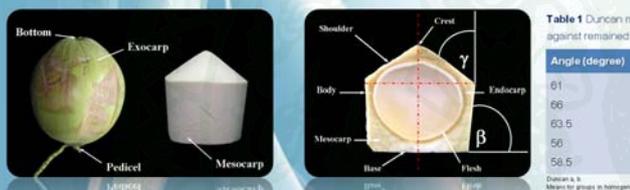


Fig.1 Young coconut fruit and the trimmed fruit.

อุปกรณ์และวิธีการ

ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบจากไม้สัก 1) ไม้สักขนาด 2 นิ้ว 2) ไม้สักขนาด 1 นิ้ว 3) ไม้สักขนาด 1/2 นิ้ว 4) ไม้สักขนาด 1/4 นิ้ว 5) ไม้สักขนาด 1/8 นิ้ว 6) ไม้สักขนาด 1/16 นิ้ว 7) ไม้สักขนาด 1/32 นิ้ว 8) ไม้สักขนาด 1/64 นิ้ว 9) ไม้สักขนาด 1/128 นิ้ว 10) ไม้สักขนาด 1/256 นิ้ว 11) ไม้สักขนาด 1/512 นิ้ว 12) ไม้สักขนาด 1/1024 นิ้ว 13) ไม้สักขนาด 1/2048 นิ้ว 14) ไม้สักขนาด 1/4096 นิ้ว 15) ไม้สักขนาด 1/8192 นิ้ว 16) ไม้สักขนาด 1/16384 นิ้ว 17) ไม้สักขนาด 1/32768 นิ้ว 18) ไม้สักขนาด 1/65536 นิ้ว 19) ไม้สักขนาด 1/131072 นิ้ว 20) ไม้สักขนาด 1/262144 นิ้ว 21) ไม้สักขนาด 1/524288 นิ้ว 22) ไม้สักขนาด 1/1048576 นิ้ว 23) ไม้สักขนาด 1/2097152 นิ้ว 24) ไม้สักขนาด 1/4194304 นิ้ว 25) ไม้สักขนาด 1/8388608 นิ้ว 26) ไม้สักขนาด 1/16777216 นิ้ว 27) ไม้สักขนาด 1/33554432 นิ้ว 28) ไม้สักขนาด 1/67108864 นิ้ว 29) ไม้สักขนาด 1/134217728 นิ้ว 30) ไม้สักขนาด 1/268435456 นิ้ว 31) ไม้สักขนาด 1/536870912 นิ้ว 32) ไม้สักขนาด 1/1073741824 นิ้ว 33) ไม้สักขนาด 1/2147483648 นิ้ว 34) ไม้สักขนาด 1/4294967296 นิ้ว 35) ไม้สักขนาด 1/8589934592 นิ้ว 36) ไม้สักขนาด 1/17179869184 นิ้ว 37) ไม้สักขนาด 1/34359738368 นิ้ว 38) ไม้สักขนาด 1/68719476736 นิ้ว 39) ไม้สักขนาด 1/137438953472 นิ้ว 40) ไม้สักขนาด 1/274877906944 นิ้ว 41) ไม้สักขนาด 1/549755813888 นิ้ว 42) ไม้สักขนาด 1/1099511627776 นิ้ว 43) ไม้สักขนาด 1/2199023255552 นิ้ว 44) ไม้สักขนาด 1/4398046511104 นิ้ว 45) ไม้สักขนาด 1/8796093022208 นิ้ว 46) ไม้สักขนาด 1/17592186044416 นิ้ว 47) ไม้สักขนาด 1/35184372088832 นิ้ว 48) ไม้สักขนาด 1/70368744177664 นิ้ว 49) ไม้สักขนาด 1/140737488355328 นิ้ว 50) ไม้สักขนาด 1/281474976710656 นิ้ว 51) ไม้สักขนาด 1/562949953421312 นิ้ว 52) ไม้สักขนาด 1/1125899906842624 นิ้ว 53) ไม้สักขนาด 1/2251799813685248 นิ้ว 54) ไม้สักขนาด 1/4503599627370496 นิ้ว 55) ไม้สักขนาด 1/9007199254740992 นิ้ว 56) ไม้สักขนาด 1/18014398509481984 นิ้ว 57) ไม้สักขนาด 1/36028797018963968 นิ้ว 58) ไม้สักขนาด 1/72057594037927936 นิ้ว 59) ไม้สักขนาด 1/14411518807585584 นิ้ว 60) ไม้สักขนาด 1/28823037615171168 นิ้ว 61) ไม้สักขนาด 1/57646075230342336 นิ้ว 62) ไม้สักขนาด 1/115292150460684672 นิ้ว 63) ไม้สักขนาด 1/230584300921369344 นิ้ว 64) ไม้สักขนาด 1/461168601842738688 นิ้ว 65) ไม้สักขนาด 1/922337203685477376 นิ้ว 66) ไม้สักขนาด 1/1844674407370954752 นิ้ว 67) ไม้สักขนาด 1/3689348814741909504 นิ้ว 68) ไม้สักขนาด 1/7378697629483819008 นิ้ว 69) ไม้สักขนาด 1/14757395259366638112 นิ้ว 70) ไม้สักขนาด 1/29514790518733276224 นิ้ว 71) ไม้สักขนาด 1/59029581037466552448 นิ้ว 72) ไม้สักขนาด 1/118059162074933104896 นิ้ว 73) ไม้สักขนาด 1/236118324149866209792 นิ้ว 74) ไม้สักขนาด 1/472236648299732419584 นิ้ว 75) ไม้สักขนาด 1/944473296599464839168 นิ้ว 76) ไม้สักขนาด 1/1888946593198929678336 นิ้ว 77) ไม้สักขนาด 1/3777893186397859356672 นิ้ว 78) ไม้สักขนาด 1/7555786372795718713344 นิ้ว 79) ไม้สักขนาด 1/15111572745591437426688 นิ้ว 80) ไม้สักขนาด 1/30223145491182748853376 นิ้ว 81) ไม้สักขนาด 1/60446290982365497706752 นิ้ว 82) ไม้สักขนาด 1/120892581944730995413504 นิ้ว 83) ไม้สักขนาด 1/241785163889461990827008 นิ้ว 84) ไม้สักขนาด 1/483570327778923981654016 นิ้ว 85) ไม้สักขนาด 1/967140655557847963308032 นิ้ว 86) ไม้สักขนาด 1/1934281311115695926716064 นิ้ว 87) ไม้สักขนาด 1/3868562622231391853432128 นิ้ว 88) ไม้สักขนาด 1/7737125244462783706864256 นิ้ว 89) ไม้สักขนาด 1/15474250488925767413728512 นิ้ว 90) ไม้สักขนาด 1/3094850097785153482745624 นิ้ว 91) ไม้สักขนาด 1/6189700195570306965491248 นิ้ว 92) ไม้สักขนาด 1/12379400391140619320982496 นิ้ว 93) ไม้สักขนาด 1/24758800782281238641964992 นิ้ว 94) ไม้สักขนาด 1/49517601564564777283929936 นิ้ว 95) ไม้สักขนาด 1/99035203129129554567859872 นิ้ว 96) ไม้สักขนาด 1/198070406258259109137719744 นิ้ว 97) ไม้สักขนาด 1/3961408125165182182754368 นิ้ว 98) ไม้สักขนาด 1/7922816250330364365508736 นิ้ว 99) ไม้สักขนาด 1/15845632500660727311017472 นิ้ว 100) ไม้สักขนาด 1/31691265001321444622034944 นิ้ว 101) ไม้สักขนาด 1/6338253000264288924406888 นิ้ว 102) ไม้สักขนาด 1/12676506005288577738813776 นิ้ว 103) ไม้สักขนาด 1/25353012010577155477627552 นิ้ว 104) ไม้สักขนาด 1/5070602402115431095525504 นิ้ว 105) ไม้สักขนาด 1/10141204804230861911051008 นิ้ว 106) ไม้สักขนาด 1/2028240960846172382210016 นิ้ว 107) ไม้สักขนาด 1/4056481921692344764420032 นิ้ว 108) ไม้สักขนาด 1/8112963843384689528840064 นิ้ว 109) ไม้สักขนาด 1/16225927686763779257680128 นิ้ว 110) ไม้สักขนาด 1/32451855373527558515360256 นิ้ว 111) ไม้สักขนาด 1/64903710747055117030720512 นิ้ว 112) ไม้สักขนาด 1/129807421540110234061440256 นิ้ว 113) ไม้สักขนาด 1/259614843080220468122880512 นิ้ว 114) ไม้สักขนาด 1/5192296861604409362457601024 นิ้ว 115) ไม้สักขนาด 1/103845937240881872471514402048 นิ้ว 116) ไม้สักขนาด 1/207691874481763744942828804096 นิ้ว 117) ไม้สักขนาด 1/415383748963527489885657608192 นิ้ว 118) ไม้สักขนาด 1/830767497927054979771315216384 นิ้ว 119) ไม้สักขนาด 1/1661534995854109959542604327808 นิ้ว 120) ไม้สักขนาด 1/3323069991708219199088480855616 นิ้ว 121) ไม้สักขนาด 1/6646139983416438398176817111232 นิ้ว 122) ไม้สักขนาด 1/13292279966832876796355334222464 นิ้ว 123) ไม้สักขนาด 1/26584559933665753592710668444928 นิ้ว 124) ไม้สักขนาด 1/53169119867331507185542136888897936 นิ้ว 125) ไม้สักขนาด 1/106338239734663014371082737777984 นิ้ว 126) ไม้สักขนาด 1/2126764794693260287421655475559744 นิ้ว 127) ไม้สักขนาด 1/4253529589386520574843210911119488 นิ้ว 128) ไม้สักขนาด 1/8507059178773041149686421822238976 นิ้ว 129) ไม้สักขนาด 1/1701411835754608239372843644477952 นิ้ว 130) ไม้สักขนาด 1/3402823671509216478745687288955504 นิ้ว 131) ไม้สักขนาด 1/680564734301843295749137757791008 นิ้ว 132) ไม้สักขนาด 1/136112946860368659149827551558016 นิ้ว 133) ไม้สักขนาด 1/272225893720737318299651103111616 นิ้ว 134) ไม้สักขนาด 1/544451787441474636599302206223232 นิ้ว 135) ไม้สักขนาด 1/1088903574829449273198604412444464 นิ้ว 136) ไม้สักขนาด 1/21778071496588985463972088488888896 นิ้ว 137) ไม้สักขนาด 1/4355614299317797093794417777777792 นิ้ว 138) ไม้สักขนาด 1/8711228598635594187598835555555584 นิ้ว 139) ไม้สักขนาด 1/1742245197727157835197711111111168 นิ้ว 140) ไม้สักขนาด 1/3484490395454315670395422222222336 นิ้ว 141) ไม้สักขนาด 1/6968980790908631340790844444444672 นิ้ว 142) ไม้สักขนาด 1/1393796158181726281581788888889344 นิ้ว 143) ไม้สักขนาด 1/278759231636345256316357777777768 นิ้ว 144) ไม้สักขนาด 1/5575184632726905126332755555555136 นิ้ว 145) ไม้สักขนาด 1/1115036926545381025265511111111272 นิ้ว 146) ไม้สักขนาด 1/2230073853090762050531222222222544 นิ้ว 147) ไม้สักขนาด 1/4460147706181524101062444444445088 นิ้ว 148) ไม้สักขนาด 1/892029541236304820212488888890176 นิ้ว 149) ไม้สักขนาด 1/17840590247326096404449777777773536 นิ้ว 150) ไม้สักขนาด 1/35681180494652192808995555555547072 นิ้ว 151) ไม้สักขนาด 1/71362360989304385617991111111194144 นิ้ว 152) ไม้สักขนาด 1/14272473197660877123598222222238288 นิ้ว 153) ไม้สักขนาด 1/2854494639532175427197644444476576 นิ้ว 154) ไม้สักขนาด 1/57089892790643508543952888889315136 นิ้ว 155) ไม้สักขนาด 1/114179785581270171089057777777726272 นิ้ว 156) ไม้สักขนาด 1/2283595712425403421781815555555525136 นิ้ว 157) ไม้สักขนาด 1/456719142485080684356363111111150272 นิ้ว 158) ไม้สักขนาด 1/9134382849701613687127262622222200544 นิ้ว 159) ไม้สักขนาด 1/182687657034032273742545333333301088 นิ้ว 160) ไม้สักขนาด 1/365375314068064547485090666666602176 นิ้ว 161) ไม้สักขนาด 1/730750628136129094970181333333204352 นิ้ว 162) ไม้สักขนาด 1/1461501256272258189940362666666408704 นิ้ว 163) ไม้สักขนาด 1/2923002512544516398807253333338174144 นิ้ว 164) ไม้สักขนาด 1/58460050250890327976145666666743488 นิ้ว 165) ไม้สักขนาด 1/11692010050178065595231133333486976 นิ้ว 166) ไม้สักขนาด 1/233840201003561311904626266667373952 นิ้ว 167) ไม้สักขนาด 1/467680402007122623780952533335467904 นิ้ว 168) ไม้สักขนาด 1/935360804014252475617910666671093888 นิ้ว 169) ไม้สักขนาด 1/1870721608028504912335582133332187776 นิ้ว 170) ไม้สักขนาด 1/3741443216057009824671164466664375552 นิ้ว 171) ไม้สักขนาด 1/748288643211401964934328933337511008 นิ้ว 172) ไม้สักขนาด 1/1496577286422039299868577666650220176 นิ้ว 173) ไม้สักขนาด 1/299315457284407859973755555510044032 นิ้ว 174) ไม้สักขนาด 1/598630914568815719947511111120088064 นิ้ว 175) ไม้สักขนาด 1/11972618291337343991502222240176128 นิ้ว 176) ไม้สักขนาด 1/239452365826746879830044444803536 นิ้ว 177) ไม้สักขนาด 1/478904731653493759660088889607072 นิ้ว 178) ไม้สักขนาด 1/9578094633069875193201777777141444 นิ้ว 179) ไม้สักขนาด 1/1915618926133950358640355555282888 นิ้ว 180) ไม้สักขนาด 1/3831237852267900717280711111565776 นิ้ว 181) ไม้สักขนาด 1/76624757045358014344642222211315532 นิ้ว 182) ไม้สักขนาด 1/153249514090716028692844444226310664 นิ้ว 183) ไม้สักขนาด 1/3064990291814320573856888845262213088 นิ้ว 184) ไม้สักขนาด 1/61299805836286411471713777779044216176 นิ้ว 185) ไม้สักขนาด 1/122599611675728822943427555580884232704 นิ้ว 186) ไม้สักขนาด 1/2451992233514576578688555161763444448 นิ้ว 187) ไม้สักขนาด 1/490398446702915315737711113235288896 นิ้ว 188) ไม้สักขนาด 1/9807968934058306314714222226470577932 นิ้ว 189) ไม้สักขนาด 1/196159378681166126294284444129415464 นิ้ว 190) ไม้สักขนาด 1/39231875736233225258848888258830928 นิ้ว 191) ไม้สักขนาด 1/7846375147246645051777775176718576 นิ้ว 192) ไม้สักขนาด 1/156927502944932901035555103543552 นิ้ว 193) ไม้สักขนาด 1/31385500588986580207111120707110688 นิ้ว 194) ไม้สักขนาด 1/62771001177973160414222241414213776 นิ้ว 195) ไม้สักขนาด 1/12554200235946320828844448282827104 นิ้ว 196) ไม้สักขนาด 1/25108400471892641657777856565422208 นิ้ว 197) ไม้สักขนาด 1/5021680094378528315555711331144444416 นิ้ว 198) ไม้สักขนาด 1/1004336018757055631111142222282288896 นิ้ว 199) ไม้สักขนาด 1/200867203751411126222284444416713776 นิ้ว 200) ไม้สักขนาด 1/4017344075028222524444444443342752 นิ้ว 201) ไม้สักขนาด 1/8034688150556445048888888886685504 นิ้ว 202) ไม้สักขนาด 1/16069376311110890097777777713371008 นิ้ว 203) ไม้สักขนาด 1/3213875262222177819555555552674016 นิ้ว 204) ไม้สักขนาด 1/642775052444435593111111115348032 นิ้ว 205) ไม้สักขนาด 1/12855501048888711782222222221069664 นิ้ว 206) ไม้สักขนาด 1/2571100209777436354444444442139328 นิ้ว 207) ไม้สักขนาด 1/514220041954872708888888884278656 นิ้ว 208) ไม้สักขนาด 1/1028440039097474417777777785573712 นิ้ว 209) ไม้สักขนาด 1/205688007819494835555555711147424 นิ้ว 210) ไม้สักขนาด 1/41137601563898967111111142284864 นิ้ว 211) ไม้สักขนาด 1/8227520317779793422222228556928 นิ้ว 212) ไม้สักขนาด 1/16455040355595868444444571137376 นิ้ว 213) ไม้สักขนาด 1/3291008071119173688888914264752 นิ้ว 214) ไม้สักขนาด 1/65820161422363477777789289504 นิ้ว 215) ไม้สักขนาด 1/13164032284668755555578578008 นิ้ว 216) ไม้สักขนาด 1/263280645693375111115155616016 นิ้ว 217) ไม้สักขนาด 1/526561291386750222223111122232032 นิ้ว 218) ไม้สักขนาด 1/105312258273350044444622244444464 นิ้ว 219) ไม้สักขนาด 1/2106245165467000888881244888896 นิ้ว 220) ไม้สักขนาด 1/421249033093400177777248977792 นิ้ว 221) ไม้สักขนาด 1/842498066186800355554979555936 นิ้ว 222) ไม้สักขนาด 1/16849961337360071111995911191072 นิ้ว 223) ไม้สักขนาด 1/33699922674720142223918222221744 นิ้ว 224) ไม้สักขนาด 1/67399845349440284447836444443488 นิ้ว 225) ไม้สักขนาด 1/134799690698880568895688886976 นิ้ว 226) ไม้สักขนาด 1/2695993813977611377913777713952 นิ้ว 227) ไม้สักขนาด 1/5391987627955222755827555527904 นิ้ว 228) ไม้สักขนาด 1/10783975259110455111555555555584 นิ้ว 229) ไม้สักขนาด 1/215679505182209022222222222117696 นิ้ว 230) ไม้สักขนาด 1/43135901036441804444444444423592 นิ้ว 231) ไม้สักขนาด 1/8627180207288367888888888847184 นิ้ว 232) ไม้สักขนาด 1/172543604157673577777777777936 นิ้ว 233) ไม้สักขนาด 1/345087208315347155555555555872 นิ้ว 234) ไม้สักขนาด 1/690174416630744311111111111744 นิ้ว 235) ไม้สักขนาด 1/138034883261488622222222223488 นิ้ว 236) ไม้สักขนาด 1/276069766522977244444444446976 นิ้ว 237) ไม้สักขนาด 1/55213953304595448888888893952 นิ้ว 238) ไม้สักขนาด 1/110427906609190897777777778784 นิ้ว 239) ไม้สักขนาด 1/220855813218381795555555757696 นิ้ว 240) ไม้สักขนาด 1/4417116264367635911111115153932 นิ้ว 241) ไม้สักขนาด 1/88342325287352718222222311187648 นิ้ว 242) ไม้สักขนาด 1/176684651546705436444444622375376 นิ้ว 243) ไม้สักขนาด 1/353369303093410872888889244750752 นิ้ว 244) ไม้สักขนาด 1/7067386061868217557777489501504 นิ้ว 245) ไม้สักขนาด 1/14134772127374351115555979003008 นิ้ว 246) ไม้สักขนาด 1/2826954425474870222223111818016 นิ้ว 247) ไม้สักขนาด 1/5653908850949740444446223636032 นิ้ว 248) ไม้สักขนาด 1/1130781770189888888892727212064 นิ้ว 249) ไม้สักขนาด 1/22615635403797777774454544424128 นิ้ว 250) ไม้สักขนาด 1/45231270807595555589090888848256 นิ้ว 251) ไม้สักขนาด 1/9046254161519111178181777796512 นิ้ว 252) ไม้สักขนาด 1/1809250833038222363635555193024 นิ้ว 253) ไม้สักขนาด 1/361850166607644472727111386048 นิ้ว 254) ไม้สักขนาด 1/723700333215288945454442721216 นิ้ว 255) ไม้สักขนาด 1/1447400666430577909098885442432 นิ้ว 256) ไม้สักขนาด 1/2894801332861555818181774884864 นิ้ว 257) ไม้สักขนาด 1/5789602665723111636363551973728 นิ้ว 258) ไม้สักขนาด 1/1157920533144222327272711394752 นิ้ว 259) ไม้สักขนาด 1/2315841066288444654545442789504 นิ้ว 260) ไม้สักขนาด 1/4631682132568889108909095579392 นิ้ว 261) ไม้สักขนาด 1/926336426513777818181811197888 นิ้ว 262) ไม้สักขนาด 1/185267285027555763636363395776 นิ้ว 263) ไม้สักขนาด 1/370534570055111527272727791552 นิ้ว 264) ไม้สักขนาด 1/741069140110223454545455823104 นิ้ว 265) ไม้สักขนาด 1/148213820220444709090901164608 นิ้ว 266) ไม้สักขนาด 1/296427640440889418181812321216 นิ้ว 267) ไม้สักขนาด 1/59285528088177883636364642432 นิ้ว 268) ไม้สักขนาด 1/11857105617635577272727212884864 นิ้ว 269) ไม้สักขนาด 1/2371421123527115454545452573728 นิ้ว 270) ไม้สักขนาด 1/474284224705422309090910147456 นิ้ว 271) ไม้สักขนาด 1/948568449410844618181820294912 นิ้ว 272) ไม้สักขนาด 1/1897136898221688936363640589824 นิ้ว 273) ไม้สักขนาด 1/3794273796443377867272728117776 นิ้ว 274) ไม้สักขนาด 1/75885475928867557354545635555534528 นิ้ว 275) ไม้สักขนาด 1/151770951777351147109090913111169056 นิ้ว 276) ไม้สักขนาด 1/30354190355470229421818182622222138112 นิ้ว 277) ไม้สักขนาด 1/607083807109440478436363652444427624 นิ้ว 278) ไม้สักขนาด 1/1214167614188808968727272104889472 นิ้ว 279) ไม้สักขนาด 1/242833522837761777445454520977888 นิ้ว 280) ไม้สักขนาด 1/485667045675523554909094195557776 นิ้ว 281) ไม้สักขนาด 1/9713340913510471119818181391115504 นิ้ว 282) ไม้สักขนาด 1/194266818270209422373636378223008 นิ้ว 283) ไม้สักขนาด 1/3885336365404188447467272764446016 นิ้ว 284) ไม้สักขนาด 1/777067273080837696894545528892032 นิ้ว 285) ไม้สักขนาด 1/1554134461601675393789090957784464 นิ้ว 286) ไม้สักขนาด 1/3108268923203350787578

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายณัฐพงศ์ รัตนเดช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 19 มกราคม 2521
สถานที่เกิด	กระบี่
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร), วศ.บ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร), วศ.ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังคณะวิทยาเขตชุมพร
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์วิทยาเขตสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร